

## РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАТОМОВОГО АНАЛИЗА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ (последние 1,5 тысячи лет)

А.В. Усанова<sup>1,2</sup>, Г.В. Ковалева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр Южный научный центр  
Российской академии наук, Ростов-на-Дону

<sup>2</sup> Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону  
a\_w\_u@mail.ru, kovaleva\_galina@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе методом диатомового анализа исследовано 17 образцов из донных отложений колонок К-44 и К-133, расположенных в центральном и северном районах Азовского моря. Всего было идентифицировано 67 видов и 5 вариантов диатомовых водорослей из 34 родов.

Эколого-флористический анализ показал, что место отбора колонок (глубоководный и прибрежный районы) существенно влияет на соотношение экологических групп диатомовых водорослей. По результатам радиоуглеродного (<sup>14</sup>C) анализа выявлено, что донные отложения в двух колонках имеют разную скорость осадконакопления: осадки в колонке К-44 накопились за 1–1,5 тыс. лет, а отложения в керне К-133 – в течение последних 600–700 лет.

Анализ последовательной смены комплексов доминирующих видов диатомовых водорослей в колонках К-44 и К-133 позволил выделить 6 экостратиграфических зон. Зона Na2 сопоставляется с нимфейской трансгрессией. Зона Na3 – с корсуньской регрессией. Экостратиграфическая зона Na4 выявлена в обеих колонках и является основой для корреляции этих кернов. Данная зона соотносится с периодом ордынской трансгрессии. Зона Na5 сопоставляется со стадией регрессии. Зона Na6 соотносится с этапом трансгрессии. Зона Na7 соответствует современному периоду. В отложениях, отнесенных к зонам Na2, Na4 и Na6, отмечено увеличение числа спор *Chaetoceros* и снижение численности створок *Actinocyclus* spp., *Actinoptychus senarius*. Зона Na3 и Na5 были выделены по доминированию таксонов из родов *Actinocyclus* и *Actinoptychus*, также отмечено уменьшение численности спор морского рода *Chaetoceros*.

Полученные в этом исследовании данные позволили внести корректировку в разработанную ранее схему чередования трансгрессивно-регрессивных стадий Азовского моря по результатам диатомового анализа и абсолютной геохронологии. Выявлено, что временной интервал существования корсуньской регрессии составляет 900–700 лет назад (а не 900–600 лет, как считалось ранее), а время развития ордынской трансгрессии охватывало период с 700 до 400 лет назад (т.е. 1300–1600 гг. – первая и вторая фазы Малого ледникового периода).

**Ключевые слова:** диатомовые водоросли, Азовское море, поздний голоцен, нимфейская трансгрессия, корсуньская регрессия, ордынская трансгрессия.

Азовское море – молодой в геологическом смысле водоем, который окончательно обособился от Черного моря около 6,5–7 тыс. лет назад [1]. Условия, близкие к современным, сформировались в Азовском море только 2–3 тыс. лет назад. Этот период наиболее интересен для понимания современных закономерностей и тенденций развития экосистемы Азовского моря в позднем голоцене.

Диатомовый анализ – один из разделов микропалеонтологии, который изучает видовой состав диатомовых водорослей в осадочных породах различных водоемов. Выявляя закономерности и последовательность смены видовых комплексов диатомовых водорослей, можно установить воз-

раст донных отложений, а также проводить корреляцию разновозрастных геологических разрезов из разных районов [2]. Используя метод диатомового анализа, можно также реконструировать палеоэкологические условия водоема (глубину, соленость, температуру и пр.), существовавшего в период накопления донных отложений определенного возраста [2].

Данная работа является продолжением исследований, начатых в ЮНЦ РАН около 15 лет назад, в ходе которых был накоплен значительный фактический материал по биостратиграфии и абсолютному возрасту осадков Азовского моря [1; 3–5 и др.]. Проведенные ранее исследования позволили достаточно подробно изучить флору диатомо-

вых водорослей, существовавшую на протяжении среднего и позднего голоцена в открытой части Азовского моря и в акватории Таганрогского залива [1]. Кроме того, была разработана схема чередования трансгрессивно-регрессивных стадий Азовского моря по данным диатомового анализа и абсолютной геохронологии [1]. Результаты этого исследования опираются на эту схему, а полученные новые данные позволили внести в нее дополнения и корректировку.

Пробы донных отложений получены из архива геологических образцов Южного научного центра РАН. Отбор колонок осуществляли с использованием ударной грунтовой трубки с палубы НИС «Денеб» в ходе рейсов ЮНЦ РАН в 2006–2007 гг. Материалом для данного исследования послужили 17 образцов донных отложений из двух колонок. Керн К-133 был отобран в акватории Бердянского залива, а колонка К-44 – в центральном районе Азовского моря (рис. 1).

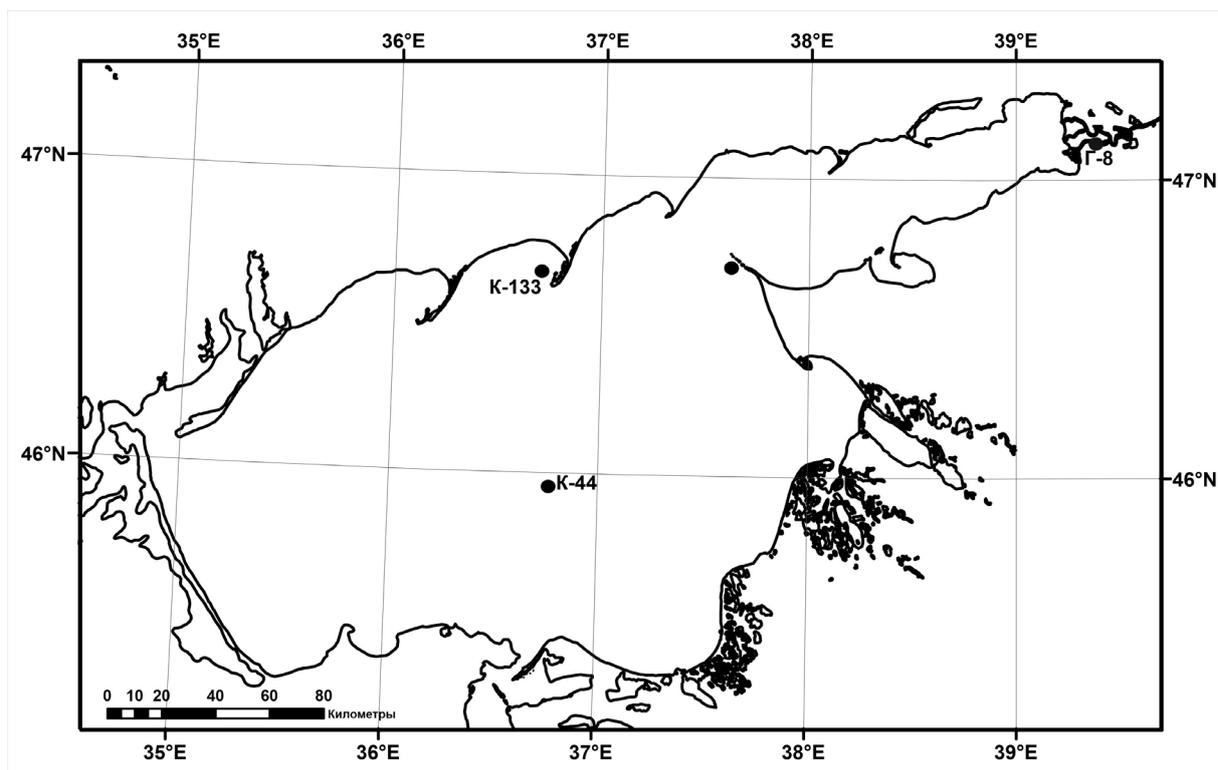


Рис. 1. Карта-схема станций отбора колонок в Азовском море

Пробоподготовку осадков проводили в лабораторных условиях с использованием традиционных для диатомового анализа методов [6; 7]. Определение таксономической принадлежности микроводорослей проводилось по монографическим сводкам, отдельным работам и определителям [8–10 и др.]. Для построения диатомовых диаграмм использовали программу “Tilia”, версия 2.6.1 [11]. Измерение размеров створок и микрофотографии получали с помощью светового микроскопа «Микмед-6» и комплекса для захвата и обработки цифровых изображений на базе цифровой камеры МС-8.3 и фирменного приложения “МСview” ЛОМО.

В результате эколого-флористического анализа образцов выявлено 67 видов и 5 вариететов диа-

томовых водорослей из 34 родов. Помимо диатомовых, в колонках также встречаются покоящиеся споры динофитовых водорослей (Dinophyta), стомаатоцисты золотистых водорослей (Chrysophyta), кремниевые скелеты *Ebria tripartita* (Schumann) Lemmermann (Chrysophyta) и клетки *Pterosperma* sp. (Chlorophyta).

Анализируя гистограмму (рис. 2) процентного соотношения представителей разных групп галобности (отношение к солености), можно отметить, что в колонке К-44 на долю морских видов приходится 42 % таксонов, а на долю пресноводных – всего 3 %. В колонке К-133 наибольшее число таксонов (29 %) относятся к пресноводно-солонатоводным видам (рис. 2). Такое распределение

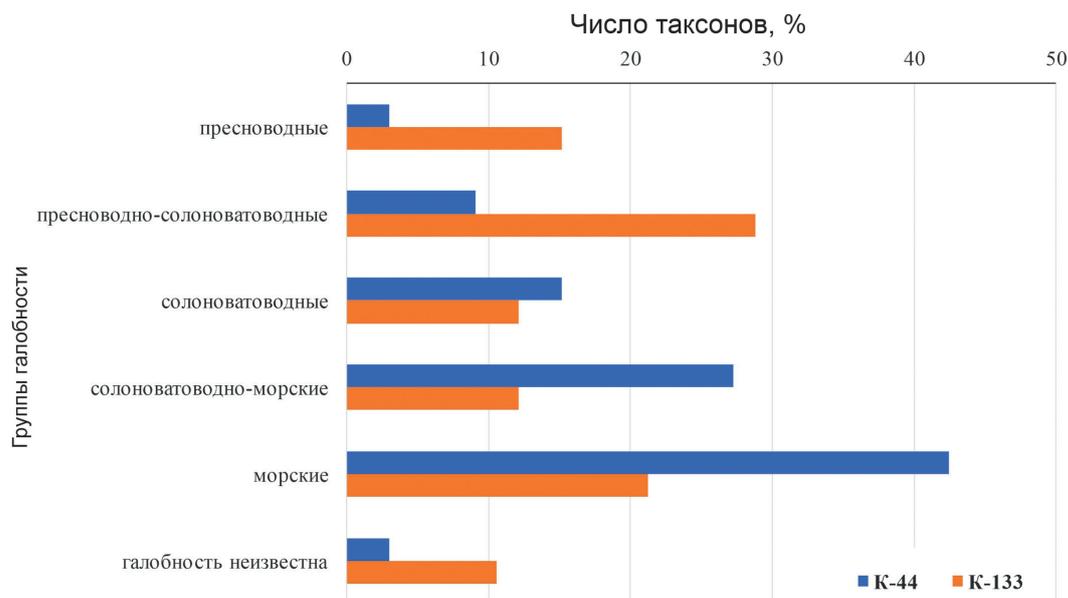


Рис. 2. Процентное соотношение видов в разных группах галобности

связано с местом отбора колонок: керн К-44 пробурен в центре, ближе к Черному морю, а К-133 – находится в районе, где сильнее сказывается влияние пресных вод из Таганрогского залива.

Эти же факторы влияют и на соотношение планктонных и бентосных видов (рис. 3). Среди диатомовых из колонки К-44 планктонные фор-

мы (79 %) преобладают над бентосными (21 %), поскольку колонка была отобрана в глубоководной части моря. В колонке К-133, отобранной в мелководном заливе, показатели планктонных и бентосных диатомовых находятся примерно в равных пропорциях – 53 % и 47 % соответственно (рис. 3).

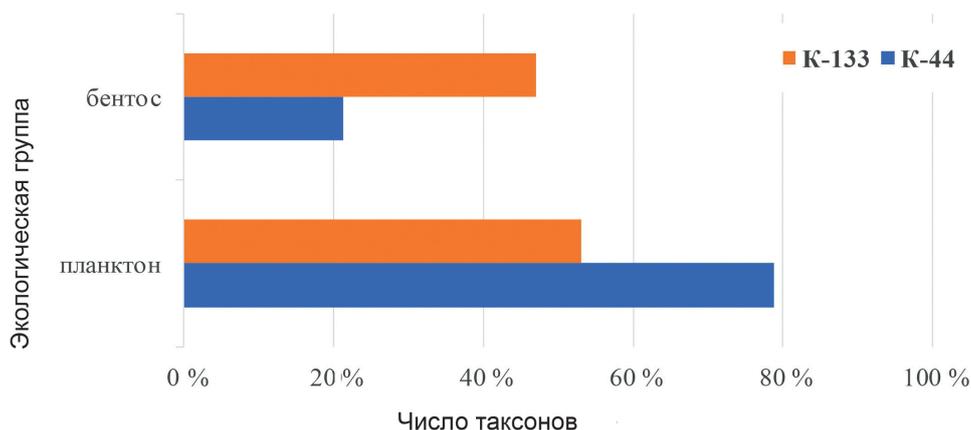


Рис. 3. Процентное соотношение планктонных и бентосных диатомовых водорослей

На рисунке 4 приведены результаты диатомового анализа двух колонок донных отложений К-44 и К-133, расположенных в центральном и северном районах Азовского моря. Обе колонки имеют радиоуглеродные ( $^{14}\text{C}$ ) датировки пример-

но одинакового возраста ( $610 \pm 60$  и  $680 \pm 70$  лет назад), но в колонке К-133 возраст ( $680 \pm 70$ ) лет назад датирует нижние слои (100–80 см), а в К-44 – верхние (30–10 см). Соответственно, донные отложения в колонке К-44 накопились за 1–1,5 тыс. лет,



**К-133**

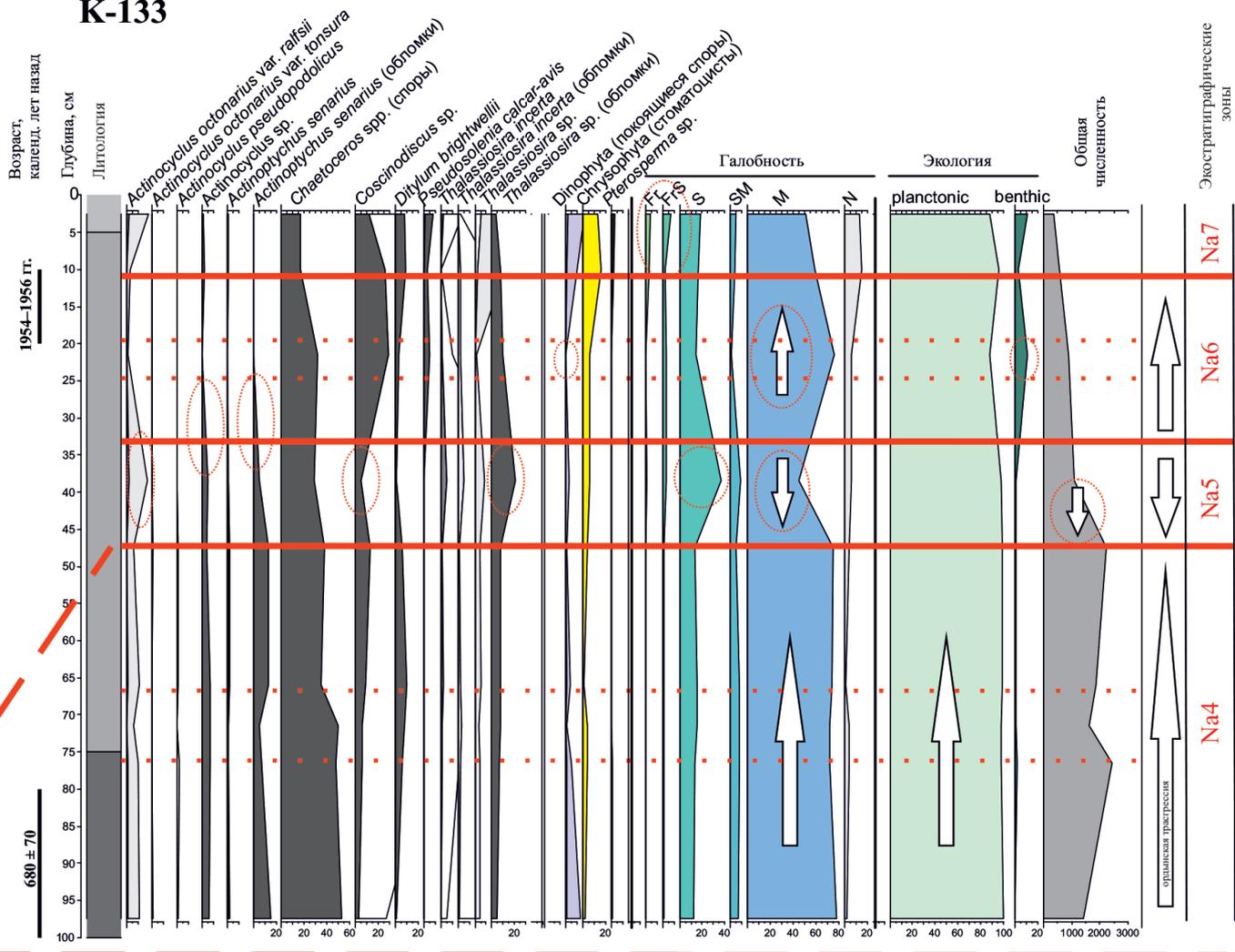


Рис. 4. Корреляция результатов диатомового анализа колонок донных отложений Азовского моря

спор *Chaetoceros* и *Ditylum brightwellii* (T. West) Grunow и снижение численности створок представителей рода *Actinocyclus*.

Зона Na5 сопоставляется со стадией регрессии и выделена на основании резкого снижения общей численности створок и уменьшения количества морских видов.

Зона Na6 соотносится с этапом трансгрессии. В отложениях, отнесенных к этой зоне, отмечено увеличение числа спор *Chaetoceros*.

Для зоны Na7 характерно большое видовое разнообразие диатомовых, включая планктонные

и бентосные формы, обитающие в современном Азовском море. Хорошая сохранность тонкостенных створок (которые обычно растворяются) также указывает на то, что это современные отложения.

Полученные в этом исследовании результаты позволили внести корректировку в разработанную ранее [1] схему чередования трансгрессивно-регрессивных стадий Азовского моря на основе диатомового анализа и абсолютной геохронологии. Слои, которые мы отнесли к экостратиграфической зоне Na4 (ордынская трансгрессия) и дати-

руемые возрастом ( $610 \pm 60$ ) – ( $680 \pm 70$ ) лет назад, ранее сопоставлялись с зоной Na3 (корсуньская регрессия) [1]. Соответственно, по уточненным данным, временной интервал существования корсуньской регрессии составляет 900–700 лет назад (а не 900–600 лет, как считалось ранее), а время

развития ордынской трансгрессии охватывало период с 700 до 400 лет назад (т.е. 1300–1600 гг. – первая и вторая фазы Малого ледникового периода). Полученные данные позволят точнее проводить корреляцию позднеголоценовых донных отложений Азовского моря.

*Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 23-17-00232 «Изменение уровня Азовского и Чёрного морей в конце плейстоцена и в голоцене: взаимосвязь с колебаниями уровня Мирового океана и палеоэкологическими перестройками в регионе». В ходе исследования использовалось оборудование Центра коллективного пользования объектов № 501994 ЮНЦ РАН (<https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/501994/>).*

#### Список литературы

1. Ковалева Г.В. Палеогеография и стратиграфия средне- и верхнечетвертичных отложений Азовского моря по результатам диатомового анализа // Палеогеография Приазовья в голоцене. Ростов н/Д., 2019. С. 54–111.
2. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные) / под ред. А.И. Прошкиной-Лавренко. Т. 1. Л.: Наука, 1974. 403 с.
3. Ковалева Г.В., Измайлов Я.А., Золотарева А.Е. Диатомовые водоросли из позднеголоценовых отложений Азовского моря как индикаторы колебаний уровня водоема // Вестник Южного научного центра. 2015. Т. 11. № 1. С. 53–62.
4. Ковалева Г.В., Дюжова К.В., Золотарева А.Е. Диатомовые водоросли из средне- и позднеголоценовых отложений Азовского моря как индикаторы колебаний уровня водоема // Наука Юга России. 2017. Вып. 13. № 4. С. 83–92. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-3-4-83-92.
5. Матишов Г.Г., Ковалева Г.В., Арсланов Х.А., Дюжова К.В., Польшин В.В., Золотарева А.Е. Результаты радиоуглеродного датирования голоценовых отложений Азовского моря // Доклады Академии наук. 2018. Вып. 479. № 6. С. 655–658. DOI: 10.7868/S0869565218120113.
6. Жузе А.П. К методике технической обработки горных пород в целях диатомового анализа // Диатомовый сборник. Л.: Издательство ЛГУ, 1953. С. 206–220.
7. Неврова Е.Л., Снигирева А.А., Петров А.Н., Ковалева Г.В. Руководство по изучению морского микрофитобентоса и его применению для контроля качества среды. Симферополь: Изд-во «Нижняя Орианда», 2015. 175 с.
8. Диатомовый анализ. Кн. 2. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядки *Centrales* и *Mediales*. Л.: Госгеолитиздат, 1949. 238 с.
9. Диатомовый анализ. Кн. 3. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядок *Pennales*. Л.: Госгеолитиздат, 1950. 398 с.
10. Прошкина-Лавренко А.И. Диатомовые водоросли планктона Азовского моря. М; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 190 с.
11. Grimm E.C. TILIA and TILIA GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data // INQUA, Working Group on Data-Handling Methods. Newsletter. 1990. № 4. С. 5–7.

RESULTS OF DIATOM ANALYSIS OF BOTTOM SEDIMENTS  
OF THE SEA OF AZOV IN THE LATE HOLOCENE  
(LAST 1,5 THOUSAND YEARS)

A. V. Usanova<sup>1,2</sup>, G. V. Kovaleva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don

<sup>2</sup> Southern Federal University, Rostov-on-Don

a\_w\_u@mail.ru, kovaleva\_galina@mail.ru

**Abstract.** In this article, the authors studied 17 samples from the bottom sediments of columns K-44 and K-133 located in the central and northern regions of the Sea of Azov through diatom analysis. We have identified a total of 67 species and 5 varieties of diatoms from 34 genera.

Ecological and floristic analysis has shown that the location of column selection (deepwater and coastal areas) significantly affects the ratio of ecological groups of diatoms. According to the results of radiocarbon (<sup>14</sup>C) analysis, the authors revealed that the bottom sediments in two columns have different sedimentation rates: in the K-44 column, precipitation accumulated over 1–1,5 thousand years, and in the K-133 core – during the last 600–700 years.

The analysis of the sequential change of complexes of dominant species of diatoms in columns K-44 and K-133 allowed us to identify 6 ecostratigraphic zones. The Na2 zone compares with the Nymphaean transgression. The Na3 zone is with Korsun regression. The authors identified the Na4 ecostratigraphic zone in both columns, which serves as the foundation for correlating these cores. This zone corresponds to the period of the Horde transgression. The Na5 zone compares with the regression stage. The Na6 zone corresponds to the transgression stage. The Na7 zone is the modern period. In contrast to zones Na2, Na4 и Na6, there was an increase in the number of spores *Chaetoceros* and a decrease in the number of valves *Actinocyclus* spp., *Actinoptychus senarius*. The dominance of taxa from the genera *Actinocyclus* and *Actinoptychus* distinguished Na3 and Na5 zones, with a noted decrease in the number of spores of the marine genus *Chaetoceros*.

The data obtained in this study made it possible to make adjustments to the previously developed scheme of alternating transgressive-regressive stages of the Sea of Azov based on the results of diatom analysis and absolute geochronology. It was revealed that the time interval of the Korsun regression was 900–700 years ago (and not 900–600 years, as previously thought), and the time of the development of the Horde transgression covered the period from 700 to 400 years ago (i.e. 1300–1600 years – the first and second phases of the Little Ice Age).

**Keywords:** diatoms, the Sea of Azov, Late Holocene, Nymphaean transgression, Korsun regression, Horde transgression.

#### References

1. Kovaleva G.V. 2019. Paleogeografiya i stratigrafiya sredne- i verkhnechetvertichnykh otlozheniy Azovskogo morya po rezul'tatam diatomovogo analiza [Paleogeography and stratigraphy of the Middle and Upper Quaternary sediments of the Sea of Azov based on the results of diatom analysis]. In: *Paleogeografiya Priazov'ya v golotsene*. [Paleogeography of the Sea of Azov Region in the Holocene]. Rostov-on-Don: 54–111. (In Russian).
2. *Diatomovyye vodorosli SSSR*. [Diatom algae of the USSR]. 1974. A.I. Proshkina-Lavrenko (Ed.). Vol. 1. Leningrad, Nauka: 403 p. (In Russian).
3. Kovaleva G.V., Izmailov Ya.A., Zolotareva A.E. 2015. [Diatom algae of the Sea of Azov Late Holocene sediments as an indicator of the sea-level fluctuations]. *Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo Tsentra*. 11(1): 53–62. (In Russian).
4. Kovaleva G.V., Dyuzhova K.V., Zolotareva A.E. 2017. [Diatom algae diatom algae from the middle and late holocene sediments of the Azov Sea as the indicators of the sea level oscillation]. *Nauka Yuga Rossii*. 13(4): 83–92. (In Russian). DOI: 10.23885/2500-0640-2017-3-4-83-92
5. 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
6. Zhuze A.P. 1953. K metodike tekhnicheskoy obrabotki gornyykh porod v celyakh diatomovogo analiza [About the methods of the technical processing of the rocks in case of the diatom analysis]. In: *Diatomovyy sbornik*. [Diatom digest]. Leningrad, Leningrad State University Publishers: 206–220. (In Russian).
7. Nevrova E.L., Snigireva A.A., Petrov A.N., Kovaleva G.V. 2015. *Rukovodstvo po izucheniyu morskogo mikrofitobentosa i ego primeneniyu dlya kontrolya kachestva sredy* [Guidelines for the study of marine microphytobenthos and its application for environmental quality control]. Simferopol', Izdatel'stvo Nizhnyaya Orianda: 175 p. (In Russian).
8. *Diatomovyy analiz. Kniga 2. Opredelitel' iskopaemykh i sovremennykh diatomovykh vodorosley. Poryadki Centrales i Mediales*. [Diatom analysis. Book 2. The determinant of fossil and modern diatoms. The Orders of Centrales and Mediales]. 1949. Leningrad, Gosudarstvennoe izdatel'stvo geologicheskoy literatury: 238 p. (In Russian).
9. *Diatomovyy analiz. Kniga 3. Opredelitel' iskopaemykh i sovremennykh diatomovykh vodorosley. Poryadok Pennales*. [Diatom

*analysis. Book 3. The determinant of fossil and modern diatoms. The Order of Pennales*]. 1950. Leningrad, Gosudarstvennoe izdatel'stvo geologicheskoy literatury: 398 p. (In Russian).

10. Proshkina-Lavrenko A.I. 1963. *Diatomovye vodorosli planktona Azovskogo morja*. [*Diatoms of plankton of the Sea*

*of Azov*]. Moscow; Leningrad, Academy of Sciences of the USSR Publishers: 190 p. (In Russian).

11. Grimm E.C. 1990. TILIA and TILIA GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data. *INQUA, Working Group on Data-Handling Methods. Newsletter*. 4: 5–7.