

УДК 551.46 (268.1+262.24)
DOI: 10.7868/S25000640210102

АНАЛИЗ ВНУТРИВЕКОВОЙ ПРИРОДНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ В ПРИАЗОВЬЕ И НА НИЖНЕМ ДОНУ: ПРИЧИНА МАЛОВОДЬЯ

© 2021 г. Академик Г.Г. Матишов^{1,2}, Л.В. Дашкевич¹, В.В. Титов¹, Е.Э. Кириллова¹

Аннотация. Изменения климата и водности в Приазовье и на Нижнем Дону, отмечаемые с XVIII века после начала инструментальных наблюдений над состоянием окружающей среды и подкрепляемые более древними историческими источниками, подтверждают известные закономерности циклического характера этих трансформаций. Осуществляемые Южным научным центром Российской академии наук комплексные исследования колонок донных отложений, кернов из верхних горизонтов береговых кос позволяют с большой степенью детальности реконструировать гидродинамические и климатические трансформации в Приазовье на протяжении позднего голоцена. Выявлены внутривековые изменения климата и водности в Приазовье по гидрометеорологическим данным (1884–2020 гг.), которые подразделяются на три периода: холодный (многоводный; 1884–1942 гг.), переходный (1942–1985 гг.) и теплый (маловодный; 1986–2020 гг.). Отсутствие паводкового дренажа и маловодье привели в последнее время к заилению многочисленных протоков и гирл дельты Дона. После зарегулирования стока реки (начиная с 1952 г.) скорость осадконакопления в некоторых протоках дельты и авандельты достигла 10–30 мм/год, что значительно выше по сравнению со скоростью накопления новоазовских отложений на шельфе Азовского моря (0,2–2,0 мм/год). Анализ наблюдаемых закономерностей позволяет предполагать, что в ближайшие два десятилетия можно ожидать наступления следующего переходного этапа с резкими межгодовыми колебаниями температур, с чередованием теплых и суровых зим.

Ключевые слова: климатическая изменчивость, палеоклимат, поздний голоцен, аридизация, цикличность водного режима, осадконакопление.

ANALYSIS OF INTRACENTURY ENVIRONMENTAL VARIABILITY IN THE SEA OF AZOV AND LOWER DON REGIONS: THE CAUSE OF LOW WATER PERIOD

Academician RAS G.G. Matishov^{1,2}, L.V. Dashkevich¹, V.V. Titov¹, E.E. Kirillova¹

Abstract. Changes of climate and water content in the Sea of Azov and Lower Don Regions confirm the known regularities of the cyclical nature of these transformations, based on the noted instrumental observations at environmental condition after the beginning of the 18 century, and supported by more ancient historical sources. The comprehensive studies of bottom sediment columns and cores from the upper horizons of coastal spits carried out by the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, Russia) make it possible to reconstruct hydrodynamic and climatic transformations in the Sea of Azov Region in great detail during the late Holocene. The intercentury changes of climate and water content in the Sea of Azov Region were revealed according to hydrometeorological data (1884–2020), which are subdivided into three periods: cold (high-water; 1884–1942), transitional (1942–1985) and warm (low-water; 1986–2020). Lack of flood drainage and low water levels have recently led to the siltation of numerous channels and branches of the Don delta. After the regulation of the river flow (starting from 1952), the rate of sedimentation in some channels of the delta and avandelta reached 10–30 mm/year, which is significantly higher compared to the rate

¹ Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru

² Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17

of accumulation of New-Azovian deposits on the shelf of the Sea of Azov (0.2 to 2.0 mm/year). An analysis of the observed patterns suggests the occurrence of the next transitional stage with abrupt interannual temperature fluctuations with alternating warm and severe winters in the next two decades.

Keywords: climatic changes, paleoclimate, Late Holocene, aridization, cyclicity of water regime, sedimentation.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Исследование климатической изменчивости в Приазовье и на Нижнем Дону требует комплексного подхода с целью определения тенденций в будущем. Точность прогноза погоды и предстоящих изменений климата зависит от полноты физико-географических данных и продолжительности наблюдений за изменчивостью среды. Период инструментальных наблюдений (в частности, измерение температуры среды ртутным термометром) начался только в XVIII веке. Вместе с тем начало исторического периода оставило самые различные письменные источники, которые стали особенно широко и методично использоваться в последние годы. Общие представления о колебаниях температуры среды за последнюю тысячу лет можно описать, систематизируя информацию, полученную различными косвенными методами.

Среди ритмических явлений природы циклические колебания, в отличие от периодических событий, характеризуются переменной их продолжительностью [1–3]. Циклические колебания могут длиться 1800–1900, 100, 30–40, 17, 11 лет и др. [1; 4–7]. Палеоданные несут информацию о долгопериодных изменениях климата, а данные наблюдений последних столетий – о короткопериодной изменчивости.

Глобальные изменения температуры на земной поверхности происходили одновременно с наступлениями и отступлениями ледниковых щитов, изменениями уровня Мирового океана (на 120 м), высоты снеговой линии в горах, размеров долинных ледников. По продолжительности циклические колебания подразделяют на внутривековые, межвековые и долгопериодные (помимо мелкомасштабных, которые в данном исследовании не учитываются) [3; 8]: внутривековые колебания с периодами порядка десятков лет, ярким примером можно считать потепление в 1930-е гг.; межвековые колебания с периодами в несколько веков или несколько десятков веков; долгопериодные колебания (ледниковые – межледниковый период) длительностью в десятки тысяч лет.

Выдающийся югославский геофизик М. Миланкович предложил теорию, которая объясняет колебания климата в плейстоцене колебаниями наклона экватора Земли к плоскости ее орбиты, а также элементов земной орбиты, создаваемых действием на Землю сил притяжения других планет [2].

Яркие события о процессах климатической изменчивости отражены и в исторических документах (с XI по XIII век). Например, конец первого и начало второго тысячелетия нашей эры вошли в историю Европы как эпоха викингов: «Период викингов» – время, когда лето было настолько теплым и сухим и когда северные моря были настолько свободны от плавучих льдов, что норвежцы могли повсюду плавать в небольших лодках» [3: 45].

После «периода викингов» и до XVII века повсеместно в Европе ощущалось общее снижение температуры [3]. Лучше других изучены колебания климата, происходившие в VII–XIII и в XVI–XIX веках. Событие первого временного интервала получило название «малый климатический оптимум», второго – «малый ледниковый период». Иногда второй термин относят ко всему периоду от окончания теплого раннего средневековья до середины или второй половины XIX века, в других случаях им обозначают более короткий интервал – XVII–XIX века [3]. Особо холодный отрезок времени имел место между 1650 и 1750 гг. В этот период было отмечено продвижение льдов во многих средне- и высокоширотных регионах, а средняя годовая температура в Европе и Северной Америке (Альпы, Скалистые горы), по данным реконструкций или измерений, была на 1–2 °C ниже современной. Малый ледниковый период оказал значительное влияние на рост и структуру лесов во многих северных районах. Максимальное наступление альпийских ледников началось на рубеже XVI и XVII веков и продолжалось по крайней мере до 1616 г. [3].

В плане регионального климата отметим два экстремальных зимних эпизода в XVI и XVII веках. Зима 1543–1544 гг. была исключительно холодной для многих европейских стран – Германии, Франции, стран Северного Причерноморья. Север

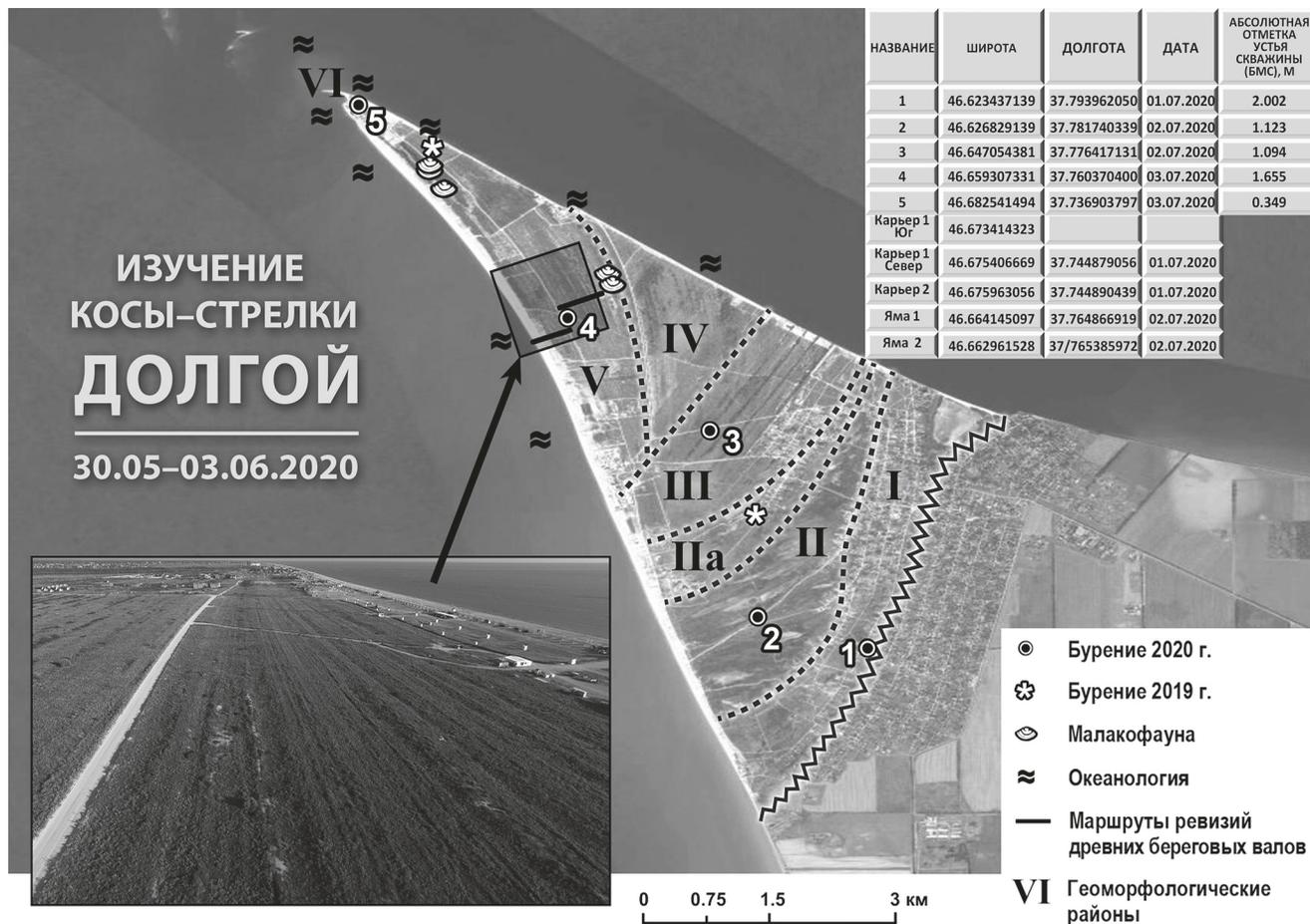


Рис. 1. Карта-схема полевых исследований, проводившихся на косе Долгой 30.05–03.06.2020 г.
Fig. 1. Schematic map of field surveys carried out on the Dolgaya Spit 30.05–03.06.2020.

Черного моря покрылся льдом. По сведениям южно-русских летописей, и на Руси «снеги великие были и зима тяжкая морозами, от которых прेमного шведов погинуло». Великой называют зиму в конце XVIII века (1788–1789 гг.). В Крыму морозы достигали -25°C , в Северном Причерноморье «зима жестокая, морозов преисполненная, из хат вылезали через крыши из-за снегов великих», замерзла северная часть Черного моря. «Именно в эту зиму 6 декабря в трескучий мороз русская армия взяла штурмом крепость Очаков» [9].

В настоящей работе предпринята попытка объяснить причины современного маловодья в Приазовье через анализ внутривековой природной изменчивости с привлечением методов палеогеографии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Данные натурных наблюдений включают материалы, собранные сотрудниками Южного научного центра Российской академии наук (ЮНЦ РАН)

в 2000–2020 гг. Регулярный мониторинг водного режима и колебаний уровня воды осуществляли на установках сети уровнемеров и автоматических гидрометеостанций (ГМС) от южной части дельты Дона до взморья Таганрогского залива Азовского моря. С 2016 г. проводили планомерное бурение на побережье Таганрогского залива, в частности на Очаковской, Чумбурской, Беглицкой и Долгой косах [10]. В прибрежных районах моря колонки донных осадков отбирали гравитационной трубкой с научно-исследовательских судов «Денеб» и «Профессор Панов», а также вибрационной трубкой с несамостоятельного понтона.

Особое внимание уделяли отбору раковинного материала по вертикали изученных разрезов. Отбор проб из обнажений, кернов скважин и грунтовых колонок производили послойно, с описанием литологических особенностей вмещающей породы, видовой принадлежности моллюсков, степени сохранности и фотографированием раковинного материала. Мощность отложений в изученных ко-

лонках от 1,5 до 2,8 м, отбор образцов для спорово-пыльцевого и диатомового анализа производили с интервалом 2–5 см. Учитывались палинологические данные из поверхностных слоев осадков, которые позволяют составить представление о характере трансформации растительного покрова побережья Приазовья в позднем голоцене [11; 12].

Абсолютный возраст отложений определяли радиоуглеродным методом по образцам раковин моллюсков из керна скважин и обнажений в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана им. В.П. Кёплена (Санкт-Петербургский государственный университет, Россия; обозначение обработанного образца – ЛУ). Значения календарного возраста были получены с помощью программы «OxCal 4.3» (калибровочная кривая «IntCal 13»). За последние годы получено более 100 радиоуглеродных датировок донных отложений ново- и древнеазовского возраста [10–12]. Возраст артефактов с морского дна оценивали также и с привлечением археологических находок.

Климатическая изменчивость в зимние сезоны 1884–2020 гг. оценена по историческим рядам наблюдений за температурой воздуха на гидрометеостанциях в Таганроге, Геническе, Керчи, которые территориально характеризуют восточную, западную и южную части Приазовья. Эти данные взяты с сайта Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации (mete.ru), из климатического атласа Азовского моря [13] и других литературных источников [14–16].

Расчет аномалий сезонной температуры воздуха в Приазовье осуществлялся следующим образом:

1. Вычисление среднемесячных температур воздуха на основе суточных значений на ГМС.

2. Вычисление сезонных величин по годам на основе среднемесячных значений.

3. Далее расчет средней сезонной температуры для региона проводили по годам путем осреднения данных трех ГМС.

4. Климатическую норму для рассматриваемого региона рассчитывали с помощью осреднения данных трех ГМС за период 1961–1990 гг. (принят Всемирной метеорологической организацией в качестве стабильного базового периода для долгосрочной оценки изменений климата).

5. Аномалии зимней температуры по годам находили с помощью расчета разницы между сезонным значением температуры воздуха и климатической нормой.

6. Согласно с методикой расчета суровости зим [16] дана оценка характера зимних сезонов за рассматриваемый период.

Расчет годовых и максимальных среднемесячных расходов воды р. Дон в ст. Раздорской проводили на основе данных из ежегодников Государственного водного кадастра следующим образом:

1. Вычисление годовых расходов воды на основе средних месячных значений.

2. Анализ данных, выбор максимальных значений из средних месячных расходов для каждого года.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Палеоклимат. Анализ закономерных черт физико-географических процессов в Азово-Донском бассейне начиная с конца атлантического – начала суббореального периода (около 5500–4000 календарных лет назад) и климатических тенденций в современный период дает основания для общих реконструкций. В Приазовье растительный покров и климат не оставались постоянными на протяжении последних тысячелетий [10–12]. Вторая половина голоцена включала в себя четыре относительно прохладные и гумидные (5500–4000, 3200–2500, 1800–1500, 650–150 календарных лет назад) и три более теплые и сухие фазы (4000–3200, 2500–1800, 1500–650 календарных лет назад). Активное почвообразование происходило в атлантическое (~6–5,5 тыс. лет назад) и суббореальное (4,5–2,5 тыс. лет назад) время. В период греческой колонизации (2,7–2,4 тыс. лет назад) основную долю в земледелии составляли культурные злаки (Cerealia), появилась пыльца гречихи и конопля, возрасла роль сорных видов – *Rumex* sp., *Polygonum aviculare*, *Plantago major*, *P. media*, *Convolvulus* sp., представителей Cichoriaceae [11].

Существенно дополнили представления о палеоклимате Азовского моря данные бурения на косе Долгой в 2019–2020 гг. (рис. 1, [10]). Суммируя новые литостратиграфические данные по скважинам бурения, новые датировки абсолютного возраста пластов ракушечных отложений возможно детально проанализировать и изобразить графически (рис. 2) историю формирования песчаной косы.

Основная часть аккумулятивного тела косы была образована в интервале времени от 1920 ± 110 (ЛУ-9756) до 2500 ± 150 (ЛУ-9757) лет, во время нимфейской трансгрессии [10]. Большая часть органогенного материала представлена створками

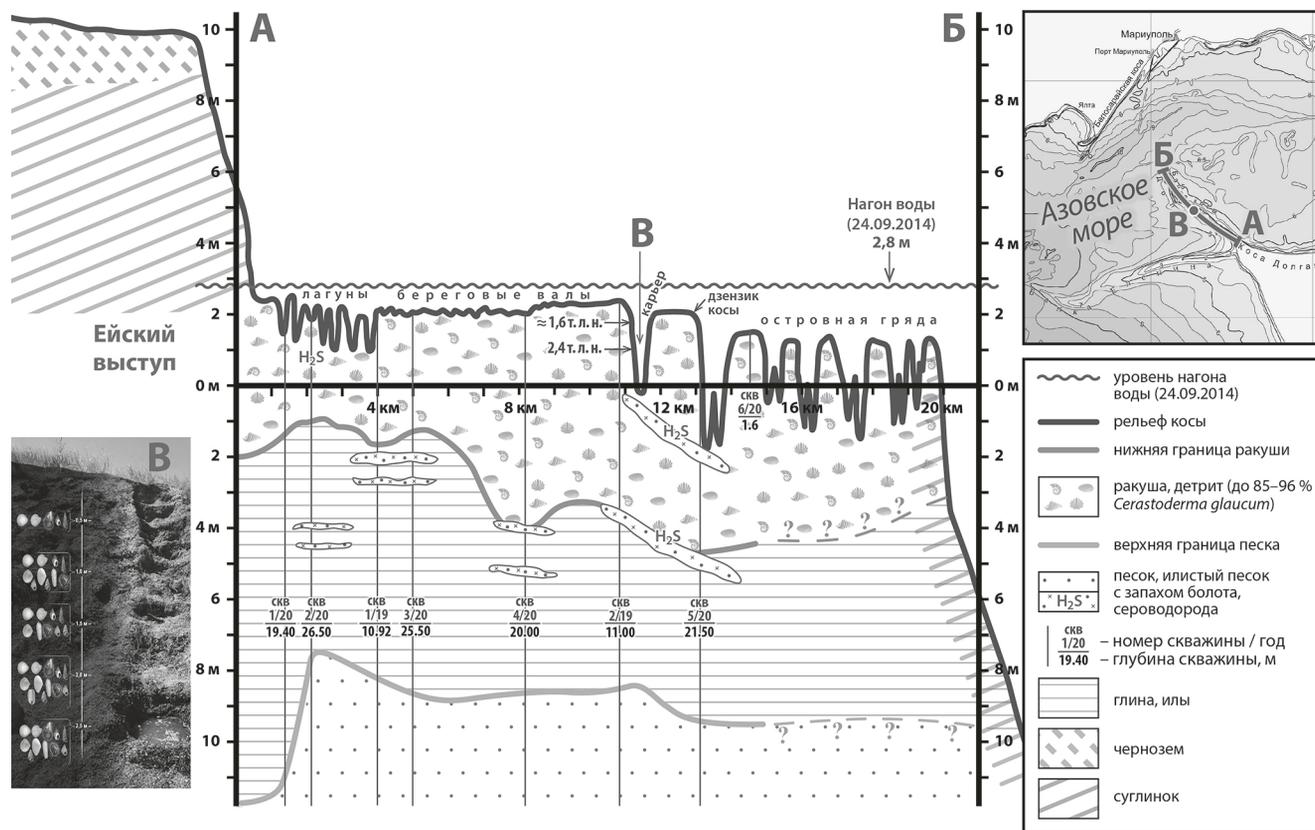


Рис. 2. Геоморфологический разрез косы Долгой (по данным бурения).
 Fig. 2. Geomorphological transect of the Dolgaya Spit (according to drilling data).

раковин и детритом моллюсков рода *Cerastoderma Poli*, 1795 (более 95 %). На ритмику развития косы указывают шесть генераций древних береговых валов (рис. 1). В целом нимфейская трансгрессия ассоциируется с накоплением отложений новоазовского возраста (от 3,1 тыс. л. н. до настоящего времени), которые имеют повсеместное распространение. Современную литодинамику отражает шестая стадия развития косы.

С 1890 по 2000 г. прослеживалась устойчивая тенденция уменьшения длины оконечности косы Долгой (рис. 3). Этот процесс интенсивно происходил с 1890 по 1958 г., когда протяженность косы уменьшилась на 1,35 км, и продолжается в настоящее время (рис. 4).

Аридизация климата. За последние две тысячи лет в районе Черного моря отмечено более 20 очень суровых зим. Временной интервал между ними составляет в большинстве случаев от 60 до 90 лет [9].

За более чем 130 лет наблюдений основная доля суровых зим (более трети) пришлось на конец XIX – начало XX века, а теплых – на начало XXI века (рис. 5). Можно выделить условно «холодный» (до середины 1940-х гг.) и «теплый» (с середины

1980-х гг.) периоды. Их разделяет переходный этап с достаточно резкими колебаниями температур по годам. Для всех периодов в Приазовье характерно чередование суровых и теплых зим.

Самая суровая и снежная зима за более чем 130 лет наблюдений в Приазовье была в 1953–1954 гг. Ее по праву называют «зимой века». На азовском побережье тогда средняя температура воздуха составила -9°C . На Южном берегу Крыма морозы держались три месяца подряд, среднемесячная температура февраля была на $10-12^{\circ}\text{C}$ ниже нормы, в Ялте высота снежного покрова в этот период превышала 30 см. Полностью замерзло Азовское море и северная часть Черного моря, через Керченский пролив было открыто устойчивое автомобильное сообщение [9].

В XXI веке зимы со льдом в Таганрогском заливе в большинстве случаев длились около 50 дней. Максимум ледовитости – 74 дня – зафиксирован зимой 2016–2017 гг.

Самая теплая зима в рассматриваемый период – 1965–1966 гг., со средней температурой воздуха $+3,3^{\circ}\text{C}$ – пришлось на переходный этап. Второй по тепловому рангу стала зима 2019–2020 гг. В бли-

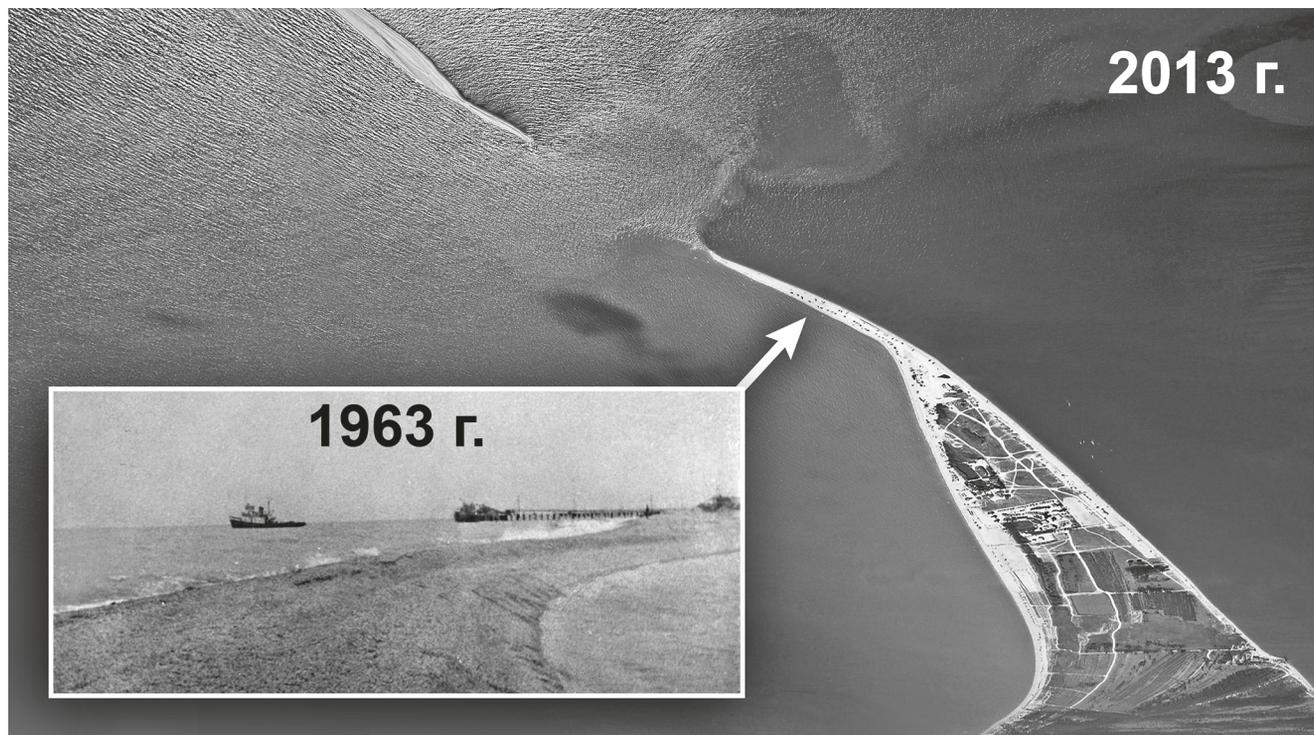


Рис. 3. Рыболовная фактория на оконечности косы Долгой.
 Fig. 3. Fishing trading post on the Dolgaya Spit.



Рис. 4. Ракушечный остров в островной гряде косы Долгой (фото сделано с оконечности косы).
 Fig. 4. Shell island in the island ridge of the Dolgaya Spit (photo was taken from the end of the spit).

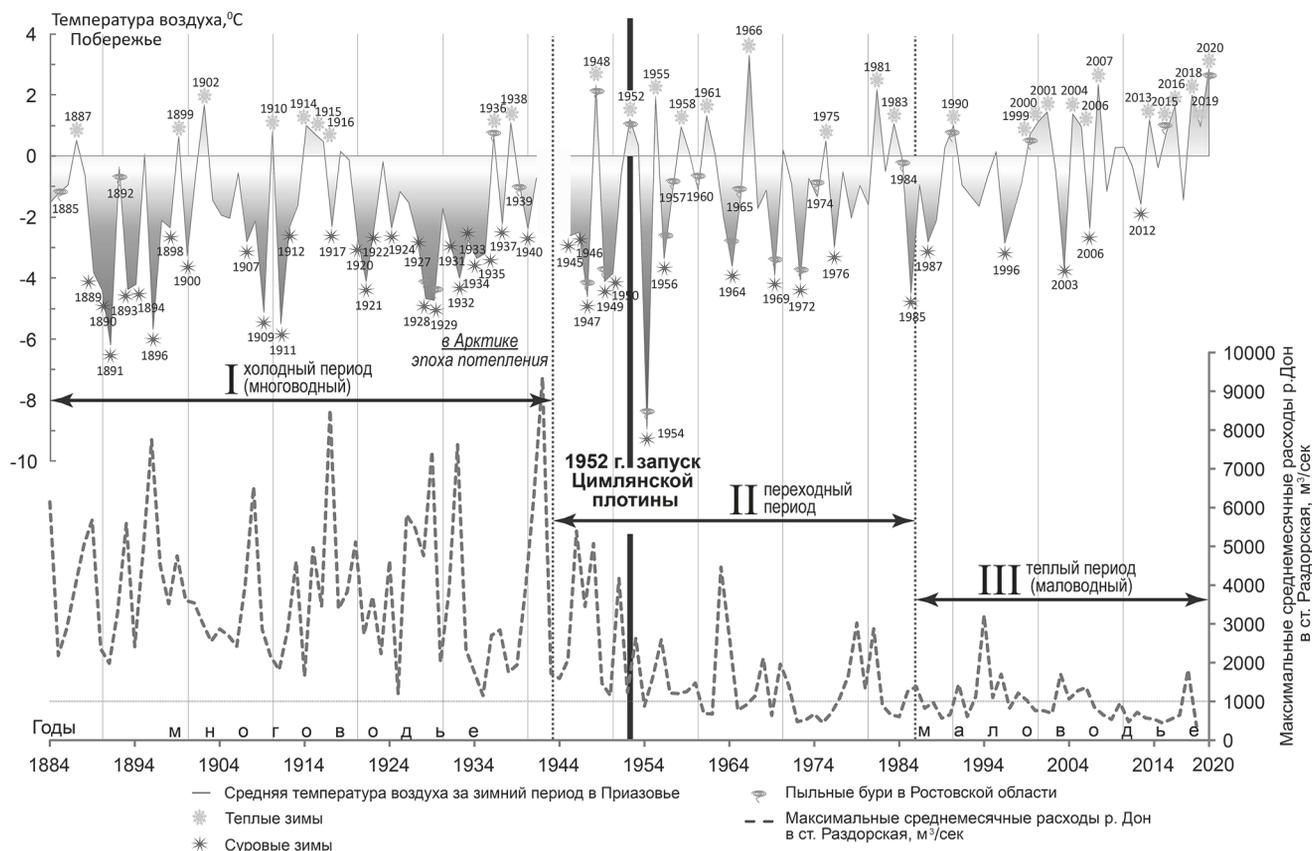


Рис. 5. Внутривековые климатические изменения в Приазовье по гидрометеорологическим данным (1884–2020 гг.).
 Fig. 5. Climatic changes in the Sea of Azov region according to hydro-meteorological data (1884–2020).

жайшие два десятилетия можно ожидать наступления следующего переходного этапа с резкими межгодовыми колебаниями температур, с чередованием теплых и суровых зим.

В XXI веке Приазовье находится в условиях аридизации климата: дефицита водных ресурсов, отсутствия половодья, исключительно большого испарения [17; 18]. Засуха обычно вызывается устойчивыми антициклонами и сильными восточными ветрами (суховеями). В период 1884–2020 гг. число сильных пыльных бурь в Ростовской области составило более 20 [18]. За последние 20 лет сильные пыльные бури наблюдались в этом регионе в 2015 и 2020 гг. (рис. 5).

Внутривековые колебания водного режима. В 1884–2020 гг. водный режим Дона изменялся с определенной цикличностью (рис. 5). Анализ максимальных среднесесячных расходов воды в р. Дон у ст. Раздорской позволил выделить периоды: I – 1884–1942 гг. (3200 м³/с); II – 1942–1985 гг. (1200 м³/с); III – 1986–2020 гг. (1000 м³/с). Средние минимальные расходы воды по периодам: I – 400 м³/с, II и III – 325–335 м³/с.

С 1952 г. речной сток зарегулирован Цимлянской плотиной. Минимально гарантированный судоходный попуск – 340 м³/с. После зарегулирования реки сброс воды объемом в 30 км³ являлся оптимальным (в расчет при проектировании были взяты самые водные годы XX столетия, в частности 1941–1942 гг., когда у ст. Раздорской максимальные расходы воды достигали 6300–9300 м³/с [17; 18]). В многоводный период сток Дона достигал 52 км³. В маловодные годы изъятие для нужд Цимлянского водохранилища речной воды составляет примерно 1/12 части (24 км³) от объема воды Азовского моря, что приводит к усилению черноморской адвекции в этот водоем [17]. Сегодня сток Дона во все двенадцать месяцев года соответствует минимальным историческим запасам. К маловодным годам отнесены 2009, 2011, 2014, 2015 и 2020 гг. В 2015 г. объем половодья на Цимлянском водохранилище не превысил величины 4 км³ (35 % от нормы), а максимальный расход – 790 м³/с (четверть нормы). В 2020 г. среднегодовой расход воды р. Дон у ст. Раздорской – составил 316 м³/с, в ноябре минимальный расход – 280 м³/с.

Станция 7 Мощность колонки 260 см				Станция 59 Мощность колонки 298 см			
Литологическая характеристика	Горизонт отбора (см)	Калиброванный возраст (календарный), лет		Литологическая характеристика	Горизонт отбора (см)	Калиброванный возраст (календарный), лет	
		Интервал (см)	Возраст			Интервал (см)	Возраст
Алевритово-глинистые карбонатные илы. Цвет темно-серый до черного. По поверхности обводненный наилок оливкового оттенка. Материал песчаной размерности за счет разрушения створок раковин	0-5	-	-	Ил глинистый. Цвет темно-серый до черного. Содержание ракушечного материала – 5-10 % от объема пробы. По поверхности наилок ржаво-оливкового цвета мощностью до 5 мм	0-20		
Заиленная ракуша. Цвет серый. Содержание карбонатного материала >50 %	5-150	110-120	2260±70	Ил глинистый. Цвет темно-серый до черного. Мягкопластичный. Отмечаются прослойки ракушечного материала мощностью 2-3 см через 15-20 см	20-95	15-25	770±80
		125-135	2180±100				
		135-140	2120±110				
Ил глинистый. Цвет темно-серый. Мягкопластичный. Отмечаются прослойки ракушечного материала мощностью 2-3 см через 15-20 см	150-225	165-170	2220±90	Заиленная ракуша и ракушечный детрит. Цвет серый. В интервале 130-145 см – мягкопластичный глинистый ил серого цвета	95-160	100-110	890±100
Заиленная ракуша. Цвет серый. Содержание карбонатного материала >50 %	225-260	225-230	2490±120			110-120	1110±100
		235-245	2440±150			120-130	1110±90
		250-260	2930±130			130-135	1340±110
Ил глинистый. Цвет темно-серый. Мягкопластичный. Отмечаются прослойки ракушечного материала мощностью 3-4 см через 10-15 см	160-275	170-175	2850±120	153-165	2280±150		
				185-200	3140±180		
Заиленная ракуша и ракушечный детрит	275-298	280-298	3900±130				



Рис. 6. Абсолютный возраст и мощность осадочных слоев в Азовском море.
Fig. 6. Absolute age and thickness of sedimentary layers in the Sea of Azov.

Осадконакопление в эпоху зарегулирования Дона. С 1952 г. естественный процесс седиментации на Нижнем Дону и на взморье претерпел значительные изменения. Произошло замедление паводковых течений. В речной взвеси снизилось содержание частиц песчаной размерности. В XXI веке усилилась аридизация климата и сократился объем стока Дона. Отсутствие паводкового дренажа и маловодье привели к заилению многочисленных проток и гирл дельты. За последние полвека в устьевых зонах сформировался характерный слой илистых отложений мощностью 1–2,5 м. Край дельты выдвинулся в Азовское море на 10–40 м.

С использованием методов абсолютной геохронологии и литологии установлено, что скорость осадконакопления на протяжении древне- и новоазовского этапа развития Азовского моря изменялась от 0,2 до 2,0 мм/год [11; 12] (рис. 6).

Маркирующий горизонт эпохи паровых судов на Нижнем Дону (1860–1960 гг.), вскрытый грунтовыми трубками и при дноуглублении (рис. 7), позволил рассчитать скорость седиментации на Ниж-

нем Дону. Пароходы, курсировавшие от Ростова-на-Дону до Азова, Кагальника, Таганрога, брали на борт за одну загрузку порядка 85 т угля [19]. На дне судоходных каналов сформировался пласт угольного шлака от 3 до 10 см с размером обломков 1–5 см. Маркирующий шлаковый горизонт, общей протяженностью в дельте порядка нескольких десятков километров, с резким несогласием залегает на аллювиальных мелко-среднезернистых песках, которые сформировались в условиях паводков до зарегулирования реки. Со второй половины XX века водный режим и процессы седиментации в бассейне Дона, обусловленные внутривековой цикличностью климата, были нарушены введением в эксплуатацию Цимлянской плотины, что вызвало заиливание речных русел [17; 20]. Принимая во внимание расположение маркирующего горизонта на глубине 1–2 м, можно рассчитать, что скорость седиментации глинистых илов достигала в авандельте 10–30 мм в год. Указанные величины примерно в 15 раз выше скорости накопления новоазовских отложений на шельфе Азовского моря.

ВЫВОДЫ

Современные представления о климате складываются путем статистической обработки результатов метеорологических наблюдений за многолетний период. Если климат цикличен, динамика температуры воздуха и расходы воды в Дону цикличны, то по аналогии логично сделать прогноз гидрометеопараметров на будущее. Однако в XXI веке только этого мало. Объективно выявить тенденции развития будущего климата можно с учетом анализа палеоклимата голоцена, опираясь на данные бурения, исторические и архивные источники. Реальные природные явления, безусловно, должны закладываться в модели с учетом палеогеографических закономерностей последних тысячелетий.

По данным бурения береговых аккумулятивных форм [10; 11], частые изменения уровня Азовско-

го моря предопределили стратифицированный характер строения осадочных толщ. Благодаря полученным радиоуглеродным датировкам, проведенному диатомовому и спорово-пыльцевому анализу донных отложений стало возможным проследить динамику изменений климата и уровня моря за последние пять тысяч лет, а также многолетнюю изменчивость климатических условий формирования стока в бассейне Дона.

На протяжении XVI–XVII веков в Причерноморье и Приазовье имел место малый ледниковый период. В течение последних полутора веков в регионе Азово-Донского бассейна циклы колебания средних температур воздуха зимой и водного режима были синхронны. На рубеже XX и XXI веков начали преобладать засушливые годы, сопровождаемые маловодьем и засухой, то есть происходит опустынивание, сокращение запасов воды в бассейне р. Дон и осолонение Азовского моря.

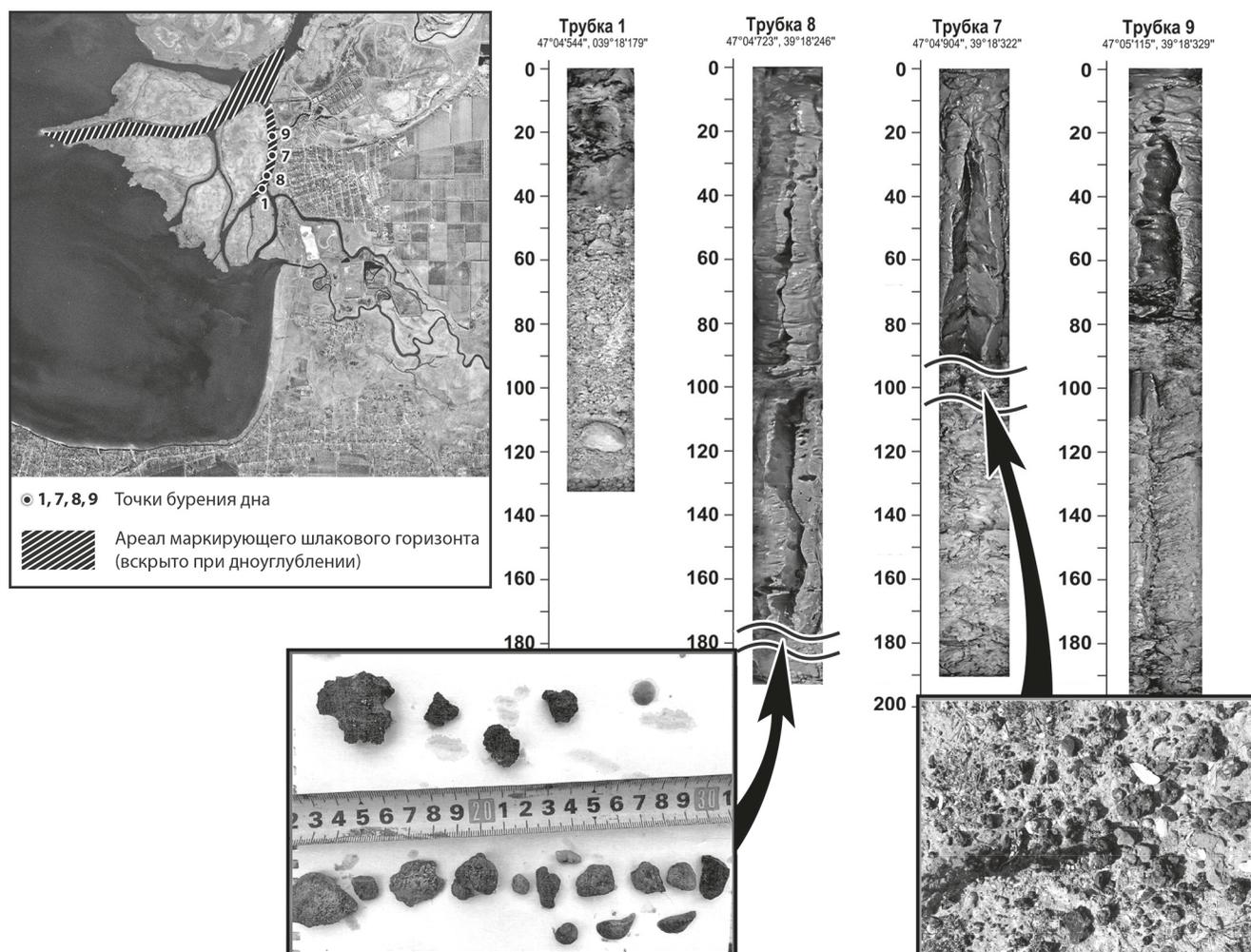


Рис. 7. Маркирующий горизонт по угольному шлаку (1860–1960-е гг.).
 Fig. 7. Marker horizon by coal slag (1860–1960s).

Минимальные расходы воды (280 м³/с в створе гидропоста «Раздорская», 18 ноября 2020 г.) стали нормой в течение года. При этом в период пуска Цимлянкой ГЭС в 1952 г. средние минимальные расходы воды были 335 м³/с, а максимальные – 1200 м³/с. В условиях маловодья и отсутствия паводков развивалась устойчивая лавинная седиментация в дельте и на взморье.

Подводя итоги исследования траектории развития природных явлений во второй половине голоцена, а также опираясь на внутривековые метеорологические закономерности, приходим к выводу,

что в ближайшие два десятилетия в регионе Азовского моря и Нижнего Дона установится метеорологический режим климата переходного этапа, охарактеризованный выше: с резкими межгодовыми колебаниями температур, с чередованием теплых и суровых зим.

Публикация подготовлена в рамках гранта РФФИ № 20-17-00196 (для Г.Г. Матишова, В.В. Титова), госзадания ЮНЦ РАН, № госрегистрации 01201363186 (для Е.Э. Кирилловой) и № госрегистрации ААА-А-А18-118122790121-5 (для Л.В. Дашкевич).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калесник С.В. 1970. *Общие географические закономерности Земли*. М., Мысль: 283 с.
2. Миланкович М. 1939. *Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата*. М., ГОНТИ: 207 с.
3. Монин А.С., Шишков Ю.А. 1979. *История климата*. Л., Гидрометеиздат: 408 с.
4. Максимов И.В. 1970. *Геофизические силы и воды океана*. Л., Гидрометеиздат: 447 с.
5. Марков К.К., Величко А.А. 1967. *Четвертичный период (ледниковый период – антропогенный период)*. Т. III. *Материки и океаны*. М., Недра: 440 с.
6. Марков К.К., Величко А.А., Лазуков Г.И., Николаев В.А. 1968. *Плейстоцен*. М., Высшая школа: 304 с.
7. Зубаков В.А. 1986. *Глобальные климатические события плейстоцена*. Л., Гидрометеиздат: 286 с.
8. Матишов Г.Г. 1987. *Мировой океан и оледенение Земли*. М., Мысль: 268 с.
9. Гришин М.Г. 2012. Ледниковые периоды и аномальные зимы на побережье Черного моря. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 26(1): 134–146.
10. Матишов Г.Г., Польшин В.В., Титов В.В. 2020. Исследования отложенной косы Азовского моря (на примере косы Долгой). *Океанология*. 60(1): 158–161. doi: 10.31857/S0030157420010165
11. Матишов Г.Г., Титов В.В., Ковалева Г.В., Польшин В.В., Дюжова К.В., Байгушева В.С., Зайцев А.В., Ильина Л.П., Нестерук Г.В., Сушко К.С., Тимонина Г.И., Куршаков С.В., Невидомская Д.Г. 2019. *Палеогеография Приазовья в голоцене*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 224 с.
12. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Арсланов Х.А., Дюжова К.В., Польшин В.В., Золотарева А.Е. 2018. Результаты радиоуглеродного датирования голоценовых отложений Азовского моря. *Доклады Академии наук*. 479(6): 655–658. doi: 10.7868/S0869565218120113
13. *Climatic Atlas of the Sea of Azov*. 2008. NOAA Atlas NESDIS 65, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office: 148 p.
14. Книпович Н.М. 1932. *Гидрологические исследования в Азовском море. Труды Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции*. Вып. 5. М., Мособлполиграф: 495 с.
15. *Основные гидрометеорологические сведения о морях СССР*. Т. 3: *Азовское море*, Вып. 4: *Метеорологические данные прибрежной полосы*. 1940. Л. – М., Гидрометеиздат: 438 с.
16. *Гидрометеорологический справочник Азовского моря*. 1962. Л., Гидрометеиздат: 856 с.
17. Матишов Г.Г. 2016. *Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики. Доклад на расширенном заседании Президиума ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.)*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 64 с.
18. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. 2006. *Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра*. Ростов н/Д, Донской издательский дом: 488 с.
19. *Труды отдела торговых портов*. Вып. 12. *Азовское море. Технично-экономический обзор*. 1904. СПб., Государственная типография: 172 с.
20. Казмирук В.Д., Казмирук Т.Н., Бреховских В.Ф. 2004. *Зарастающие водотоки и водоемы: динамические процессы формирования донных отложений*. М., Наука: 310 с.

REFERENCES

1. Kalesnik S.V. 1970. *Obshchie geograficheskie zakonomernosti Zemli*. [General geographical patterns of the Earth]. Moscow, Mysl': 283 p. (In Russian).
2. Milankovich M. 1939. *Matematicheskaya klimatologiya i astronomicheskaya teoriya kolebaniy klimata*. [Mathematical climatology and astronomical theory of climate fluctuations]. Moscow, State Scientific and Technical Publishing House: 207 p. (In Russian).
3. Monin A.S., Shishkov Yu.A. 1979. *Istoriya klimata*. [History of Climate]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 408 p. (In Russian).
4. Maksimov I.V. 1970. *Geofizicheskie sily i vody okeana*. [Geophysical forces and ocean waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 447 p. (In Russian).
5. Markov K.K., Velichko A.A. 1967. *Chetvertichnyy period (lednikovyy period – antropogenovyy period)*. T. III. *Materiki i okeany*. [Quaternary period (ice age – anthropogenic period). Vol. III. Continents and oceans]. Moscow, Nedra: 440 p. (In Russian).

6. Markov K.K., Velichko A.A., Lazukov G.I., Nikolaev V.A. 1968. *Pleystotsen. [Pleistocene]*. Moscow, Vysshaya shkola: 304 p. (In Russian).
7. Zubakov V.A. 1986. *Global'nye klimaticheskie sobytiya pleystotsena. [Global climatic events of the pleistocene]*. Leningrad, Gidrometeoizdat: 286 p. (In Russian).
8. Matishov G.G. 1987. *Mirovoy okean i oledenenie Zemli. [World Ocean and the glaciation of the Earth]*. Moscow, Mysl': 268 p. (In Russian).
9. Grishin M.G. 2012. [Ice ages and abnormal winters on the Black Sea coast]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoy i shel'fovoy zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. 26(1): 134–146. (In Russian).
10. Matishov G.G., Pol'shin V.V., Titov V.V. 2020. Studies of the sediments of the Sea of Azov (on the example of Dolgaya spit). *Oceanology*. 60(1): 138–141. doi: 10.1134/S0001437020010166
11. Matishov G.G., Titov V.V., Kovaleva G.V., Pol'shin V.V., Dyuzhova K.V., Baigusheva V.S., Zaitsev A.V., Il'ina L.P., Nesteruk G.V., Sushko K.S., Timonina G.I., Kurshakov S.V., Nevidomskaya D.G. 2019. *Paleogeografiya Priazov'ya v golotsene. [Paleogeography of the Sea of Azov Region in the Holocene]*. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 224 p. (in Russian).
12. Matishov G.G., Kovaleva G.V., Arslanov Kh.A., Dyuzhova K.V., Polshin V.V., Zolotareva A.E. 2018. Results of radiocarbon dating of Holocene deposits from the Sea of Azov. *Doklady Earth Sciences*. 479(2): 452–455. doi: 10.1134/S1028334X1804027X
13. *Climatic Atlas of the Sea of Azov*. 2008. NOAA Atlas NESDIS 65, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office: 148 p.
14. Knipovich N.M. 1932. *Gidrologicheskie issledovaniya v Azovskom more. Trudy Azovo-Chernomorskoj nauchno-promyslovoy ekspeditsii. Vyp. 5. [Hydrological research in the Sea of Azov. Proceedings of the Azov-Black Sea scientific and fishing expedition. Issue 5]*. Moscow, Mosoblpoligraf: 495 p. (In Russian).
15. *Osnovnye gidrometeorologicheskie svedeniya o moryakh SSSR. T. 3: Azovskoe more, Vyp. 4: Meteorologicheskie dannye pribrezhnoy polosy. [Basic hydrometeorological information about the seas of the USSR. Vol. 3: Sea of Azov, Issue 4: Coastal meteorological data]*. 1940. Leningrad – Moscow, Gidrometeoizdat: 438 p. (In Russian).
16. *Gidrometeorologicheskij spravochnik Azovskogo morya. [Hydrometeorological reference of the Sea of Azov]*. 1962. Leningrad, Gidrometeoizdat: 856 p. (In Russian).
17. Matishov G.G. 2016. *Klimat, vodnye resursy i rekonstruktsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s uchetom interesov naseleniya, rybolovstva i sel'skogo khozyaystva, sudokhodstva i energetiki. Doklad na rasshirennom zasedanii Prezidiuma YuNTs RAN (g. Rostov-na-Donu, 25 maya 2016 g.). [Climate, water resources and reconstruction of hydraulic structures taking into account the interests of the population, fishing and agriculture, shipping and energy. Report at an expanded meeting of the Presidium of the SSC RAS (Rostov-on-Don, 25 May 2016)]*. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Publishers: 64 p. (In Russian).
18. Panov V.D., Lurie P.M., Larionov Yu.A. 2006. *Klimat Rostovskoy oblasti: vchera, segodnya, zavtra. [Climate of the Rostov Region: yesterday, today, tomorrow]*. Rostov-on-Don, Don Publishing House: 488 p. (In Russian).
19. *Trudy otdela torgovykh portov. Vyp. 12. Azovskoye more. Tekhniko-ekonomicheskij obzor. [Proceedings of the department of commercial ports. Issue 12. Azov Sea. Technical and economic overview]*. 1904. St Petersburg, State Printing House: 172 p. (In Russian).
20. Kazmiruk V.D., Kazmiruk T.N., Brekhovskikh V.F. 2004. *Zarastayushchie vodotoki i vodoyemy: dinamicheskie protsessy formirovaniya donnykh otlozheniy. [Overgrowing streams and reservoirs: dynamic processes of formation of bottom sediments]*. Moscow, Nauka: 310 p. (In Russian).

Поступила 18.12.2020