

УДК 551.465, 551.506, 574.52

СЕЙШЕВЫЕ ТЕЧЕНИЯ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2023 г. Г. Г. Матишов^{1, 2}, К. С. Григоренко², *

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН,
Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, 344006 Россия

²Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН,
Мурманск, ул. Владимирская, 17, 183010 Россия

*e-mail: klim_grig@mail.ru

Поступила в редакцию 22.06.2022 г.

После доработки 20.07.2022 г.

Принята к публикации 12.09.2022 г.

В работе представлены результаты осенне-зимних съемок термохалинной структуры и течений Таганрогского залива Азовского моря в 2021 г. Оценка периодов сейш собственно моря основана на результатах построения спектров колебаний уровня по данным уровнемера в Темрюке. Проведено сравнение колебаний уровня в Ейске и Донском в Таганрогском заливе. Сделан вывод о преобладании циклически повторяющихся сейшевых течений над ветровыми. Собственная резонансная мода (одноузловая сейша) в восточной части Таганрогского залива имеет период 12 ч, в центральной и западной частях — 24 ч, в собственно Азовском море — 38 ч. Оценки подтверждаются аналитически, измерениями течений и данными уровнемеров. На практике это означает, что при самом сильном сгоне или нагоне через 12–24 часа, при неизменном ветре, направление течения сменится на противоположное. Описанный характер циркуляции, с одной стороны, отличает Азовское море от других аналогичных водных объектов, с другой — позволяет необычным образом раскрыть энергетический потенциал бассейна.

Ключевые слова: Азовское море, Таганрогский залив, бесприливные бассейны, сейши, сгоны и нагоны, ADCP-измерения, литодинамика, морские течения

DOI: 10.31857/S0030157423010094, **EDN:** AGOHMU

ВВЕДЕНИЕ

Азовское море относится к бассейну Атлантического океана, но удалено от него максимально далеко. Режимобразующие параметры — это речной сток и уравнивающий его приток из Черного моря. Приливно-отливные колебания поверхности неразличимы, вместо них доминируют сгонно-нагонные явления. Среди длинных волн хорошо описаны сейши — стоячие волны, возникающие в замкнутых или частично замкнутых водоёмах. Движение волны отсутствует, происходит только поднятие и опускание поверхности водоема. Узлом сейши называется область, где отсутствуют колебания уровня. Наиболее ранние описания сейш Азовского моря относятся к 1920-м гг. [11]. По расчетам Г.С. Иванова установлено, что одноузловая сейша имеет суточный период [10]. В [6] приводятся данные мареографов в Ейске, Темрюке и Геническе. Рассматривается суточный ход уровня воды и делаются выводы о сейшевой цикличности моря с периодами 6, 8 и 12 ч. Предполагается, что силой, поддерживающей колебания, является притяжение Солнца.

Наблюдения за уровнем Азовского моря в позднесоветский период собраны в исчерпывающей монографии [5]. Авторы высказали идею об очень тесной связи между волновыми и ветровыми изменениями поверхности. В частности, указано, что сгонно-нагонные колебания уровня имеют вид одноузловой сейши. С 1980-х важнейшим направлением становится моделирование водных процессов [7, 9]. Отметим работу [8] по сейшам в Онежском озере, одном из водоемов-аналогов Азовского моря, где, в частности, описываются низкочастотные колебания с периодом 12 ч 25 мин, обусловленные полусуточным лунным приливом, со ссылками на похожие наблюдения и в других крупных озерах [23, 28]. Ю.И. Инжебейкин в работах по моделированию сейш с помощью численной гидродинамической модели [16] указывает следующие периоды: 38.4, 23.7, 12.1, 8.8 и 5.1 ч для 1-, 2-, 3-, 4- и 5-узловой сейши Азовского моря.

Роль сейш в гидродинамике моря раскрыта недостаточно. Теоретические оценки основаны на измерениях береговых уровнемеров. В [19] приведена схема течений, построенная по данным тер-

мохалинной структуры. Полностью отсутствуют измерения, поэтому задача инструментальных наблюдений скоростей и направления течений, а также исследования закономерностей их цикличности представляется чрезвычайно актуальной. Решение этой проблемы даст возможность для качественно иного взгляда на вопросы распространения загрязнений и взвесей, а также будет полезным при изучении береговой абразии бассейна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования сейшевых течений проведена серия экспедиций НИС “Денеб” Южного научного центра РАН в ноябре (выполнено 23 станции) и декабре (выполнено 27 станций) 2021 г., всего 50 точек океанологических исследований. Работы выполнялись с постановкой судна на якорь, для исключения дрейфа. Измерения параметров течений и термохалинной структуры проводились с борта судна с помощью регистратора течений Aanderaa RCM 9 LW, оснащенного дополнительно датчиками давления, температуры и электропроводности. Дискретность измерений настраивается оператором от 30 секунд до 2 часов. Датчики измеряют течения на расстоянии от 0.4 до 2.2 м от прибора. Частота акустического сигнала составляет 2 МГц, соответственно, производителем заявлен диапазон измерения скоростей от 0 до 300 см/с с абсолютной точностью ± 0.15 см/с. Точность магнитного компаса для определения направления течений составляет $\pm 5^\circ$. Ложные записи измерений помечены и отфильтрованы согласно программному обеспечению фирмы-производителя Aanderaa [25].

Вертикальное профилирование течений на каждой станции проводилось с интервалом 30 с в ноябре и 5 мин в декабре на каждом горизонте измерений с шагом 1 м. Для построения векторных картосхем Таганрогского залива (рис. 1, 3) выбиралось значение в средней части водной толщи (2.5 м), затем для каждого разреза проводилось усреднение значений. На продолжительных якорных стоянках (ночевках, суточных станциях и штормовании) Aanderaa RCM 9 LW работал как буйковая станция на глубине 2–3 м в течение 18–90 ч. Дискретность измерений составила 30 мин.

Спектры колебаний уровня рассчитаны с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье, реализованных в пакете Matlab. Исходной информацией для расчетов послужили данные об уровне воды на береговых постах Азовского моря за полный 2021 г, взятые из системы мониторинга природных явлений “Эмерсит” [21], а также из системы гидрометеорологического мониторинга ЮНЦ РАН в пос. Донской. Дискретность измерений обеих систем составляет 10 мин.

Направление и скорость ветра фиксировались судовой метеостанцией НИС “Денеб” Vaisala.

В качестве сравнительной теоретической оценки сейшевых колебаний Азовского моря использована работа Ю.И. Инжебейкина [16], основанная на модели [26]. Математическая постановка строится на резонансе периода волны, проходящей через открытую границу полузамкнутого бассейна, и собственных колебаний этого бассейна.

В сборе натурных океанографических данных участвовали к.б.н. Е.П. Олейников и А.Ю. Московец, консультативную поддержку оказывал д.ф.м.н. Ю.И. Инжебейкин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

При исследовании режима уровня Азовского моря основное внимание приковывают к себе разрушительные нагоны. Подробный анализ при этом показывает наличие волнового характера развития процесса. Например, пики нагонов 24–25 сентября 2013 и 24–25 сентября 2014 [13] соответствуют срокам ежесуточных максимумов уровня воды, а общая продолжительность аномального стояния вод не превышает 48–50 ч, двух суточных циклов.

Интересные результаты получены во время параллельного измерения уровня и солёности воды с интервалом 30 мин во время нагона 27–28 июня 2014 г. Измеритель течений Aanderaa RCM 9 LW, оснащенный датчиком электропроводности, располагался на предустьевом взморье Таганрогского залива. Наблюдения показали, что изменения уровня и солёности происходят неравномерно, причем солёность может расти при понижении уровня. Выделено три пика солёности. Первый зарегистрирован после 7 ч начала повышения уровня. Второй — через 13.5 ч после первого, при падении уровня. Уровень воды продолжил снижаться, солёность тоже понизилась, а затем выросла еще через 11 ч после второго пика.

Продолжительность ветров восточной составляющей и вызванных ими сгонов в регионе измеряется неделями. В [14] подробно описаны причины, последствия и хронология экстремальных ветровых сгонов дельты Дона в 2015 и 2016 гг. Рассмотрены колебания уровня на гидропосту “Кагальник” в течение 30 дней с 5 октября. На рисунках работы отлично видны колебания суточного периода даже в условиях максимального, величинной более 1.5 м, сгона. Сильный продолжительный восточный ветер не приводит к монотонному падению уровня. С 24-часовым интервалом, на фоне общего снижения, не только в 2015–2016 гг., но и во время других продолжительных сгонов происходит приток воды в протоки дельты продолжительностью 6–12 ч. Это означает, что в такие фазы в Таганрогском заливе преобладают

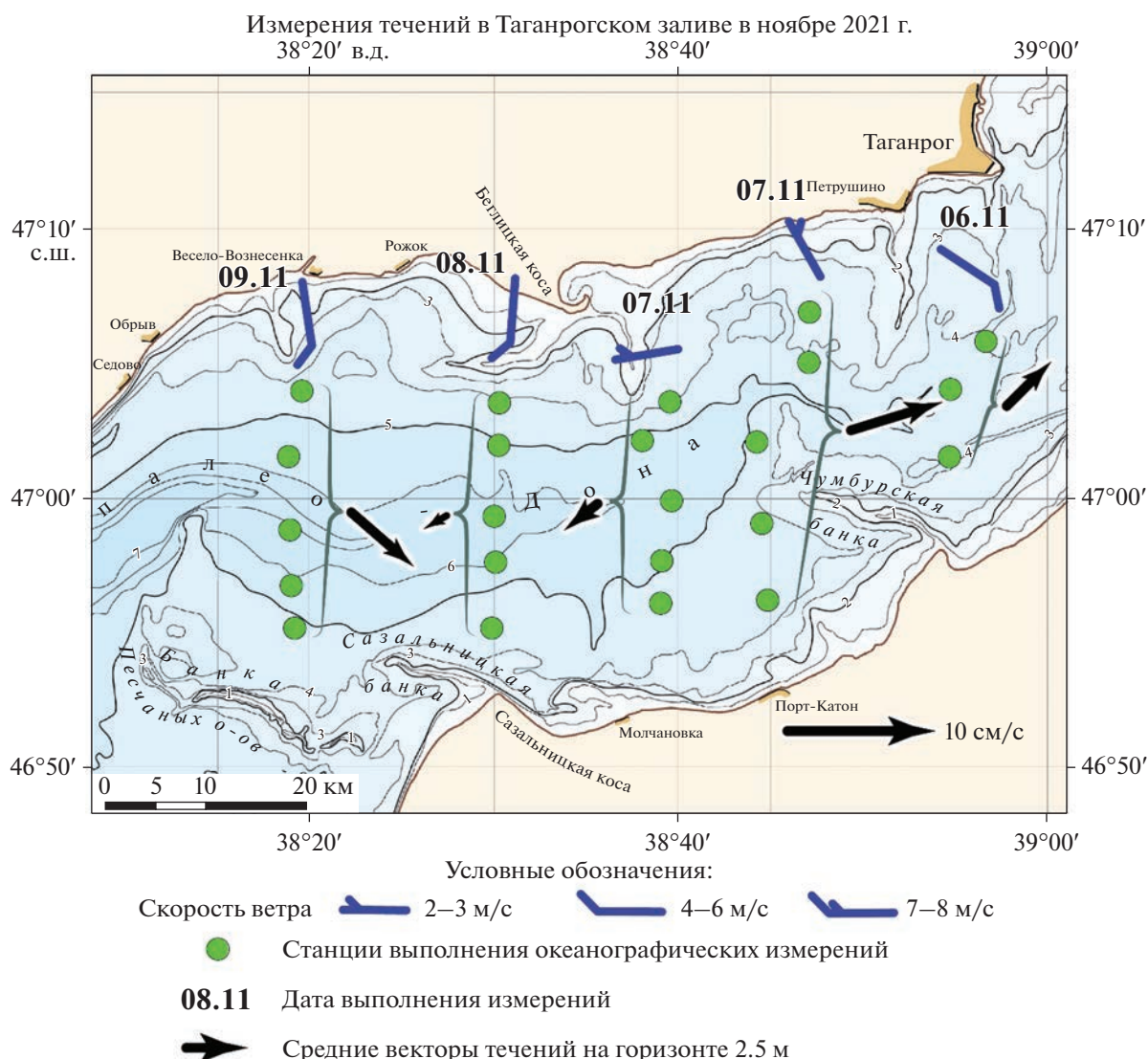


Рис. 1. Периодический характер течений в Таганрогском заливе Азовского моря в ноябре 2021 г.

течения, направленные против штормового сгонного ветра.

На Дону широко известно явление “обратной низовки”, или “черноморки”. Это нагон, образованный в условиях смены сильного ветра восточной составляющей и сгона на сильный юго-юго-западный ветер. Водный поток, сформированный таким ветром, усилен за счет компенсационного течения [18]. Обратная низовка также имеет сейшевую природу. Ее динамика имеет строгую суточную цикличность на фоне неперiodических изменений направления и силы ветра.

Новейшие экспериментальные исследования [15] показывают, что течения Таганрогского залива имеют повсеместную цикличность. Изменения направления таких течений характеризуются суточными периодами.

На рис. 1 представлены результаты измерений течений восточной части Таганрогского залива с 6 по 9 ноября 2021 г в векторной форме. Съемка сопровождалась ветром до 6 м/с. 6, 8 и 9 ноября преобладали ветра с юго-юго-востока. Усредненные векторы во всех случаях направлены вдоль изобат.

Два крайних восточных разреза выполнены в течение суток, в этом районе преобладало движение вод на восток. Промеры на центральном разрезе проведены во второй половине дня 7 ноября. В это время уже оказалось зафиксировано движение на запад. На отдельных станциях 8 ноября максимальные скорости течений достигали 15–19 см/с, усредненное слабое движение направлено на запад. На крайнем западном разрезе 9 ноября регистрировались уверенные течения на восток.

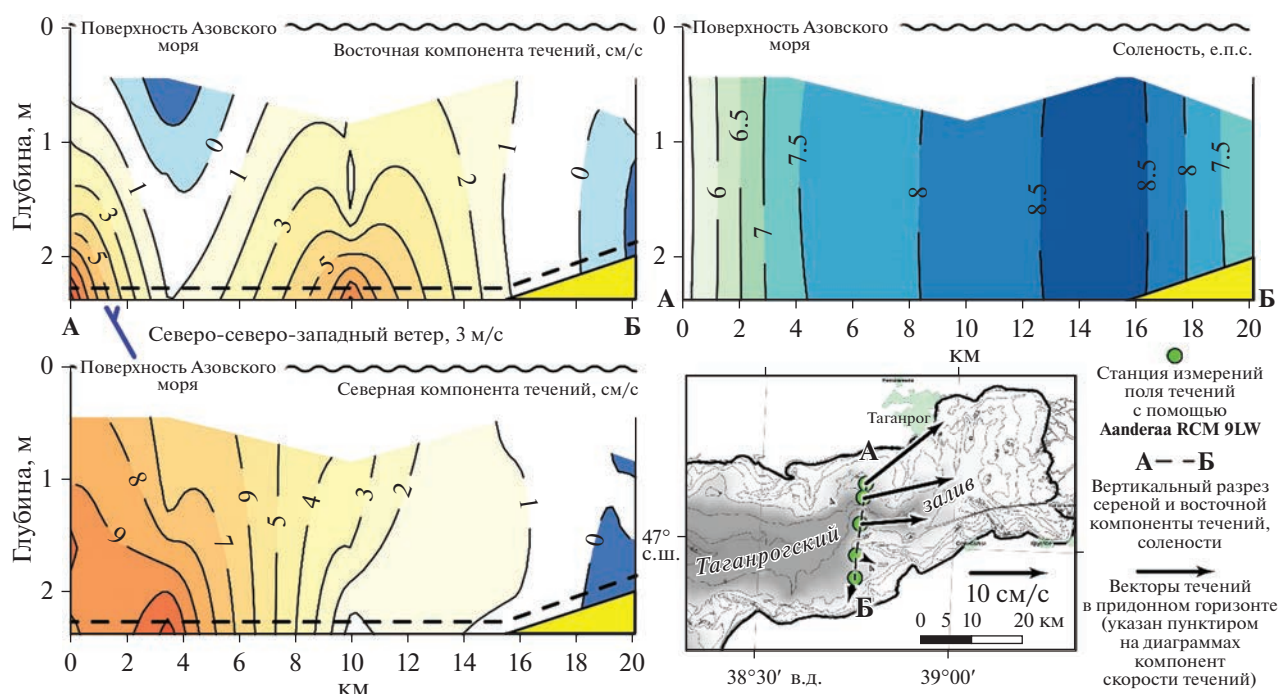


Рис. 2. Вертикальные разрезы составляющих скорости течений и солёности в восточной части Таганрогского залива 7 ноября 2021 г.

Природу течений, отличную от ветровой, подчеркивают вертикальные разрезы компонент скорости на первом разрезе 7 ноября, изображенные на рисунке 2. Максимумы обеих компонент скорости находятся у дна. Максимальная солёность, более 8.5 е.п.с., отмечена в области с околонулевыми скоростями движений вод в тени Чумбурской банки. Опреснение речным стоком заметно у берегов, по краям от набегающей к вершине залива волны.

Через месяц, в декабре 2021 г измерения в восточной части Таганрогского залива проведены повторно (рис. 3). Суточный интервал между разрезами не соблюдался. На крайних станциях каждого разреза Aanderaa RCM 9 LW выставлялся на 18–90 ч как буйковая станция (рис. 4). Первый этап работ сопровождался умеренными ветрами южного (до 7 м/с) и северного (до 6 м/с) направлений. Смена направления усредненного течения произошла за 48 часов. С 11 по 14 декабря, во время усиления восточного ветра до штормовых 15–17 м/с, измерения проводились в районе Сазальницкой косы, на одной точке (рис. 4). В западной части залива почти повсеместно течение направлено против ослабевшего сгонного ветра. Очевидно обтекание восточным течением косы Долгой. Западный перенос обнаружен на станции, расположенной южнее продольной оси залива. Воды, проходящие через Должанский пролив, забираются перед проливом между Кривой косой и мелководьями Песчаных островов, у южного бе-

рега формируются циклонические мезомасштабные вихри.

Во время каждого измерения в буйковом режиме отмечена периодическая изменчивость векторов течений (рис. 4). На приустьевой станции 1 стоковое течение Дона неразлично, период колебаний скорости течения, в большей степени, составил 6 ч. Здесь же зарегистрирована максимальная за всю декабрьскую экспедицию скорость течения 35 см/с. Действовал умеренный ветер (до 7 м/с) южных направлений. 18-ти часовой интервал обнаружен на близкой к устью, но расположенной у северного берега станции 4. Ветер сменился на северный только через 48 часов после начала измерений. У южного берега центральной части Таганрогского залива, вблизи поселка Порт-Катон, течения оказались направлены преимущественно на север. Интервал северо-западного течения с максимумом 19 см/с составил 25 ч. Порядка 6–12 ч, между выраженными пиками скоростей, наблюдалось вращение направления движения вод от северо-западного по часовой стрелке. Скорости таких движений были минимальными – 4–6 см/с. У Беглицкой косы (ст. 14), при наименьшей продолжительности измерений (18 ч), зафиксировано колебание северного – южного течения с периодом 10 ч.

На границе между центральной и западной частями Таганрогского залива, к западу от подводной оконечности Сазальницкой косы измерения



Рис. 3. Периодический характер течений в Таганрогском заливе Азовского моря в декабре 2021 г.

проводились в течение почти четырех суток. В этот промежуток времени произошел типичный для Приазовья трехдневный зимний цикл усиления сгонного восточного ветра до штормовых 15–17 м/с. На диаграмме (рис. 4) наглядно представлен 36-часовой цикл течений. На более восточных станциях преимущественно наблюдалось колебание северное – южное течение. Здесь же добавляется и меридиональная компонента. Полные сутки 13 декабря, при максимальном встречном ветре, преобладало северо-восточное течение со скоростью до 24 см/с.

Для анализа волновых изменений уровня моря в целом построены спектры колебаний поверхности моря по данным береговых уровнемеров за 2021 г. (рис. 5). Частотные распределения похожи, но при этом имеются заметные различия. Ближе всего к расчетным значениям периодов сейш [16] данные уровнемера в Темрюке. Ейск расположен в западной части Таганрогского залива. Этот район отделяется относительно узкими протоками с запада между Долгой и Белосарайской косами, с востока – между Кривой косой и отмелями Песчаными островами. Относительная изоляция приводит к преобразованию заходящих волн и наложению на собственные колебательные си-

стемы. Вершина Таганрогского залива имеет вытянутую прямоугольную форму, благодаря чему заходящие с моря волны многократно отражаются и накладываются друг на друга. На спектре формируются последовательность пиков на кратных частотах, с выраженным полусуточным периодом. В Донском отчетливо выражен пик инерционной частоты. В Темрюке ближайший максимум имеет немного меньшую частоту, ей соответствует период около 18 ч. В Ейске ближайший к инерционному пик имеет меньшую частоту – 14 ч. В Таганрогском заливе в целом выделяются полусуточный и суточный периоды, в собственно Азовском море остается только полусуточный.

В Черном море можно выделить захваченные береговые волны [17]. Узкий и мелкий Керченский пролив не позволяет рассматривать Азовское море как шельф Черного, и рассмотренный тип движений не наблюдается. Некорректные результаты в Азовском море дает и оценка шельфовых волн по методике [1, 12]. В многочисленных источниках подтверждается [3, 4, 11, 20, 22], что для оценки периодов собственных колебаний достаточно формулы Мериана $\tau_0 = 2L/\sqrt{gH}$ [3, 4, 27]. Расчет проводится для замкнутого прямоугольного бассейна без учета вращения Земли, с посто-

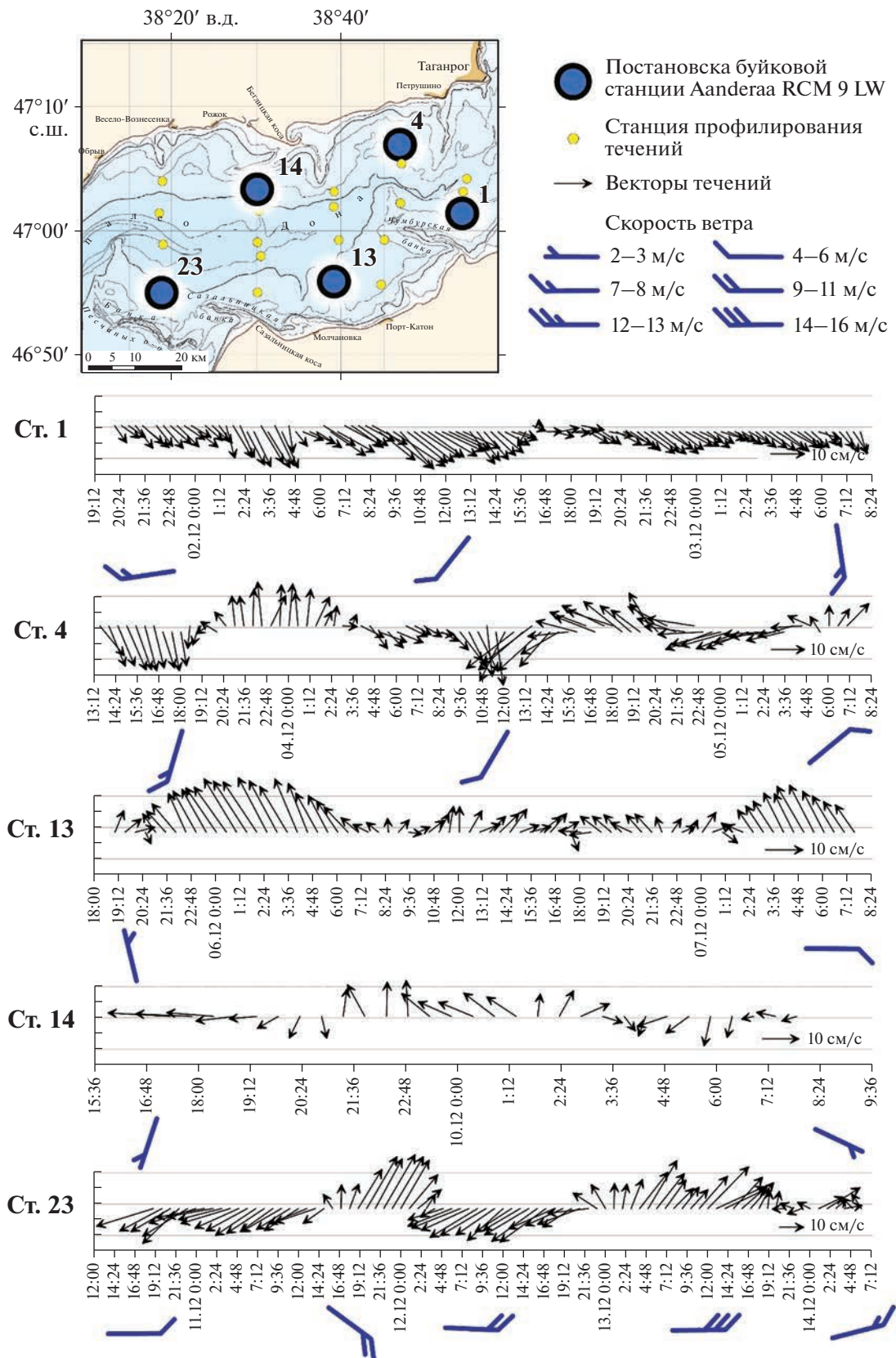


Рис. 4. Векторные диаграммы течений на буйковых станциях в Таганрогском заливе в декабре 2021 г.

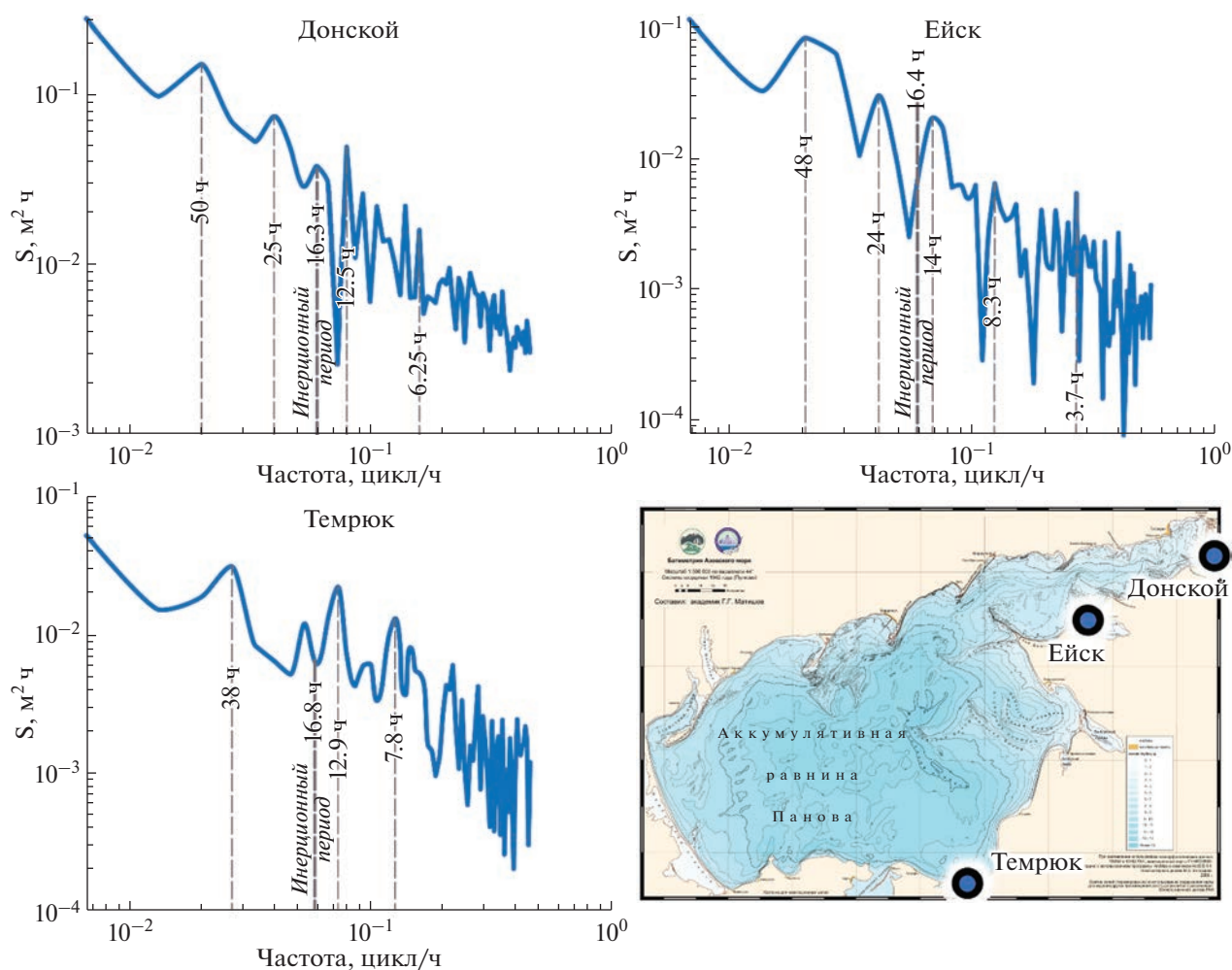


Рис. 5. Спектры колебаний уровня восточной части Азовского моря в 2021 г.

янным прямоугольным сечением и глубиной H , длиной L , где τ_0 — наибольший собственный период, соответствующий одноузловой сейше, g — ускорение свободного падения. Для восточной части Таганрогского залива принята длина 45 км (от устья Дона примерно до Беглицкой косы) и глубина 5 м. Период первой моды при этих параметрах составил 12.9 ч (узкий и отчетливый пик для Донского на рис. 5). Для центральной и западной частей период 24.8 ч получен для длины 110 км и глубины 8 м, что хорошо соответствует району от косы Долгой до Чумбурской. Отметим, что приведенные размерности бассейна не являются произвольными. Они соответствуют батиметрическим отсекам залива, которые отделены от моря и друг от друга отмельными подводными продолжениями береговых кос, затрудняют водообмен, а также соответствуют общепринятым зоогеографическим районам Азовского моря [5]. По северной широте 46° длина Азовского моря составляет примерно 230 км. При глубине такого

бассейна, равной 14 м, период одноузловой сейши составит 39.3 ч. Полученные оценки присутствуют на фактических максимумах спектров (рис. 5). Для Темрюка 38 ч являются первым пиком. Переотражение и наложение волн из соседних акваторий приводит к проявлению пиков на кратных частотах в Таганрогском заливе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сгонно-нагонные ветры являются одной из наиболее известных причин возникновения сейш. Эти явления находятся в настолько тесной взаимосвязи, что представления о ветровой схеме течений Азовского моря следует рассматривать как фазы сейшевых течений. При самом сильном сгоне или нагоне через 12–24 ч, при неизменном ветре, направление течения сменится на противоположное.

Таким образом, можно предполагать, что сейшевые течения являются основой гидродинами-

ки Азовского моря. Точный ответ потребует строгих решений задач спектрального анализа [2]. В этом отношении Азовское море является уникальным среди других аналогичных водных объектов. Крупные ледниковые озера (Ладожское, Онежское, Великие Американские озера) — глубже, поэтому развиваются плотностные течения [24]. В эстуариях сибирских рек и в Белом море решающее значение имеют приливы. Мелководная северная часть Каспийского моря, заливы восточной части Балтийского моря (Финский, Рижский, Гданьский) открытыми частями связаны с более глубокими бассейнами (Южный Каспий — максимальная глубина 1025 м, собственно Балтийское море — 470 м), из-за чего сейшевая динамика становится менее выражена и уже не играет такую роль для перемешивания.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты косвенно подтверждаются современной формой кос, а также их подводных продолжений. Затопленные части Павло-Очаковской, Петрушинской, Чумбурской, Беглицкой, Сазальницкой, Кривой и Елениной кос направлены вдоль стокового течения Палеодона периода фанаторийской регрессии и нимфейской трансгрессии моря. Современная форма говорит о циклонической циркуляции в море к западу от косы Долгой. С востока Таганрогского залива округлая форма Павло-Очаковской, Чумбурской, Сазальницкой и закругленная — Беглицкой соответствуют последовательному чередованию направления течений. Размеры и направление Долгой косы сформированы равновесием между циклоническим переносом к западу и сейшево-стоковым с востока. Наблюдающееся с середины XX века разрушение косы может являться еще одним следствием маловодья Дона — ослабления стокового течения.

Проведенная работа может быть полезной для исследования гидро- и литодинамики крупных водохранилищ, озер и внутренних бесприливных морей.

Волновой характер течений позволяет предположить, что Азовское море обладает потенциалом для строительства бесплотинных гидроэлектростанций. В устьях между Белосарайской и Долгой, в меньшей степени между Кривой и Сазальницкой косами, даже в безветренную погоду течения имеют скорости 0.3–0.5 м/с и суточную цикличность смены направления. При развитии и повышении эффективности соответствующих технологий подобный источник мог бы обеспечить прибрежные населенные пункты доступной и экологически чистой электроэнергией.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ.

Исследование выполнено в рамках выполнения госзадания ЮНЦ РАН “Южные моря России и их водосборы: современное состояние и многолетняя изменчивость в условиях глобальных климатических воздействий и индустриальных вызовов — с целью оценки ресурсов и обеспечения безопасности пространственного развития страны” № государственной регистрации темы 122011900153-9, на научно-экспедиционных судах и оборудовании ЦКП ЮНЦ РАН № 501994.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоненко Т.В., Колдунов А.В. Шельфовые волны в море Бофорта по данным гидродинамической модели MITgcm // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 6. С. 854–863.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. — М.: Изд-во “Мир”, 1971. 408 с.
3. Бухтеев В.Г., Доронин Ю.П., Зубова М.М., Карлин Д.Н., Крейман К.-Д., Кузнецова Л.Н., Макаров В.А., Мензин А.Б., Некрасов А.В., Торяков Б.И. Динамика океана. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. 304 с.
4. Герман В.Х. Спектральный анализ колебаний уровня Азовского, Черного и Каспийского морей в диапазоне частот от одного цикла за несколько часов до одного цикла за несколько суток // *Тр. ГОИН*. 1970. Вып. 103. С. 52–73.
5. Гершанович Д.Е., Гонтарев Н.П., Затучная Б.М., Симонов А.И. (ред.). Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1991. 236 с.
6. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. — Л.: Гидрометеоздат, 1962. 856 с.
7. Иванов В.А., Манилюк Ю.В., Черкесов Л.В. О сейшах Азовского моря // *Метеорология и гидрология*. 1994. № 6. С. 105–110.
8. Иванов В.А., Пальшин Н.И., Манилюк Ю.В. Сейши Петрозаводской губы Онежского озера // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. № 5. С. 503–510.
9. Иванов В.А., Шульга Т.Я. Влияние атмосферных фронтов на свободные и вынужденные колебания уровня Азовского моря // *Доклады академии наук*. 2019. Т. 486. № 6. С. 737–741.
10. Иванов Г.С. О колебаниях уровня Азовского моря, обусловленных гидрометеорологическими факторами // *Доклады ГОИН*. 1945. № 56. С. 1–11.
11. Курчатов И.В. Сейши в Черном и Азовском морях. — М.: Изд-во Центрального Гидрометбюро, 1925. Вып. 4. С. 149–158.
12. ЛеБлон П., Майсек Л. Волны в океане. Т. 1. М.: Мир, 1981. 480 с.
13. Матишов Г.Г. Случаи экстремальной адвекции соленых вод в дельту Дона и льда в Керченский пролив // *Доклады академии наук*. 2015. Т. 465. № 1. С. 99–103.
14. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Причины осолонения Таганрогского залива // *Доклады академии наук*. 2017. Т. 477. № 1. С. 92–96.

15. Матишов Г.Г., Григоренко К.С. Динамика и термохалинная структура вод контактных зон Азовского моря // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 502. № 2. С. 107–114.
16. Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И. Численные исследования сейшевых колебаний уровня Азовского моря // Океанология. 2009. Т. 49. № 4. С. 485–493.
17. Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И. Субинерционные движения на северо-восточном шельфе Черного моря // Доклады академии наук. 2012. Т. 446. № 6. С. 686–689.
18. Матишов Г.Г., Клецников А.В., Григоренко К.С. и др. Изменение водного баланса в бассейне Нижнего Дона в условиях маловодья // Наука юга России. 2018. Т. 14. № 3. С. 45–55.
19. Матишов Д.Г., Ильин Г.В., Моисеев Д.В. Сезонная термохалинная изменчивость водных масс в Таганрогском заливе Азовского моря // Вестник Южного научного центра РАН. 2007. Т. 3. № 1. С. 28–35.
20. Медведев И.П., Архипкин В.С. Колебания уровня моря в Голубой бухте (Геленджик) // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 3. С. 70–78.
21. Система мониторинга “Эмерсит”: [Электронный ресурс]. URL: <http://emercit.ru/map/>. (Дата обращения 16.03.2022).
22. Степаненко В.М. Параметризация сейш для одномерной модели водоема // Труды МФТИ. 2018. Т. 10. № 1. С. 97–111.
23. Стурова И.В. Влияние ледяного покрова на колебания жидкости в замкнутом бассейне // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т. 43. № 1. С. 128–135.
24. Филатов Н.Н. Гидродинамика озер. Санкт-Петербург: Наука, 1991. 200 с.
25. Aanderaa Data Instruments AS: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aanderaa.com/>. (Дата обращения 16.03.2022).
26. Greenberg D.A. A numerical model investigation of tidal phenomena in the Bay of Fundy and a Gulf of Maine // Mar. Geod. 1979. V. 2. № 2. P. 161–187.
27. Merian J.R. Ueber die Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten in Gefässen. Basel: Schweighauser, 1828. 53 s.
28. Miller G.S., Sailor J.H. Currents and temperatures in Green Bay, Lake Michigan // Int. Assoc. Great Lakes Res. 1985. V. 11. P. 97–109.

Seiche Currents of the Azov Sea Based on the Field Observations

G. G. Matishov^{a, b}, K. S. Grigorenko^{b, #}

^aFederal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia

^bMurmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

[#]e-mail: klim_grig@mail.ru

The paper presents the results of autumn-winter surveys of the thermohaline structure and currents of the Taganrog Bay of the Azov Sea in 2021. The seiche periods of the sea proper are estimated from the results of spectral analysis of data from Temryuk level detectors. A comparison was made with the spectra of level fluctuations in Yeisk and Donskoy. The conclusion is made about the predominance of cyclically repeating seiche currents over wind currents. The eigen resonance mode (uninodal seiche) in the eastern part of the Taganrog Bay has a period of 12 h, in the central and western parts - 24 h, in the Azov Sea proper - 38 h. Estimates are confirmed analytically, by current measurements and by level detectors. In practice, this means that with the strongest positive and negative water setups in 12–24 hours, with a constant wind, the direction of the current will change to the opposite. The described nature of the circulation, on the one hand, distinguishes the Azov Sea from other similar water bodies, on the other hand, it makes it possible to reveal the energy potential of the basin in an unusual way.

Keywords: the Azov Sea, the Taganrog Bay, tideless basins, seiches, positive and negative water setups, ADCP measurements, lithodynamics, sea currents