

Водные биоресурсы и среда обитания
2024, том 7, номер 1, с. 7–17
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
2024, vol. 7, no. 1, pp. 7–17
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

Экологические проблемы и состояние водной среды

УДК 551.579(262.54)

https://doi.org/10.47921/2619-1024_2024_7_1_7

EDN: GLTYMW



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА- α В АЗОВСКОМ МОРЕ В 2006–2022 ГГ.

А. Т. Кочергин

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»),
Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Ростов-на-Дону 344002, Россия
E-mail: kocherginat@azniirkh.vniro.ru*

Аннотация

Введение. Концентрация хлорофилла- α является ключевым экологическим параметром для расчета первичной продукции водоема, от которой, в свою очередь, зависит биомасса фитопланктона. Поля с повышенной концентрацией хлорофилла могут образовываться под влиянием рассмотренного в данной работе ряда гидрометеорологических причин, таких как температура воздуха и воды, облачность, вызывающий перемешивание вод ветер, влияющие на свойства поверхностного слоя осадки. **Актуальность.** Проведение мониторинга распределения концентрации хлорофилла под влиянием гидрометеорологических факторов способствует рациональной организации рыбного промысла ввиду их связи с биомассой фитопланктона, обеспечивающего рыб и зоопланктон кормовой базой. **Цель** работы — проанализировать межгодовую изменчивость среднемесячных гидрометеорологических факторов и их влияние на концентрацию хлорофилла- α в собственно Азовском море (без Таганрогского залива) за период 2006–2022 гг. **Методы.** Был проведен пространственно-временной анализ среднемесячных температур воды и концентраций хлорофилла- α по ежедневным спутниковым снимкам поверхности моря, полученным спектрометром MODIS в Азовском море, а также метеорологических характеристик — данных фактической погоды международного обмена (SYNOP, METAR) на сайте pogodaiklimat.ru в период с апреля 2006 по сентябрь 2022 г. **Результаты.** Показано, что для межгодовой изменчивости среднемесячных температур воздуха и воды всего ряда лет (2006–2022 гг.) тренды незначимы. Процесс роста температуры воды, начавшийся с середины 1990-х гг., с 2011 г. поменял направление на противоположное, т. е. начало происходить ее снижение. Скорость ветра над акваторией собственно Азовского моря в исследуемый период постепенно уменьшалась, что согласовалось с уменьшением концентрации хлорофилла- α . Среднемесячное количество облачности в районе имело слабую межгодовую и значительную сезонную изменчивость с относительно низкими значениями в летний и высокими в зимний сезоны. Наблюдался положительный тренд

месячного количества атмосферных осадков в противоположность отрицательному тренду концентрации хлорофилла- α . **Выводы.** Найдена значимая прямая корреляция среднемесячных значений концентрации хлорофилла- α с температурами воды и воздуха, обратная — со скоростью ветра и количеством облачности над акваторией Азовского моря как по районам, так и в целом в собственно море.

Ключевые слова: температура воздуха, температура поверхности воды, скорость ветра, облачность, осадки, хлорофилл- α , корреляция

HYDROMETEOROLOGICAL FACTORS AND THEIR IMPACT ON THE CHLOROPHYLL- α CONTENT IN THE AZOV SEA IN 2006–2022

A. T. Kochergin

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO"),
Azov-Black Sea Branch of the FSBSI "VNIRO" ("AzNIIRKH"), Rostov-on-Don 344002, Russia
E-mail: kocherginat@azniirkh.vniro.ru*

Abstract

Background. Chlorophyll- α concentration is a key environmental parameter used to calculate the primary production of a water body, which, in turn, determines phytoplankton biomass. The fields with increased chlorophyll concentration can develop under the influence of various hydrometeorological factors considered in this work, such as air and water temperatures, cloud amount, wind-driven water mixing, and precipitation affecting the surface water layer. **Relevance.** Monitoring of chlorophyll distribution as it is influenced by hydrometeorological factors facilitates the rational fisheries management on account of their relation to the phytoplankton biomass providing fish and zooplankton with a food source. The **aim** of this work is to analyze the inter-annual variability of the average monthly hydrometeorological factors and their influence on the chlorophyll- α concentration in the Azov Sea (excluding Taganrog Bay) for the time range from 2006 to 2022. **Methods.** Spatial and temporal analysis of the average monthly water temperatures and chlorophyll- α concentrations has been conducted based on the daily satellite images of the sea surface taken by MODIS spectroradiometer in the Azov Sea; the analysis of the meteorological characteristics has been carried out using the weather observation data from international data exchange and reports (SYNOP, METAR) posted on the website *pogodaiklimat.ru* for the time range from April 2006 to September 2022. **Results.** It is shown that, for the entire investigated time range (2006–2022), the trends of the inter-annual variability of the average monthly air and water temperatures were not significant. An increase in water temperature that started in the middle of 1990s changed for the opposite in 2011, i. e. turned into a decrease. The wind velocity above the Azov Sea (excluding Taganrog Bay) over the investigated time range gradually decreased, which fell in line with the decrease in the chlorophyll- α concentrations. The average monthly cloud amount in the area has shown a weak inter-annual and considerable seasonal variability with relatively low values in the summer season and high values in the winter season. A positive trend of the monthly amount of atmospheric precipitation was observed, in contrast with the negative trend of the chlorophyll- α concentration. **Conclusion.** A significant positive correlation of the average monthly chlorophyll- α values with water and air temperatures has been identified, as well as a negative one with the wind velocity and cloud amount over the Azov Sea (excluding Taganrog Bay)—both in the individual investigated areas and in the sea as a whole.

Keywords: air temperature, sea surface temperature, wind velocity, cloud amount, precipitations, chlorophyll- α , correlation

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее значимых экологических параметров является концентрация хлорофилла- α (Chl $_{\alpha}$) — ключевая характеристика для расчета первичной продукции водоемов, определяющей биомассу фитопланктона. Мониторинг распределения концентрации хлорофилла имеет важное

практическое значение для рыболовства, поскольку фитопланктон служит кормовой базой для зоопланктона и рыб. Поля с повышенной концентрацией хлорофилла могут образовываться под влиянием ряда причин: при поступлении в море речного стока, в результате подъема вод, во время развития конвективных процессов. Своевременное

обнаружение таких ситуаций позволяет более рационально организовывать рыбный промысел [1].

Данные спутникового мониторинга Азовского моря позволили выявить межгодовую изменчивость концентрации Chl_a и определить ее особенности. В Азовском море в период 1998–2012 гг. понижение концентрации Chl_a наблюдалось в 2003 и 2010–2011 гг. (8–9 мг/м³) с минимумом в 2003 г. Внутригодовая динамика содержания Chl_a в центральной части Азовского моря выглядит следующим образом: минимум в январе–мае (5 мг/м³), максимум в летние (август — 13 мг/м³) и осенние (сентябрь–октябрь — 11 мг/м³) месяцы [1].

Концентрация хлорофилла зависит, в частности, от таких гидрометеорологических факторов, как температура воздуха и воды, облачность, вызывающий перемешивание вод ветер, влияющие на свойства поверхностного слоя осадки и другое. Ниже коротко о некоторых влияющих факторах.

Температура воды играет важную роль в экосистеме моря и влияет на его биопродуктивность, в значительной степени определяя начало и скорость прохождения жизненно важных процессов у гидробионтов. Режим температуры воды в Азовском море в основном формируется под воздействием теплообменных процессов в приводном слое атмосферы, солнечной радиации, локального влияния адвективных факторов (тепловое влияние речного стока, воздействие течений и процессов водообмена с Керченским проливом). Из-за мелководности и небольшого объема вод Азовского моря и относительно незначительной аккумуляции тепла (по сравнению с глубоководными морями) температура воды быстро реагирует на тепловые пространственно-временные изменения в атмосфере.

Концентрация Chl_a в основном пропорциональна температуре вод. Температура воды — ключевой фактор, определяющий сезонную и многолетнюю изменчивость обилия фитопланктона и его продукции. Более сильный летний прогрев воды, в сочетании с рядом других факторов, создает условия для его развития до уровня «гиперцветения» [2].

На скорость воспроизводства фитопланктона влияет как солнечная радиация, так и **сила ветра** [3]. Интенсивное ветровое воздействие обеспечивает активное перемешивание поверхностного слоя моря и способствует развитию фитопланктона.

Облачность. Априори, наличие облачности ослабляет солнечный свет и, соответственно, уменьшает содержание хлорофилла и биомассу фитопланктона. Уменьшение освещенности снижает биомассу всех групп планктона [4].

При высокой плотности светового потока действие температуры на удельное содержание хлорофилла в водорослях выражено сильнее, чем при низкой облученности [5].

Осадки. Спутниковые значения хлорофилла возрастали вследствие роста растворимого органического вещества (РОВ) в воде после выпадения осадков [6]. Во время выпадения осадков происходило снижение содержания взвеси в поверхностном слое и повышение концентрации хлорофилла по сравнению с периодами их отсутствия [7].

Цель данной работы — проанализировать межгодовую изменчивость среднемесячных гидрометеорологических факторов и их влияние на концентрацию хлорофилла в собственно Азовском море (без Таганрогского залива) за период 2006–2022 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Концентрацию хлорофилла-*a* можно измерять посредством спутниковых датчиков, что позволило получить долговременные ряды наблюдений, охватывающие большие акватории по всему Азовскому морю и специально обработанные в Федеральном исследовательском центре «Морской гидрофизический институт РАН» с целью устранения ошибок измерений.

Материалом для исследований послужили несколько тысяч ежедневных спутниковых снимков температуры поверхности воды (ТПВ) и концентрации хлорофилла-*a* в Азовском море в период с апреля 2006 по сентябрь 2022 г., полученных спектрометром MODIS и размещенных на сайте Морского портала МГИ [8]. Из них были выбраны 190 репрезентативных снимков, подходящих для определения среднемесячных значений этих характеристик. В связи с обширностью данных, для каждого месяца для анализа чаще всего выбирался один характерный спутниковый снимок, определявший состояние поля хлорофилла-*a* в этом месяце. Для временного промежутка с ноября по март, в связи с длительными периодами значительной облачности, при необходимости привлекались несколь-

ко (2–3) близких по дате снимков с информацией, в сумме отражающей состояние большей части акватории моря за соответствующий месяц. Значения параметров снимались в каждом из 10 районов собственно Азовского моря (без Таганрогского залива) и обрабатывались в программе WorldView с получением цифровых средневзвешенных значений для центров районов.

Исследование проводилось методами графического и корреляционного анализа. Графический анализ заключался в оценке графиков межгодовой изменчивости гидрометхарактеристик. Для корреляционного анализа использовался линейный коэффициент парной корреляции Пирсона с определением углового коэффициента и аппроксимацией тренда. Расчет коэффициента корреляции Пирсона предполагает, что переменные X и Y являются количественными переменными, распределены нормально и число значений переменной X равно числу значений переменной Y (n). Значимость коэффициента корреляции и теснота связи

параметров определялись по шкале критических коэффициентов Пирсона [9].

Схема районов представлена на рис. 1 согласно классическому районированию Азовского моря [10–12] при его комплексных экспедиционных исследованиях, проводимых ФГБНУ «АзНИИРХ» с 1960 г. по стандартной сетке, включающей 34 станции [13].

Среднемесячные метеорологические характеристики для рассматриваемого ряда лет являются фактическими данными международного обмена (SYNOP, METAR), опубликованными на сайте pogodaiklimat.ru [14]. Метеорологические характеристики в районах оценивались на примере пунктов, находящихся на побережье: Мысовое (1-й, 2-й районы), Геническ (3-й район), Кирилловка (4-й район), Бердянск (5-й район), Мариуполь (6-й район), Приморско-Ахтарск (10-й район) и Темрюк (11-й район). Для собственно Азовского моря в целом взяты осредненные по этим пунктам данные.

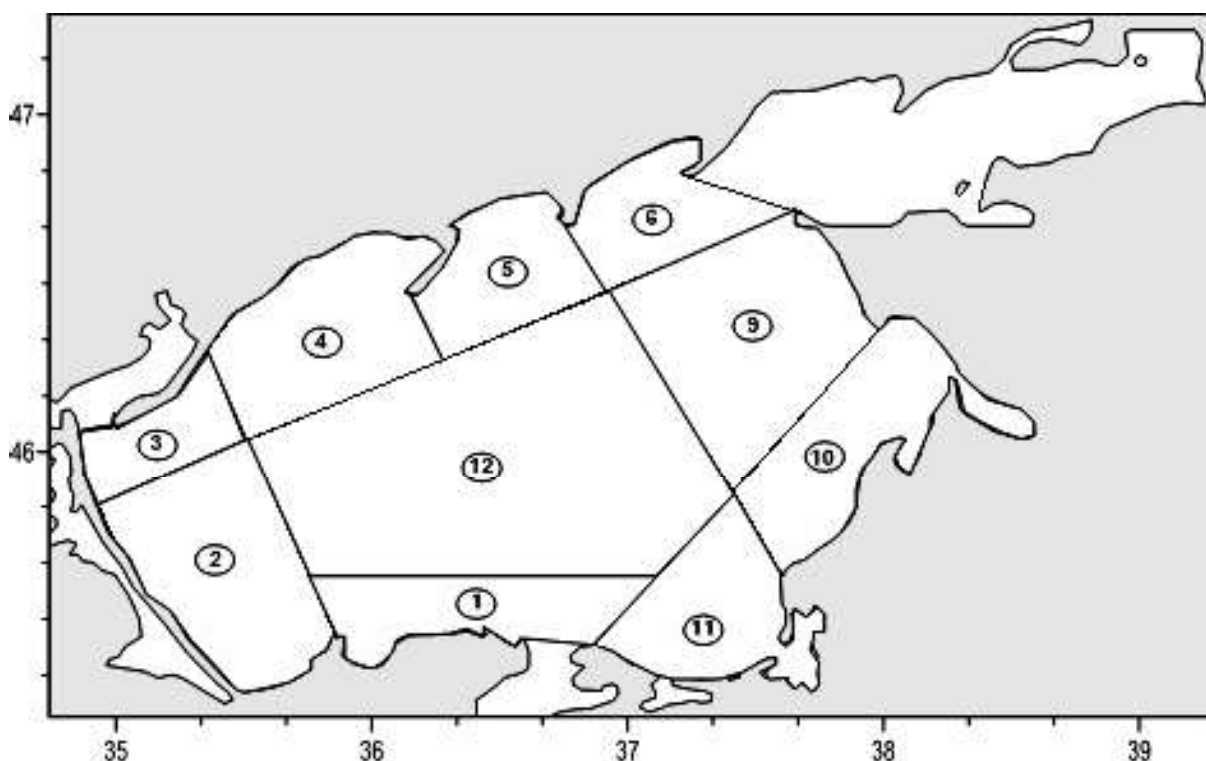


Рис. 1. Районы собственно Азовского моря

Fig. 1. Investigated areas of the Azov Sea

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Межгодовая изменчивость среднемесячных температур воздуха (T_a) в Азовском море за 2006–2022 гг. может быть разделена на два перио-

да: 2006–2017 и 2018–2022 гг. Первый период характеризовался относительно большим диапазоном: минус 7,5 – плюс 26,8 °С (среднее 11,6 °С). Второй — меньшим диапазоном, минус 0,3 – плюс

26,2 °C (среднее 12,6 °C), и более высокими зимними и средними значениями (рис. 2). Отличие летних температур незначительно. Наиболее значимые изменения во второй период по сравнению с первым в зимний сезон произошли на юго-востоке Азовского моря (11-й район), в летний — на севере (4-й район), что согласуется с выводами работы [15].

Найдена прямая зависимость среднемесячных концентраций хлорофилла-*a* от температуры воздуха как по районам, так и в целом по Азовскому морю (без Таганрогского залива) — корреляция с уровнем значимости <1 % (табл. 1). Наиболее высокие коэффициенты корреляции были присущи 1-му, 2-му, 10-му и 11-му районам, в основном расположенным в южной и юго-восточной частях моря.

Межгодовой ход среднемесячных **ТПВ** в наблюдаемый период достаточно однороден с выраженной внутригодовой изменчивостью (рис. 2). Согласно [16], рост ТПВ в Азовском море, начавшийся с середины 1990-х гг. в основном за счет более теплых зим, после 2010 г. замедлился. По нашим данным, среднегодовое значение ТПВ, составлявшее в среднем за период 2006–2010 гг. 14,5 (0–27,2) °C, в 2011–2015 гг. снизилось до 13,2 (1,0–27,5) °C, т. е. стал заметен отрицательный тренд.

Как и в случае с температурой воздуха, среднемесячные концентрации хлорофилла-*a* и ТПВ прямо коррелировали на высоком уровне значимости (<1 %) как по районам, так и в целом в собственно море (табл. 1). В других исследованиях [17] также была выявлена тесная взаимосвязь этих параметров среды с высоким коэффициентом корреляции ($r=0,89$).

Ветровая ситуация в исследуемый период характеризовалась постепенным снижением скорости ветра над акваторией Азовского моря (рис. 3), что согласуется с предыдущими исследованиями [16]. Так, если за период 2006–2010 гг. среднемесячная скорость ветра составляла 3,8 (2,6–5,6) м/с, то в 2011–2015 гг. — 3,6 (2,6–5,8) м/с и в 2016–2020 гг. — 3,3 (2,3–5,1) м/с.

Практически во всех районах, как и в целом в собственно море, обратная корреляция среднемесячной скорости ветра и концентрации хлорофилла-*a* находилась на высоком уровне значимости — <1 % (табл. 1). Лишь в 11-м юго-восточном районе она была незначима — >5 %. Вероятно, на фоне благоприятного стимулирующего биогеогенного выноса стоком р. Кубань, ветровое перемешивание в заливе имеет меньшее значение, чем в других районах.

Среднемесячная балльность **облачности** над акваторией собственно Азовского моря имеет

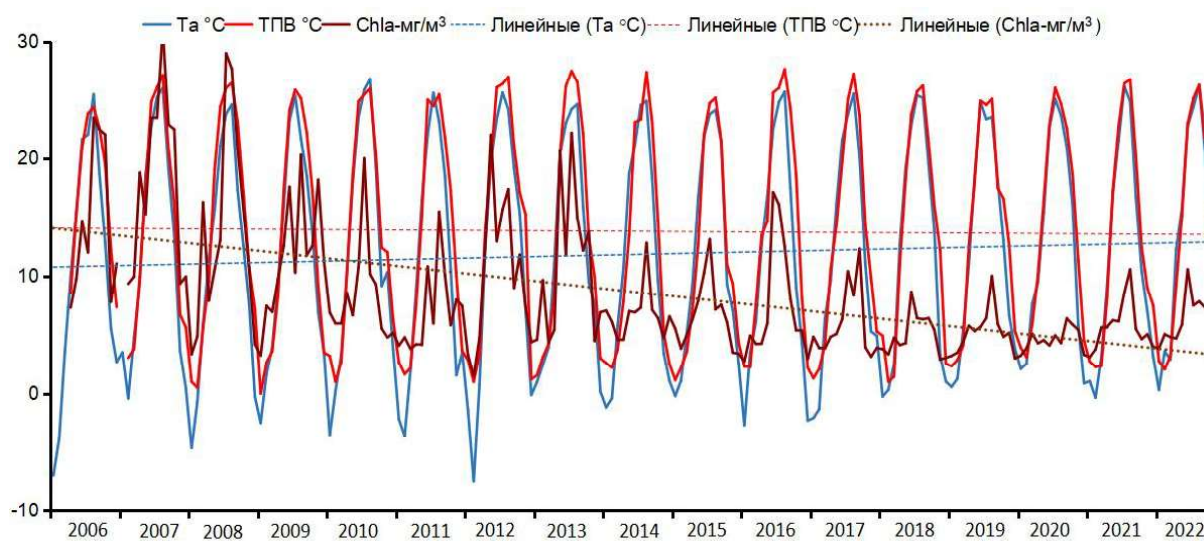


Рис. 2. Межгодовая изменчивость среднемесячных температур воздуха и поверхности воды, содержания хлорофилла-*a* в собственно Азовском море в 2006–2022 гг.

Fig. 2. Inter-annual variability of the average monthly air temperature, sea surface temperature, and the chlorophyll-*a* content in the Azov Sea in 2006–2022

Таблица 1. Корреляция среднемесячных гидрометеорологических параметров и концентрации хлорофилла-а в собственно Азовском море (АзМ) и его районах в 2006–2022 гг.

Table 1. Correlation between the average monthly hydrometeorological parameters and the chlorophyll- α concentration in the Azov Sea (AzS) and its individual areas in 2006–2022

Районы / Areas	1	2	3	4	5	6	10	11	АзМ / AzS
Т _а , °С	0,48	0,48	0,39	0,43	0,45	0,42	0,49	0,47	0,54
Скорость ветра, м/с Wind velocity, m/s	-0,21	-0,21	-0,21	-0,23	-0,30	-0,26	-0,25	-0,11	-0,17
Облачность, баллы Cloud amount, points	-0,44	-0,44	-0,34	-0,30	-0,39	-0,39	-0,49	-0,42	-0,47
Осадки, мм Precipitation, mm	0,01	0,01	0,01	0,08	0,04	-0,13	-0,10	-0,05	-0,11
ТПВ, °С SST, °С	0,52	0,52	0,39	0,42	0,44	0,56	0,53	0,46	0,56
Объем выборки (n) Sample size (n)	392	392	392	392	392	392	392	392	392

Примечание: Жирный шрифт — корреляция с уровнем значимости <1 %

Note: Correlation with the significance level <1 % is given in bold

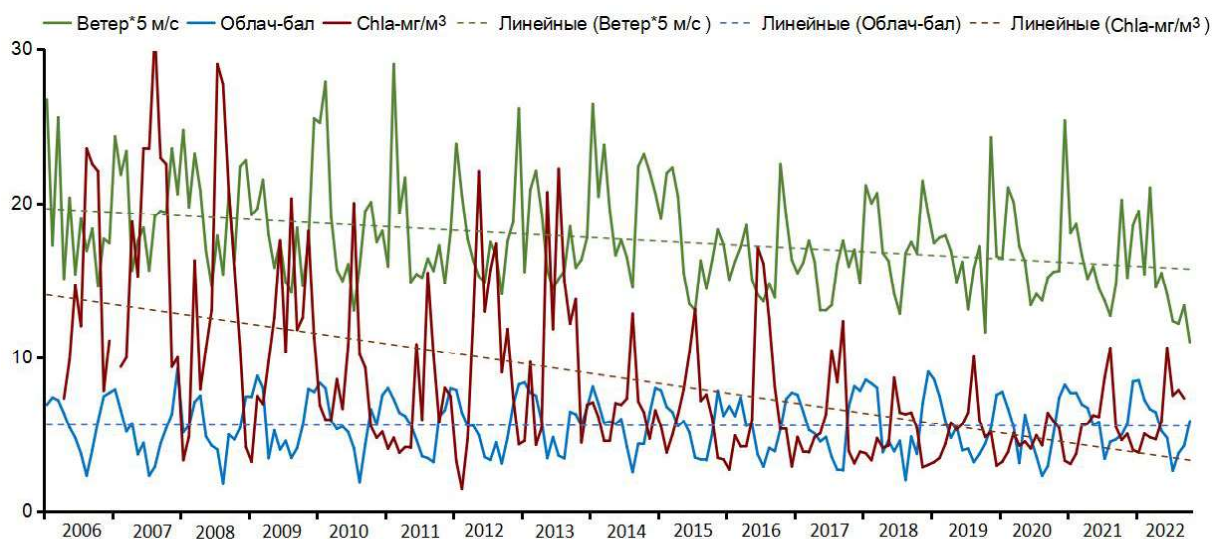


Рис. 3. Межгодовая изменчивость среднемесячной пятикратной скорости ветра, облачности и содержания хлорофилла-а в собственно Азовском море в 2006–2022 гг.

Fig. 3. Inter-annual variability of the average monthly fivefold wind velocity, cloud amount and the chlorophyll- α content in the Azov Sea in 2006–2022

слабую межгодовую изменчивость — 5,5–5,8 баллов; естественно наблюдается более широкий сезонный диапазон: 3,2–8,0 баллов весной, 1,9–6,0 — летом, 2,7–8,2 — осенью и 5,2–9,3 — зимой (рис. 3).

Во всех районах, как и в целом в собственно Азовском море, обратная корреляция среднемесячной облачности с концентрацией хлорофилла-а была на высоком уровне значимости — <1 % (табл. 1). Наиболее высокие по модулю

коэффициенты корреляции (0,44–0,49) наблюдались в 1-м, 2-м, 10-м и 11-м южных районах.

В предыдущих исследованиях показано, что в 2010–2020 гг. тренд месячного количества **атмосферных осадков** в северном прибрежном районе был близок к нулевому; в западном и южном районах их количество шло на снижение, в восточном — росло [15]. В 2006–2022 гг. месячное количество осадков в целом в собственно море имело положительный тренд с постепенным на-

растанием средних значений за следующие периоды: 2006–2007 гг. — 34 (10–99) мм, 2008–2015 гг. — 38 (2–84) мм, 2016–2018 гг. — 41 (0–104) мм и 2019–2022 гг. — 52 (4–164) мм — рис. 4. Максимальное количество месячных осадков в основном приходилось на осенний сезон, минимальное — на летний.

Как уже упоминалось выше [7], в прибрежной части моря с достаточно высокой концентрацией

неорганического азота за счет его поступления с реками вклад атмосферных осадков незначителен как в теплый, так и в холодный периоды года. Поскольку Азовское море сравнительно небольшое по акватории и окружено сушей, береговая зона играет существенную роль в формировании содержания биогенных веществ, и осадки влияют на нее и концентрацию хлорофилла незначитель-

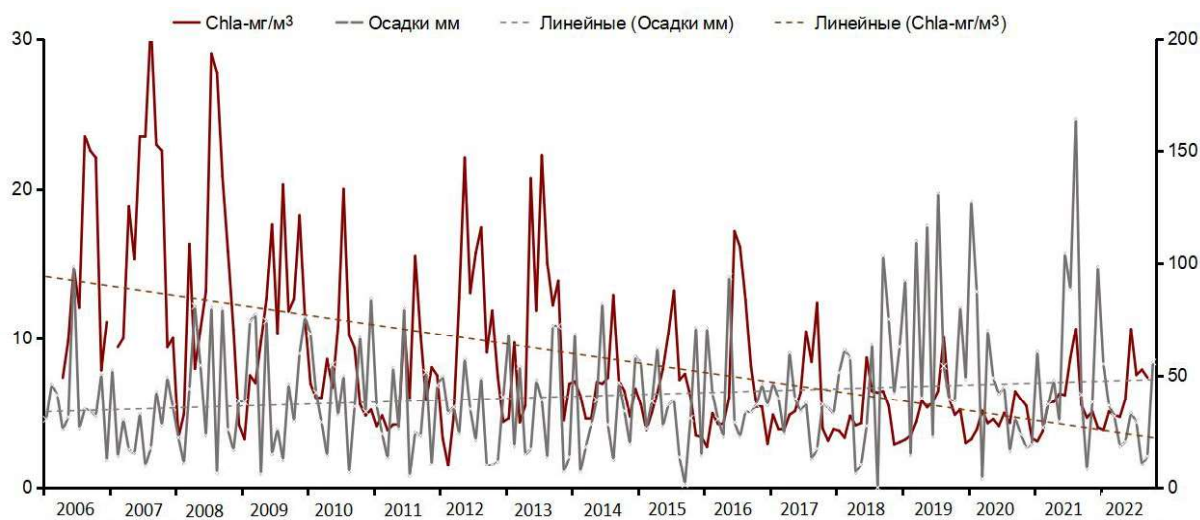


Рис. 4. Межгодовая изменчивость месячного количества атмосферных осадков (правая ось ординат) и среднесеasonного содержания хлорофилла-*a* (левая ось ординат) в собственно Азовском море в 2006–2022 гг.

Fig. 4. Inter-annual variability of the monthly precipitation amount (right y-axis) and the average monthly chlorophyll-*a* content (left y-axis) in the Azov Sea in 2006–2022

но. Как следствие, как в районах, так и в целом в собственно Азовском море наблюдалась слабая корреляционная связь месячного количества осадков и содержания хлорофилла-*a* на поверхности, а коэффициенты корреляции не превышали 0,13, что выше 5%-ного уровня значимости (табл. 1).

Среднемесячная концентрация хлорофилла-*a* имела отрицательный тренд, уменьшаясь от 13,1 (3,3–31,0) мг/м³ в среднем за период 2006–2010 гг. до 8,4 (1,5–22,2) мг/м³ в 2011–2015 гг. и до 5,7 (2,8–17,2) мг/м³ в 2016–2020 гг.

Для всех анализируемых параметров в собственно Азовском море отмечен незначительный тренд межгодовой изменчивости среднесеasonных значений: положительный для температур воздуха и осадков с низким значением угловых коэффициентов — 0,0105 и 0,0714 — и слабой аппроксимацией с R^2 , равным 0,0042 и 0,0239, соответственно; и отрицательный — для ТПВ, скорости ветра, облачности и Chl_a с минусовыми низкими угловыми коэффициентами 0,0004–0,0534 и также слабой аппроксимацией $R^2=0,0001$ –0,2812 (табл. 2).

Таблица 2. Характеристики межгодового тренда среднесеasonных гидрометеорологических параметров и концентрации хлорофилла-*a* в собственно Азовском море в 2006–2021 гг.

Table 2. Characteristics of the inter-annual trend of the average monthly hydrometeorological parameters and the chlorophyll-*a* concentration in the Azov Sea in 2006–2021

Т _а , °С	$y=0,0105x+10,799$	$R^2=0,0042$
ТПВ, °С	$y=-0,0026x+14,099$	$R^2=0,0003$
SST, °С		
Ветер	$y=-0,0194x+19,668$	$R^2=0,1115$
Wind		
Облачность	$y=-0,0004x+5,658$	$R^2=0,0001$
Cloud amount		
Осадки	$y=0,0714x+33,684$	$R^2=0,0239$
Precipitation		
Chl _a	$y=-0,0534x+14,136$	$R^2=0,2812$

При полученных низких значениях коэффициента детерминации R^2 модели (уравнения) аппроксимации неприменимы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Межгодовая изменчивость среднемесячных температур воздуха в Азовском море делилась на два периода: 2006–2017 и 2018–2022 гг. — первый с относительно большим диапазоном, второй более теплый с меньшим диапазоном в основном за счет более высоких зимних значений. Для всего ряда лет в собственно Азовском море отмечен незначительный положительный тренд межгодовой изменчивости среднемесячных температур воздуха.

Межгодовой ход среднемесячных ТПВ в наблюдаемый период достаточно однороден с выраженной внутригодовой изменчивостью. В период 2011–2015 гг. произошло снижение средней ТПВ по сравнению с 2006–2010 гг., т. е. стал заметен отрицательный тренд, согласующийся с трендом концентрации хлорофилла-а.

Среднемесячная скорость ветра над акваторией собственно Азовского моря в исследуемый период постепенно снижалась. Ослабление ветров соответствовало уменьшению концентрации хлорофилла-а.

Среднемесячное количество облачности в районе имело слабую межгодовую и значительную сезонную изменчивость с относительно низкими значениями в летний и высокими в зимний сезоны. Значительное отрицательное влияние облачности на концентрацию хлорофилла-а проявилось в их обратной корреляции с высоким уровнем значимости — $<1\%$. Наиболее высокие по модулю коэффициенты корреляции (0,44–0,49) наблюдались в 1-м, 2-м, 10-м и 11-м районах в основном в южной и юго-восточной частях моря.

Месячное количество атмосферных осадков в собственно море имело положительный тренд в противоположность отрицательному тренду концентрации хлорофилла-а. Максимальное количество месячных осадков выпадало в основном в осенний сезон, минимальное — в летний.

Как в районах, так и в целом в собственно Азовском море значимой корреляционной связи месячного количества осадков и содержания хлорофилла-а на поверхности не отмечено.

Найдена зависимость с уровнем значимости $<1\%$: прямая — среднемесячных значений кон-

центрации хлорофилла-а с температурами воздуха и воды, обратная — со скоростью ветра и количеством облачности над акваторией Азовского моря как по районам, так и целом в собственно море.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонюк А.Ю. Спутниковый мониторинг Азово-Черноморского бассейна с целью обеспечения экологической безопасности. *Труды Государственного океанографического института*. 2015. № 216: 254–267.
2. Александров С.В. Влияние климатических изменений на уровень эвтрофирования Куршского залива. *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки*. 2010. Вып. 1: 49–57.
3. Кушинг Д.Х. Продукционные циклы во времени и в пространстве. *Морская экология и рыболовство*. М.: Пищевая промышленность, 1979. 288 с.
4. Абакумов А.И., Израильский Ю.Г. Влияние условий среды на распределение фитопланктона в водоеме. *Математическая биология и биоинформатика*. 2012. Т. 7, № 1: 274–283. <https://doi.org/10.17537/2012.7.274>.
5. Ковалева И.В., Финенко З.З. Количественные закономерности изменения относительного содержания хлорофилла при совместном действии света и температуры у диатомовых водорослей. *Вопросы современной альгологии*. 2019. № 3: 28–36. [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-3\(21\)-28-36](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-3(21)-28-36).
6. Штрайхерт Е.А., Захарков С.П., Гордейчук Т.Н., Шамбарова Ю.В. Концентрация хлорофилла-а и био-оптические характеристики в заливе Петра Великого (Японское море) во время зимне-весеннего цветения фитопланктона. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2014. Т. 11, № 1: 148–162.
7. Вареник А.В., Коновалов С.К., Метик-Дионова В.В. Оценка роли атмосферных осадков в пространственно-временном изменении распределения неорганических соединений азота в поверхностном слое вод Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2010. № 22: 268–273.
8. Архив данных по Черному морю. Параметры поверхности Черного моря по данным MODIS. URL: http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml (дата обращения 30.08.2022).
9. Наследов А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных : учеб. пособие. СПб: Речь, 2007. 392 с.
10. Сапрыгин В.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В., Дашкевич Л.В., Поважный В.В., Герасюк В.С. Многолетняя и сезонная динамика концентрации хлорофилла а в Азовском море по данным дистан-

- ционного зондирования. *Труды Южного научного центра Российской академии наук*. 2020. Т. 8: 149–164. <https://doi.org/10.23885/1993-6621-2020-8-149-164>.
11. Гидрометеорологический справочник Азовского моря / под ред. А.А. Аксенова. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 856 с.
 12. Сапрыгин В.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В., Дашкевич Л.В., Местецкий Л.М. Пространственное распределение и сезонная динамика концентрации хлорофилла “*a*” в Азовском море по данным спутниковых снимков спектрометра MERIS. *Океанология*. 2018. Т. 58, № 5: 751–762. <https://doi.org/10.1134/S0030157418050131>.
 13. Жукова С.В., Шишкин В.М., Куропаткин А.П., Лутынская Л.А., Бурлачко Д.С., Карманов В.Г., Подмарева Т.И., Фоменко И.Ф., Безрукавая Е.А. Закономерности формирования режима солености Азовского моря в современный период. *Вопросы сохранения биоразнообразия водных объектов: матер. Междунар. науч. конф. (г. Ростов-на-Дону, 27 ноября 2015 г.)*. Ростов-н/Д.: Изд-во АЗНИИРХ, 2015: 128–137.
 14. Погода и климат: справочно-информационный портал. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (дата обращения 30.08.2023).
 15. Кочергин А.Т. Температура воздуха и осадки на побережье Азовского моря в последнее десятилетие (2010–2020 гг.). *Лесная мелиорация и экологическо-гидрологические проблемы Донского водосборного бассейна : матер. Нац. науч. конф. (г. Волгоград, 29–30 октября 2020 г.)*. Волгоград: Изд-во Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2020: 531–535.
 16. Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX – начале XXI вв. *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2019. Т. 2, № 2: 7–19. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2019_2_2_7.
 17. Водопьянова В.В., Калинка О.П. Мониторинг концентраций хлорофилла в Баренцевом море: сравнение многолетних *in situ* и спутниковых данных. *Труды Кольского научного центра РАН*. 2022. Т. 13, № 4 (10): 27–34. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2022.4.10.003>.
- ## REFERENCES
1. Antonyuk A.Yu. Sputnikovyy monitoring Azovo-Chernomorskogo basseyna s tsel'yu obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti [Satellite monitoring of Azov and Black Sea Region to ensure environmental safety]. *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta [Transactions of the State Oceanographic Institute]*. 2015. No. 216: 254–267. (In Russian).
 2. Aleksandrov S.V. Vliyanie klimaticheskikh izmeneniy na uroven' evtrofirovaniya Kurshskogo zaliva [Influence of the climate changes on the eutrophication level of the Curonian Lagoon]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki [Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural and Medical Sciences]*. 2010. Issue 1: 49–57. (In Russian).
 3. Cushing D.H. Production cycles in space and time. *Marine Ecology and Fisheries*. Cambridge: Cambridge University Press, 1975. 278 p.
 4. Abakumov A.I., Izrail'skiy Yu.G. Vliyanie usloviy sredy na raspredelenie fitoplanktona v vodoeme [Environment influence on the phytoplankton distribution in a basin]. *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika [Mathematical Biology and Bioinformatics]*. 2012. Vol. 7, no. 1: 274–283. <https://doi.org/10.17537/2012.7.274>. (In Russian).
 5. Kovaleva I.V., Finenko Z.Z. Kolichestvennyye zakonomernosti izmeneniya odnositel'nogo soderzhaniya khlorofilla pri sovmestnom deystvii sveta i temperatury u diatomovykh vodorosley [Quantitative regularities of changes in the relative content of chlorophyll at the joint action of light and temperature in diatoms]. *Voprosy sovremennoy al'gologii [Issues of Modern Algology]*. 2019. No. 3: 28–36. [https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-3\(21\)-28-36](https://doi.org/10.33624/2311-0147-2019-3(21)-28-36). (In Russian).
 6. Shtraykhert E.A., Zakharkov S.P., Gordeychuk T.N., Shambarova Yu.V. Kонтсентратсия khlorofilla-*a* i bioopticheskie kharakteristiki v zalive Petra Velikogo (Yaponskoe more) vo vremya zimne-vesennego tsveteniya fitoplanktona [Chlorophyll-*a* concentration and bio-optical characteristics in the Peter the Great Bay (Sea of Japan) during winter-spring phytoplankton bloom]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space]*. 2014. Vol. 11, no. 1: 148–162. (In Russian).
 7. Varenik A.V., Konovalov S.K., Metik-Diyunova V.V. Otsenka roli atmosferykh osadkov v prostranstvenno-vremennom izmenenii raspredeleniya neorganicheskikh soedineniy azota v poverkhnostnom sloe vod Chernogo morya [Assessment of the role played by atmospheric precipitation in the spatial and temporal changes in the distribution of nitrogen non-organic compounds in the surface water layer of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]*. 2010. No. 22: 268–273. (In Russian).
 8. Arkhiv dannykh po Chernomu moryu. Parametry poverkhnosti Chernogo morya po dannym MODIS [Data archive for the Black Sea. Characteristics of the Black Sea surface based on MODIS data]. Available at: http://dvs.net.ru/mp/data/main_ru.shtml (accessed 30.03.2022). (In Russian).
 9. Nasledov A.D. Matematicheskie metody psikhologicheskogo issledovaniya. Analiz i interpretatsiya dannykh : uchebnoe posobie [Mathematical methods

- of psychological research. Analysis and interpretation of data. Study guide]. Saint Petersburg: Rech' [Speech], 2007. 392 p. (In Russian).
10. Saprygin V.V., Berdnikov S.V., Kulygin V.V., Dashkevich L.V., Povazhnyy V.V., Gerasyuk V.S. Mnogoletnyaya i sezonnaya dinamika kontsentratsii khlorofilla α v Azovskom more po dannym distantsionnogo zondirovaniya [Chlorophyll- α concentration long-term and seasonal dynamics in the Sea of Azov based on remote sensing data]. *Trudy Yuzhnogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Proceedings of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences]*. 2020. Vol. 8: 149–164. <https://doi.org/10.23885/1993-6621-2020-8-149-164>. (In Russian).
 11. Gidrometeorologicheskiy spravochnik Azovskogo morya [Hydrometeorological handbook of the Sea of Azov]. A.A. Aksenov (ed.). Leningrad: Gidrometeoizdat [Hydrometeorological Publishing House], 1962. 856 p. (In Russian).
 12. Saprygin V.V., Berdnikov S.V., Kulygin V.V., Dashkevich L.V., Mestetskiy L.M. Spatial distribution and seasonal dynamics of the chlorophyll α concentration in the Sea of Azov based on MERIS images. *Oceanology*. 2018. Vol. 58, issue 5: 689–699. <https://doi.org/10.1134/S0001437018050132>.
 13. Zhukova S.V., Shishkin V.M., Kuropatkin A.P., Lutynskaya L.A., Burlachko D.S., Karmanov V.G., Podmareva T.I., Fomenko I.F., Bezrukavaya E.A. Zakonomernosti formirovaniya rezhima solenosti Azovskogo morya v sovremennyy period [Salinity patterns in the Azov Sea under present-day conditions]. In: *Voprosy sokhraneniya bioraznoobraziya vodnykh ob"ektov : materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Rostov-na-Donu, 27 noyabrya 2015 g.) [Some problems on biodiversity conservation of aquatic biocenoses. Proceedings of the International Scientific Conference (Rostov-on-Don, 27 November, 2015)]*. Rostov-on-Don: AzNIIRKH Publ., 2015: 128–137. (In Russian).
 14. Pogoda i klimat: spravochno-informatsionnyy portal [Weather and Climate. Information portal]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (accessed 30.03.2022). (In Russian).
 15. Kochergin A.T. Temperatura vozdukha i osadki na poberezh'e Azovskogo morya v poslednee desyatiletie (2010–2020 gg.) [Air temperature and precipitation at the Azov Sea coast over the last decade (2010–2020)]. In: *Lesnaya melioratsiya i ekologo-gidrologicheskie problemy Donskogo vodosbornogo basseyna : materialy Natsional'noy nauchnoy konferentsii (g. Volgograd, 29–30 oktyabrya 2020 g.) [Forest reclamation and ecologically-hydrological problems of the Don catchment area. Proceedings of the National Scientific Conference (Volgograd, 29–30 October, 2020)]*. Volgograd: Federal'nyy nauchnyy tsentr agroekologii, kompleksnykh melioratsiy i zashchitnogo lesorazvedeniya Rossiyskoy akademii nauk [Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences] Publ., 2020: 531–535. (In Russian).
 16. Berdnikov S.V., Dashkevich L.V., Kulygin V.V. Klimaticheskie usloviya i gidrologicheskiy rezhim Azovskogo morya v XX – nachale XX vv. [Climatic conditions and hydrological regime of the Sea of Azov in the XX – early XXI centuries]. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya [Aquatic Bioresources & Environment]*. 2019. Vol. 2, no. 2: 7–19. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2019_2_2_7. (In Russian).
 17. Vodopyanova V.V., Kalinka O.P. Monitoring kontsentratsiy khlorofilla v Barentsevom more: sravnenie mnogoletnikh *in situ* i sputnikovykh dannyykh [Monitoring of chlorophyll concentrations in the Barents Sea: comparison of long-term *in situ* and satellite data]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN [Transactions of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences]*. 2022. Vol. 13, no. 4 (10): 27–34. <https://doi.org/10.37614/2307-5252.2022.4.10.003>.

Для цитирования: Кочергин А.Т. Гидрометеорологические факторы и их влияние на содержание хлорофилла-а в Азовском море в 2006–2022 гг. Водные биоресурсы и среда обитания. 2024. Т. 7, № 1: 7–17.

Об авторе:

Кочергин Анатолий Тимофеевич, главный специалист Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») (344002, г. Ростов-на Дону, ул. Береговая, 21в), kocherginat@azniirkh.vniro.ru

Поступила в редакцию 03.10.2023

Поступила после рецензии 19.12.2023

Принята к публикации 21.12.2023

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант.

Received 03.10.2023

Revised 19.12.2023

Accepted 21.12.2023

Conflict of interest statement

The author does not have any conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.