

ДИНАМИКА ТЕЧЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ НА КОСАХ  
ТАГАНРОГСКОГО И ЯСЕНСКОГО ЗАЛИВОВК. С. Григоренко\* 

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

\* **Контакт:** Клим Сергеевич Григоренко, klim\_grig@mail.ru

**Аннотация:** В работе изучены условия формирования поверхностных и грунтовых вод, режима прибрежных течений в зависимости от гидрометеорологических условий на косах Азовского моря в 2023 и 2024 гг. Элементы дрейфово-градиентной системы течений в разных районах моря выражены по-разному. Эстуарная часть моря (Таганрогский залив) имеет результирующее течение стокового направления с пульсациями на периодах, соответствующих расчётным сейшевым. На восточном побережье Азовского моря (Камышевская коса) при усилении ветра активизируется антициклоническое вдольбереговое течение. Набор периодов чередований направления течений отличается, однако тоже попадает в диапазон расчётных сейшевых. Ветровые нагоны затапливают косы. Вода, остающаяся в лагунах, испаряется. В результате минерализация мелких водотоков часто превышает солёность моря в несколько раз. Различия и особенности ионного состава показывают, что режим минерализации поверхностных водоёмов, таких как лагуны и протоки, аналогичен солёным маршам. Исследование гидродинамических и химических процессов на косах, таким образом, позволяет раскрыть элементы современной системы движения вод, а также понять, как выглядело осушенное азовоморское побережье в периоды регрессий Мирового океана.

**Ключевые слова:** Азовское море, Таганрогский залив, бесприливные бассейны, сейши, стонно-нагонные явления, ADCP-измерения, литодинамика, морские течения

**Цитирование:** Григоренко К. С. Динамика течений Азовского моря на косах Таганрогского и Ясенского заливов // Russian Journal of Earth Sciences. — 2026. — Т. 26. — ES1012. — DOI: 10.2205/2026es001048 — EDN: EWAJPG

### Введение

Изучение причин и последствий современного осолонения Азовского моря раскрыло необычный механизм перемешивания вод. Циркуляция Азовского моря быстро меняется в зависимости от гидрометеорологических условий. Ветровой перенос приводит к формированию градиентов уровня и компенсационных течений. Приливы в океане – это непрерывное воздействие с постоянной периодичностью планетарных, вынуждающих, сил. В Азовском море основная вынуждающая сила – это ветровые стоны и нагоны, собственные резонансные осцилляции – это сейши. Сейши существуют повсеместно в замкнутых акваториях. Они хорошо исследованы в Севастопольских бухтах [Belokon and Lazorenko, 2024]. Показано, что даже для глубоких озер это мощный фактор перемешивания [Reiss et al., 2024]. Мелкие заливы Балтийского моря, часто перекрытые косами, как лиманы Азовского моря, подвержены опасным колебаниям уровня воды – экстремальным сейшам (метеоцунами) [Nesteckytė et al., 2024]. Разработаны оценки изменения режимов циркуляции (околоинерционные волны, апвеллинги и сейши) Великих Американских озер под влиянием изменения климата [Hlevca et al., 2024]. Примером полузамкнутого окраинного моря с ещё более выраженным, нежели в Азовском море, сейшевым режимом является Адриатическое море. [Vilibić et al., 2017].

<https://elibrary.ru/EWAJPG>

Получено: 20 марта 2025 г.

Принято: 29 июля 2025 г.

Опубликовано: 8 апреля 2026 г.



© 2026. Автор.

Сейши и сгонно-нагонные явления в Азовском море непрерывно взаимосвязаны. Известно, что после прекращения нагона, в течение 2–8 сут, с равным интервалом вода возвращается на величину 0,4–0,6 от предыдущего максимума уровня [Гидрометеорология. . ., 1991]. Наблюдения ЮНЦ РАН показывают, что величина перепада уровня с равным периодом непосредственно в Азовском море меняется от 0,2 м в тихую погоду, до 0,5–0,8 м в ветреную [Матишов и Григоренко, 2023; *Matishov and Grigorenko, 2024*]. В вытянутом Таганрогском заливе амплитуда сейшеобразных колебаний уровня может достигать 1 м. Таким образом, в узловых областях (элементы сейш, с минимальным изменением уровня, но максимальными скоростями течений), сейши активно влияют на перенос растворённых и взвешенных веществ, литодинамику осадков, на формирование аккумулятивных берегов и их подводных оконечностей. Естественным полигоном наблюдения за режимом течений служат косы Азовского моря, поскольку ежедневные колебания уровня способствуют формированию банок и отмелей на глубинах 0,5–1 м далеко за пределами дистальных частей. Мощные, но более редкие штормовые нагоны поднимают часть непрерывно перемещаемого осадочного материала на высоты 2–3 м, относительно уреза, достраивая тело косы [Matishov and Grigorenko, 2024].

Основные закономерности изменения уровня моря уже неплохо раскрыты по данным наблюдений и спектрального анализа. [Корженевская и др., 2022; Матишов и Григоренко, 2022, 2023; Ширьборова и др., 2024; *Matishov and Grigorenko, 2024*]. Моделей циркуляции Азовского моря достаточно много. Данные буйковых станций в Таганрогском заливе [Матишов и Григоренко, 2023] показывают, что лучше всего инструментальные измерения соответствуют моделям сейшевым, где характер течений объясняется резонансным откликом вод на вынуждающее ветровое воздействие [Демьшев и др., 2017; *Matishov and Inzhebeikin, 2009*].

Экспедиционные океанографические съёмки ЮНЦ РАН на косах Азовского моря начаты в 2020 г. Представленные в работе результаты продолжают цикл измерений. На сегодняшний день накоплены данные о циркуляции вод на Долгой и Беглицкой косах [Матишов и др., 2021a,b, 2022]. Обобщение опыта судовых съёмок Южного научного центра РАН [Матишов и Григоренко, 2023; *Matishov and Grigorenko, 2024*] в прибрежных и мористой частях делают понимание движения вод моря более полным.

О существовании сейш известно уже двести лет, однако точные характеристики и степень влияния такой динамики для Азовского моря недооценены и до конца непонятны до сих пор. Полевых измерений по-прежнему очень мало. В работе поставлена задача изучить региональные особенности движения вод в районах, где полностью отсутствуют какие-либо измерения. Дополнить экспериментальные, достоверные представления о движении вод и актуализировать понимание дрейфово-градиентной системы течений Азовского моря. Получить комплексное представление о характере влияния мезомасштабных (2 ч–2 сут) колебаний уровня на поверхностные водотоки кос Азовского моря.

## 1. Материалы и методы

Съёмки проведены на Чумбурской, Сазальникской и Камышеватской косах Азовского моря (рис. 1). Океанологические исследования на Чумбурской косе выполнены с 14:20 29 мая по 13:20 31 мая 2023 г. (48 ч). Наблюдения за гидродинамическим режимом Таганрогского залива на Сазальникской косе продолжались с 17:00 9 августа по 17:00 13 августа 2023 г. (96 ч). Измерения на Камышеватской косе Азовского моря проведены с 18:46 11 июня по 11:45 15 июня 2024 г. (86 ч). В работе использован ADCP-регистратор течений Aanderaa RCM 9 LW. Глубина постановки – 1,5 м. Дискретность измерений настроена на 30 мин. Прибор дополнительно оборудован датчиками температуры, солёности и давления. Частота излучаемого акустического сигнала составляет 2 МГц, что позволяет проводить измерения на минимальных глубинах с абсолютной точностью  $\pm 0,15$  см/с. Производителем заявлена точность магнитного компаса  $\pm 5^\circ$ . Первичные данные обработаны программным комплексом фирмы-производителя зонда Aanderaa [Xylem Inc., 2013].



**Рис. 1.** Район исследований и схема отбора проб на Чумбурской, Сазальникской и Камышевской косах.

Спектральный анализ составляющих скоростей течений и солёности воды проведен с помощью алгоритмов дискретного преобразования Фурье, реализованного в пакете Matlab. Ширина спектрального окна соответствует продолжительности измерений. Спектральное разрешение – 0,01 ц/ч. Данные об уровне воды получены из системы автоматического мониторинга Emercit [Система. . ., 2023]. Уровнемерные посты расположены в г. Ейск, пос. Донской и г. Приморско-Ахтарск. Информация о поле ветра взята из архивов метеостанции г. Ейск, г. Приморско-Ахтарск и пос. Должанская [ООО «Расписание Погоды», 2004], а также из баз данных системы гидрометеорологического мониторинга ЮНЦ РАН.

Периоды изменений океанографических характеристик сопоставлены с данными моделирования сейш Азовского моря, возбуждаемых воздействием через Керченский пролив. Выделены следующие расчётные периоды: 38,4; 23,7; 12,1; 8,8; 5,1 ч для первых пяти мод Азовского моря [Matishov and Inzhebeikin, 2009]. Только в этой расчётной модели отмечена полуторасуточная периодика для одноузловой сейши, измеренная инструментально [Матишов и Григоренко, 2023]. Важным ориентиром являются данные высокоточного спектрального анализа многолетних данных измерения уровня воды в разных районах моря. На спектрах узкими высокими пиками представлены приливные гармоники S1, M2 и др. [Корженевская и др., 2022]. Сейши представлены более низкими и широкими повышениями спектральной плотности. Авторы выделили периоды 14,2; 6,7; 3,2 ч для всего моря; 22,5; 11,6; 5,8; 4,9; 4,2 ч, встречающиеся локально [Ширьборова и др., 2024].

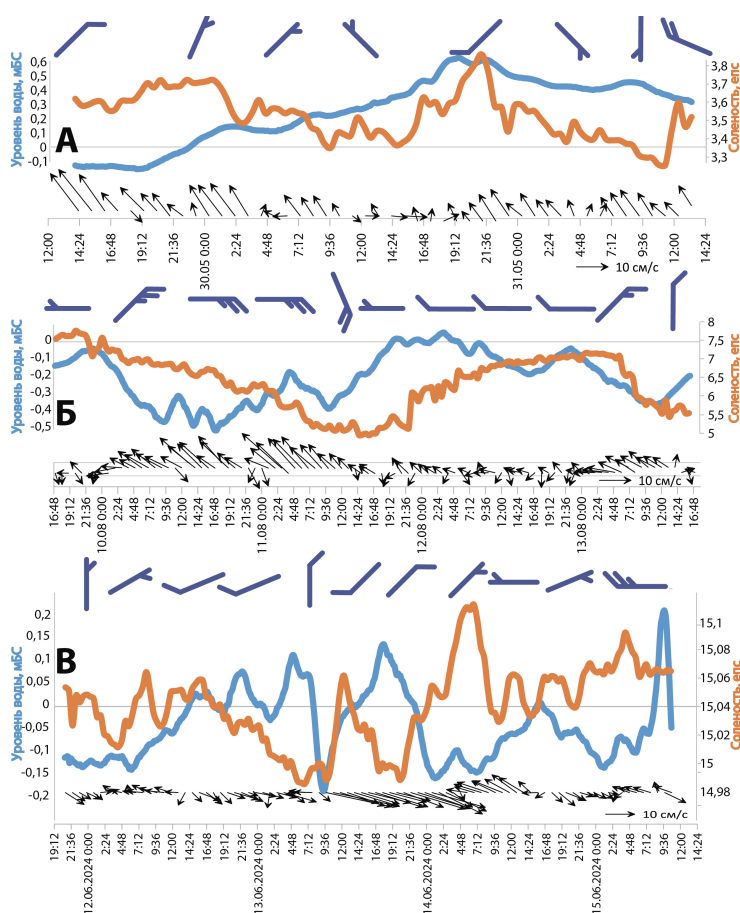
Во время измерений параметров течений и термохалинной структуры Таганрогского залива на косе Сазальникской из оз. Долгое отобраны гидрохимические образцы воды для выполнения анализов ионного состава в лабораторных условиях ЮНЦ РАН. Согласно руководству по химическому анализу [Руководство. . ., 2009], пробы для определения основных ионных групп природных вод специальной консервации не подвергались. Отбор образцов подземных вод на Камышевской косе проведён во время буровых работ в рамках палеогеографических исследований ЮНЦ РАН

[Атлас. . ., 2024]. Предварительные результаты экспедиционных исследований на косе Камышеватской в июне 2024 г. даны в [Матишов и др., 2024]. В работе представлены результаты анализа ионного состава из скважины глубиной 25 м, а также из протоки, наполненной наиболее солёными водами. Проведено сравнение с водами Азовского моря, согласно картосхеме на рис. 1. Описание характерного химического состава региона, построенное по результатам предыдущих съёмок дано в [Григоренко и Матишов, 2025].

## 2. Анализ первичных данных

Распределение течений, уровня воды и метеоусловий на Чумбурской косе Таганрогского залива Азовского моря представлены на рис. 2А. Коэффициент корреляции между уровнем и солёностью воды во время измерений составил  $-0,29$ . Измерения начаты при пониженном ( $-0,1$  мБС) уровне воды и максимальном северо-западном течении ( $56$  см/с). Солёность составила  $3,7$  епс. Преобладал северо-восточный ветер со скоростью  $4-6$  м/с. В 17:50 зафиксирована смена направления и скорости течений на юго-восточное со скоростями  $5-6$  см/с. С 18:50 до 4:20 30 мая доминировало северо-западное течение. Скорости выросли до  $31$  см/с. Ночное усиление течения стокового направления сопровождалось подъёмом уровня воды до  $0,2$  мБС и понижением солёности до  $3,5$  епс. Переменный ветер северных направлений ослабел до  $2-3$  м/с. Понижение скоростей до  $1-5$  см/с и изменение направления на северо-восточное и восточное длилось с 4:20 на протяжении полутора часов. Солёность понижалась. Уровень воды оставался стабильным. Рост уровня воды сопровождался северо-западным течением со скоростью до  $17$  см/с. С 11:00 до 21:00 скорости течений были минимальными:  $0-10$  см/с, переменного направления. В 16:00 и 17:00 зарегистрировано два коротких импульса восточного течения со скоростью  $12-13$  см/с. С 2 часов ночи до 19:00 30 мая уровень воды непрерывно поднимался. Зафиксированный уровнемерным постом в пос. Донской максимум составил  $0,6$  мБС. Минимум солёности достигнут около полудня ( $3,4$  епс, рис. 2А). Через 9 часов солёность выросла до максимума за весь период измерений на станции –  $3,8$  епс вместе с кратковременным, грозовым усилением ветра юго-западного направления. Новое усиление северо-западного течения зарегистрировано в условиях падения уровня воды и солёности. Течение усилилось до  $22$  см/с. В 4:20 31 мая течение сменило направление на юго-западное и замедлилось до  $2-7$  см/с. В 6:20 восстановилось северо-западное течение. Скорости возросли до  $22$  см/с. Ослабевание течения сопровождалось стабилизацией уровня воды. Серия измерений закончена в 13:20 31 мая 2023 г. На окончательной фазе уровень воды продолжил понижаться после локального повышения около 9:00 на  $0,1$  м на фоне общего падения с 19:00 30 мая. Изменения солёности сопровождалась скачкообразным подъёмом после минимума  $3,3$  епс утром до  $3,6$  епс в течение двух часов. Грозовой фронт принёс северо-западный ветер со скоростью более  $10$  м/с. Северо-западное течение усилилось до  $23$  см/с.

Результаты измерений на Сазальникской косе изображены на рис. 2Б. Коэффициент корреляции между уровнем и солёностью воды, во время измерений составил  $0,16$ . Установка буйковой станции проходила в условиях слабого западного ветра ( $2-3$  м/с). Солёность находилась на максимуме –  $7,8$  епс (рис. 2Б). Отмечен рост уровня воды на  $10-15$  см. Течения были слабыми, до  $5-7$  см/с неустойчивого направления. Ночью, во время гроз, ветер восточного направления усилился до  $12-13$  м/с. Уровень воды упал до полуметра ниже начальной отметки, солёность понизилась до  $6,5$  епс. Течения приобрели выраженное западно-северо-западное направление и скорости до  $29$  см/с. В 11:00 10 августа отмечено юго-восточное течение со скоростью  $11$  см/с. Пульсация сопровождалась ростом уровня воды на  $20$  см (от  $-0,5$  до  $-0,3$  мБС). Понижение солёности замедлилось. После полудня до  $42$  см/с усилилось северо-западное течение. Минимум уровня воды зафиксирован в 17:00. Последующее повышение происходило при продолжающемся восточном ветре  $12-13$  м/с. Солёность понижалась, несмотря на постепенный рост уровня воды. С 22:00 до полуночи 11 августа зафиксировано юго-восточное течение со скоростью  $7-17$  см/с. Течение сопровождалось локальным пиком уровня воды  $-0,2$  мБс и продолжением понижения солёности. После полуночи скорость течения достигла максимума за весь период измерений –  $54$  см/с северо-западного направления. Уровень воды понизился, минимума достигла солёность –  $4,9$  епс.



**Рис. 2.** Поле ветра, уровень воды, изменения солёности и векторная диаграмма течений А – на Чумбурской косе; Б – на Сазальникской косе; В – на Камышевватской косе.

Локальный минимум уровня зафиксирован в 11:00, в 14:00 произошла смена течения на юго-восточное со скоростями менее 10 см/с. Наблюдался слабый западный ветер. Последующие сутки, при слабом и умеренном западном ветре, преобладал неустойчивый режим течений. Скорости падали почти до 0, направление менялось в пределах южной и западной составляющих. Суточные колебания уровня воды составили 20–25 см с максимумами около полуночи и минимумом около 15:00. Солёность поднялась до 7 епс. 13 августа произошло усиление восточного ветра. Амплитуда колебаний уровня воды при этом увеличилась до 40 см. Усилилось до 23 см/с западное течение. Солёность понизилась до 5,5 епс. Завершение измерений сопровождалось умеренным северным ветром, ростом уровня воды и понижением солёности. Течение развернулось на восток со скоростью 4–6 см/с.

На рис. 2В изображены первичные данные солёности и течений на фоне изменения ветровых условий и уровня воды на косе Камышевватской. Расположение косы в южной части Ейского полуострова, обращённой к широкому Ясенскому заливу, в отличие от вытянутого Таганрогского способствует уменьшению колебаний уровня и солёности. Амплитуда уровня составила 0,4 м, солёности – 0,15 епс. Коэффициент корреляции –0,33. Станция установлена при слабом северном ветре, колебаниях солёности около среднего значения 15 епс, уровне воды –0,12 мБС. Минимум уровня –0,18 мБС (13 июня 9:30), максимум 0,21 мБС (15 июня 9:50). Минимум солёности измерен 13 июня в 6:46, составил 14,98 епс. Максимум – 15,1 епс, получен через сутки в 6:45 14 июня. Наибольшая скорость течений зафиксирована при повышении уровня воды утром 13 июня, достигла 34,3 см/с. Сильный ветер (до 12 м/с) наблюдался только при снятии станции, остальное время преобладали движения юго-западного – северо-восточного направления со скоростью 5–7 м/с.

### 3. Гидродинамика течений

Разложение в спектр компонент скорости течений на Чумбурской косе (рис. 3А, 3Б) показало очевидное соответствие северной и восточной составляющих (коэффициент корреляции  $-0,94$ ). В обоих случаях существует широкий подъём спектральной плотности сигнала от 15,8 ч до 8 ч (третья, четвёртая расчётные моды [Matishov and Inzhebeikin, 2009], в диапазон также попадают периоды 14,2 и 11,6 ч, выделенные спектральным анализом [Шурыборова и др., 2024]). Северная компонента, при этом, имеет подъём на близком к полусуточному периоду 11,9 ч. Узкий и высокий максимум колебаний обнаружен на частоте 6 ч (выделяется как по результатам моделирования, так и спектрального анализа [Шурыборова и др., 2024; Matishov and Inzhebeikin, 2009]). Спектр солёности (рис. 3Б) в значительной мере отличается. Имеется заметный суточный максимум (23,7 ч), соответствует второй расчётной [Matishov and Inzhebeikin, 2009] или первой локальной [Шурыборова и др., 2024] модам и несколько пиков на 8–10 ч (четвертая расчётная мода), 5,3 ч (пятая расчётная, третья спектральная) и 3,9 ч.

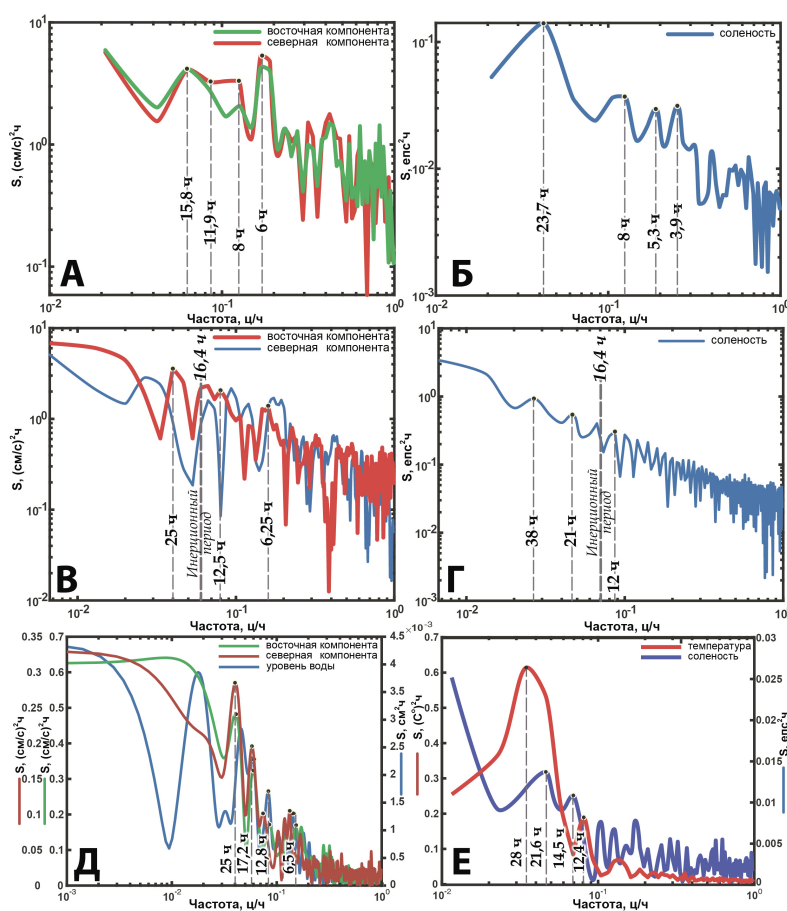


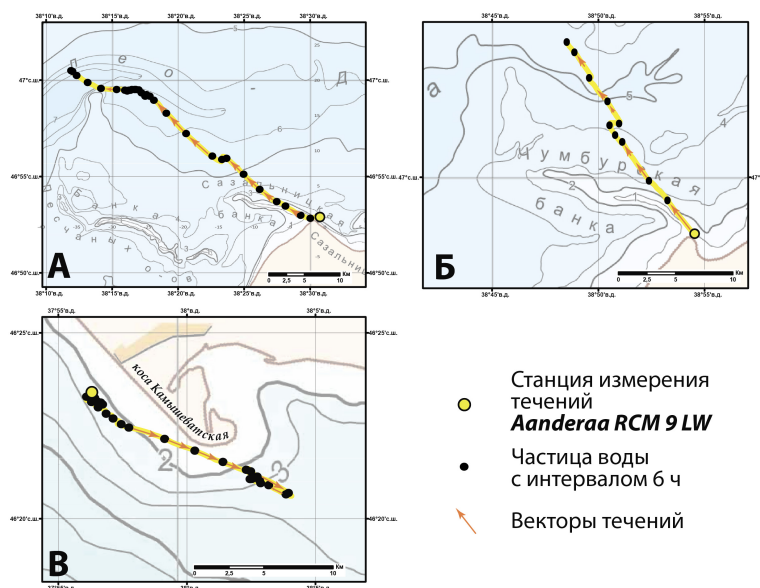
Рис. 3. Спектры компонент скорости течений, гидрологических характеристик: А, Б – на Чумбурской косе; В, Г – на Сазальникской косе; Д, Е – на Камышеватской косе.

Спектр восточной составляющей течений на Сазальникской косе, изображённый на рис. 3В, имеет пики на близких к суточной и полусуточной частотам, характерным для сейш и радиационных приливов Таганрогского залива [Корженевская и др., 2022; Matishov and Inzhebeikin, 2009]. Максимум спектральной плотности, содержащий частоту 12,5 ч, широкий. Нижний предел приходится на инерционную частоту широты наблюдений, верхний – составляет 12,5 ч (третья расчётная мода, гравитационный прилив M2). Следующий заметный максимум приходится на 6,25 ч. Распределение частот колебаний северной составляющей скоростей течений на Сазальникской косе Азовского моря отличается. Первый широкий максимум расположен на частоте близкой к 38 часам – расчётной частоте одноузловой сейши Азовского моря [Matishov and In-

*zhebeikin, 2009*]. Высокую мощность имеет 10-ти, и 5-ти часовой сигнал. Разложение по частотам изменений солёности (рис. 3Г) не имеет выраженной цикличности за период измерений. При этом, невысокие повышения спектральной плотности приходятся на 38 ч – расчётную одноузловую сейсму Азовского моря, 21 и 12 часов (соответствуют оценке [Шурыборова и др., 2024]).

Несмотря на узкий диапазон колебаний гидрологических характеристик на Камышеватской косе обнаружены некоторые закономерности. При понижениях уровня увеличивается солёность, т.е. с околосуточным интервалом происходят разнонаправленные движения (коэффициент корреляции  $-0,33$ ). Результаты спектрального анализа показывают, что периоды колебания компонент скорости течений и уровня воды на Камышеватской косе сгруппированы согласно характерным для Азовского моря периодам сейш [Шурыборова и др., 2024; Matishov and Inzhebeikin, 2009]. Хорошо выражены околосуточный период, 17–18 часов, околополусуточный и 6,5 ч (рис. 3Д, 3Е). Цикличность изменений температуры и солёности связана хуже.

Для наглядности векторно-прогрессивные диаграммы течений (рис. 4) наложены на картосхему батиметрии Азовского моря в районе изменений в одном масштабе. Отчётливо выражено преобладание стокового течения вблизи устья Дона – на запад (рис. 4А, 4Б). Виден пульсационный характер перемещения воды. На Чумбурской косе (рис. 4А) первые три часа скорости были максимальными, затем на три часа перемещение замедлилось. Девять часов воды двигались на северо-запад с устойчивыми высокими скоростями. Семь часов преобладало слабое движение на восток. Новый цикл уверенного движения на северо-запад длился девять часов. Два часа наблюдалось очень слабое перемещение на восток. В течение завершающих семи часов воды продолжили движение в северо-западном направлении. За весь период измерений перенос достиг 11 км на запад и 17 км на север.



**Рис. 4.** Векторно-прогрессивные диаграммы течений: А – на Чумбурской косе; Б – на Сазальникской косе; В – на Камышеватской косе.

Векторно-прогрессивная диаграмма течений на Сазальникской косе представлена на рис. 4Б. Рисунок подтверждает пульсационный характер течений во время измерений. Первые 12 часов наблюдалось умеренное движение вод на запад-северо-запад. Через 12 часов скорости понизились. С 24 до 42 ч с начала измерений воды двигались с высокой скоростью на северо-запад, после чего северная компонента стала отрицательной. 6 часов преобладало слабое западное-юго-западное перемещение. Следующие 18 часов мощное течение переместило воды на северо-запад более чем на 12 км. Около 18 часов поток медленно сдвигался на восток. Завершающие 24 часа наблюдений начался новый цикл интенсивного северо-западного течения. Общее перемещение за четверо суток составило 35 км на запад и 20 км на север.

Векторно-прогрессивная диаграмма течений на Камышеватской косе (рис. 4В) показывает преобладающее направление переноса вод на юго-восток, в Ясенский залив Азовского моря. Чередование слабых вдольбереговых течений юго-восточного и северо-западного направлений на известных расчётных периодах [Демьшев и др., 2017; Шурьборова и др., 2024; Matishov and Inzhebeikin, 2009] подтверждает циклический характер общей динамики вод моря. При усилении ветра активизируется юго-восточный перенос. Результирующий антициклонизирующий перенос направлен в сторону Ясенского залива со средней скоростью 4 см/с. Общее продвижение частицы воды составило 11,3 км на восток и 6 км на юг.

#### 4. Результаты гидрохимических исследований

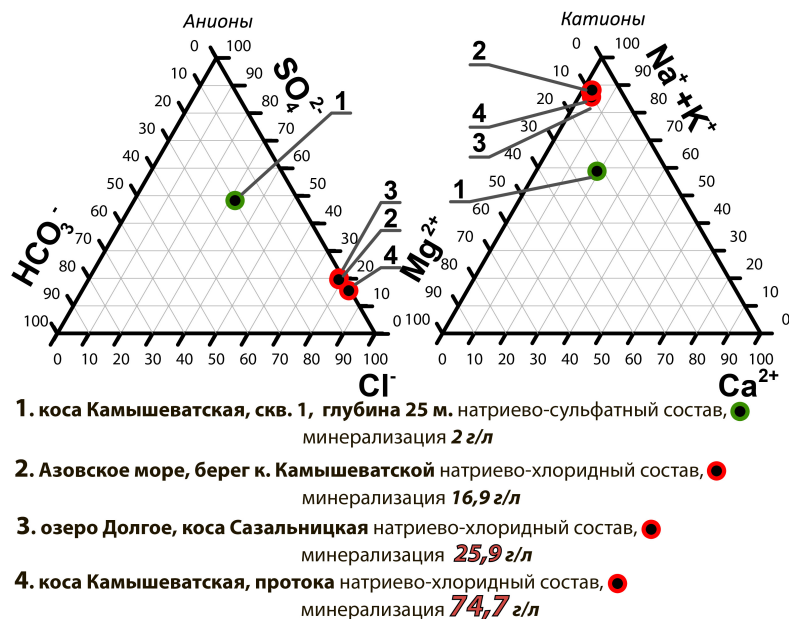
Картосхема отбора химических проб на Сазальникской и Камышеватской косах представлена на рис. 1. Результаты анализов ионного состава исследованных вод представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Ионный состав природных вод на косе Сазальникской и Камышеватской. Голубым цветом указаны преобладающие ионные группы

Дата и место отбора	$\text{HCO}_3^-$ (гидрокарбонат-ионы), мг/дм <sup>3</sup>	$\text{SO}_4^{2-}$ (сульфат-ионы), мг/дм <sup>3</sup>	$\text{Cl}^-$ (хлорид-ионы), мг/л	$\text{Ca}^{2+}$ (кальций-ионы), мг/дм <sup>3</sup>	$\text{Mg}^{2+}$ (магний-ионы), мг/дм <sup>3</sup>	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (натрий + калий-ионы), мг/дм <sup>3</sup>	Жёсткость, мг-экв/л	Минерализация, г/л
1. Коса Сазальникская, оз. Долгое, 12.08.2023	202,6	3266	12762	384,8	994,7	8258	101	25,9
2. Коса Камышеватская, скв. 1; глубина 25 м, 13.06.2024	278,3	672,4	443,1	116,8	133,8	356,5	16,80	2,0
3. Коса Камышеватская, протока у скв. 3, 13.06.2024	241,6	7204,5	38995	761,5	2723,8	24799	262	74,7
4. Коса Камышеватская, Азовское море, 14.06.2024	175,7	2065,3	8330,8	184,4	569,1	5622	56	16,9

По результатам гидрохимических исследований в озере Долгом лагунного типа на косе Сазальникской установлено преобладание хлоридно-натриевых вод с высокой испарительной минерализацией относительно вод Таганрогского залива. Уровень воды в оз. Долгом регулируется каналами с западной и восточной сторон. Канал с западной стороны прямого соединения с Азовским морем не имеет. Вода из моря проникает через него при умеренных нагонах (70–100 см) или просачивается через земляную запруду. Канал с восточной стороны вытекает из оз. Долгого. Различимы скорости течения 5–10 см/с. На рис. 5 представлено сравнение процентного соотношения главных ионных групп в виде диаграмм треугольников Ферре ионного состава проб косы Сазальникской и Камышеватской. Для озера характерно минимальное содержание гидрокарбонат-ионов – 1%. Непосредственно в море – 2%. В группе анионов хлорид-ионов в озере и море по 79%. Содержание сульфат-ионов в озере и море – 20%. Процентное распределение катионов в пробах различается минимально. Натрий, калий – ионов в озере и заливе по 86%, в Азовском море – 88%. Содержание кальций-ионов в море 3%, в озере 4%, соответственно. В Азовском море 9% магний-ионов, тогда как в озере Долгом – 10%.

Отбор проб в лагунах Камышеватской косы также показал высокое влияние испарения на концентрацию солей. Измеренная минерализация более чем вдвое превышает значения, характерные для Мирового океана. Соотношение основных ионных групп в водоёмах кос идентично азовоморскому. В пробах 79% и более хлоридов в группе анионов и 86–88% ионов натрия и калия в группе катионов. Приведённые воды соответствуют III типу, натриевой группы, хлоридного класса по О. А. Алекину. Высокая минерализация (25,9 г/л на Сазальникской косе) соответствует солёной (океанической) и даже рассолам (74,7 г/л на Камышеватской косе). Само Азовское море также сильно минерализовано (16,9 г/л) относительно среднепогодных значений [Бердников и др., 2023].



**Рис. 5.** Треугольники Ферре ионного состава проб воды в Азовском море, на Сазальницкой и Камышеватской косах.

Такие значения концентрации солей в Азовском море характерны только для максимально засушливых климатических периодов (1930-е, 1950-е, 1970-е гг.) и очень близки к показателям минерализации Чёрного моря (17–20 г/л). Вблизи коренного берега Камышеватской косы в скважине на глубине 25 м отмечено присутствие грунтовых вод характерного для региона натриево-сульфатного состава II типа натриевой группы сульфатного класса по О. А. Алекину. Минерализация около 2 г/л делает воды пограничными между пресными (менее 2 г/л) и слабосоленоватыми (более 2 г/л).

## 5. Заключение

В работе представлено инструментальное описание режима циркуляции и формирования поверхностных вод на косах Таганрогского и Ясенского заливов Азовского моря.

В летний сезон 2023 г. и на Чумбурской и на Сазальницкой косах отмечено общее преобладание стокового течения. Видно, как сейши блокируют сток Дона. Первые 1–2 часа после смены направления течения имеют максимальные скорости и прорывной характер. Результаты соответствуют ранее полученным с борта НИС на удалении от берегов [Matishov and Grigorenko, 2024]. Несмотря на различия периодики колебаний в разных районах Таганрогского залива, результирующее движение соответствует стоковому западному течению р. Дон.

Для Азовского моря в районе косы Камышеватская характерна выраженная дрейфово-градиентная схема течений. При слабых ветрах бризовой природы формируется перенос суточного периода, на фоне которого развиваются короткопериодные локальные колебания с периодом 4 ч. Усиление ветров более 4–6 м/с способствует насыщению энергией амфидромической системы одноузловой сейши Азовского моря с периодом 38–39 ч [Matishov и Григоренко, 2023; Matishov and Inzhebeikin, 2009]. Результирующее движение вод, при этом, направлено на юго-восток. Для вод моря характерна высокая солёность – более 15 епс, что близко к солёности Чёрного моря (17–18 епс). В северной части Ясенского залива Азовского моря (Камышеватская коса) наблюдается смена направления вдольбереговых течений на характерных расчётных периодах [Ширьборова и др., 2024; Matishov and Inzhebeikin, 2009] вне зависимости от изменений поля ветра. Течение и ветер периодически оказываются разнонаправленными. При усилении ветра активизируется юго-восточный перенос (из Азовского моря в Ясенский залив). Средняя скорость течения небольшая – около 5 см/с, однако в пиковые моменты может достигать 30 см/с.

Периоды сейш и приливных явлений Азовского моря в ряде случаев близки друг к другу. Приливы однозначно выделяются только на продолжительных рядах наблюдений, с использованием относительно узкого спектрального окна [Корженевская и др., 2022]. Периоды сейш меняются в зависимости от текущей ветровой обстановки в пределах нескольких часов. На годовых спектрах они выглядят широкими подъёмами относительно линии красного шума. Указанная сложность гидродинамических процессов моря затрудняет интерпретацию коротких (несколько суток) серий измерений, описываемых в текущей работе. Например, околосуточный период 22–25 ч, согласно расчётным данным, может являться первой или второй модой собственных колебаний моря (сейш). Неясно, в какой мере такая осцилляция усиливается радиационным приливом S1 или K1. В случае околополусуточных периодов разброс оценок ещё шире. В этом случае задача усложняется за счёт формирования локальных колебаний водной толщи моря. В частности, батиметрические отсеки Таганрогского залива отделяются друг от друга длинными, мелкими оконечностями кос, для водообмена остаётся порядка 30–40% расстояния между берегами. В результате, набор характерных периодов в разных районах моря заметно отличается.

С увеличением интенсивности вынуждающего воздействия на поверхность повышается номер моды колебания и увеличивается энергетический баланс длинных волн. При ослабевании внешней подпитки колебания рассеивают энергию по каскаду масштабов. Колебания высших мод Азовского моря проявляются в изменениях солёности и теряются на фоне локальных колебаний уровня малой периодичности.

Подобный тип смены режимов циркуляции может представлять опасность для маломерного судоходства, рекреации, формировать тягуны в портах и интенсивный перенос воды в устьях.

Образование лагун на косах происходит одновременно с ростом аккумулятивных тел при непрерывном воздействии морских течений. По мере выдвижения оконечности заводь все больше отделяется от моря, пока, наконец, полностью от него не отчленивается, образуя лагуну. Соответственно, чем ближе такой водоём к коренному берегу, тем он старше, и находится под все большим влиянием вод материкового, а не морского происхождения. Таким образом, отличия ионного состава вод на разных участках кос позволяют оценить, насколько интенсивно водоёмы затапливаются морем. Приведённые исследования показывают, что прибрежная часть Камышеватской косы полностью питается за счёт материковых подземных вод.

Воды озера Долгое и проток Камышеватской косы имеют необычный химический состав и в несколько раз более высокую минерализацию относительно окружающих вод Азовского моря. Гиперсолёные протоки Камышеватской косы расположены в дистальной части. Воды в них полностью обновляются, их конфигурация сильно меняется при штормовых нагонах. Они мелкие, поэтому в них быстро растёт испарительная минерализация, вплоть до значений вдвое превышающих океанические. Озеро Долгое занимает порядка 30% площади косы, водный объём больше, поэтому испарение и рост минерализации происходит медленнее. Подобный гидрологический режим характерен для водоёмов аридных территорий (Кумо-Маньчская впадина, соляные озера Крыма, залив Сиваш Азовского моря, Кара-Богаз-Гол Каспийского моря), где присутствуют соли материкового и морского происхождения в условиях сильного испарения. При этом, на других исследованных косах Азовского моря грунтовые воды материкового происхождения ранее обнаружены не были [Атлас... , 2024; Матишов и др., 2021a]. Радиоэкологический анализ показывает, что косы Азовского моря сформировались в период нимфейской трансгрессии уровня Мирового океана за 2–2,5 тыс. лет назад за счёт непрерывного воздействия морских течений. Во время эвстатических регрессий уровня Мирового океана большие площади современного дна Азовского моря поднимались выше уровня воды и становились солёными маршами. Таким образом, современный облик минерализованных озёр береговых кос, гиперсолёных озёр Маньчской долины, Крыма, залива Сиваш позволяют представить, как выглядело осушенное азовоморское побережье в периоды понижения уровня Мирового океана.

Южный научный центр РАН продолжает исследовать механизмы осолонения Азовского моря в условиях снижения пресного речного стока. Показано, что помимо ветрового, существует сейшевый механизм перемещения вод, а соли материкового стока часто замещают морские в устьевых областях рек. Таким образом необходимо продолжение съёмок на других участках побережья моря для того, чтобы в полной мере понять эволюцию береговой зоны, раскрыть гидродинамические и геохимические особенности региона в условиях нового освоения его ресурсов.


**Благодарности.** Работа выполнена в рамках реализации проекта РНФ №23-17-00232

### Список литературы

- Атлас по результатам бурения кос и береговой зоны Азовского моря (2018-2024) / сост. Г. Г. Матишов и В. В. Польшин. — Ростов-на-Дону : Издательство ЮНЦ РАН, 2024. — 312 с.
- Бердников С. В., Кулыгин В. В. и Дашкевич Л. В. Причины стремительного роста солёности воды Азовского моря в XXI веке // *Морской гидрофизический журнал*. — 2023. — Т. 39, № 6. — С. 760–778.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. V. Азовское море / под ред. Н. П. Гоптарева, А. И. Симонова, Б. М. Затучной и др. — Санкт-Петербург : Гидрометеозидат, 1991. — 236 с.
- Григоренко К. С. и Матишов Г. Г. Минерализация малых водотоков восточного Приазовья в современных маловодных условиях // *Метеорология и гидрология*. — 2025. — (в печати).
- Демьшев С. Г., Черкесов Л. В. и Шульга Т. Я. Анализ влияния постоянного ветра на скорость течений и сейшевые колебания уровня Азовского моря // *Метеорология и гидрология*. — 2017. — № 6. — С. 46–54.
- Корженевская А. И., Медведев И. П. и Архипкин В. С. Приливные колебания уровня Азовского моря // *Океанология*. — 2022. — Т. 62, № 5. — С. 677–689. — <https://doi.org/10.31857/s0030157422050094>.
- Матишов Г. Г. и 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. — <https://doi.org/10.31857/s2686739722020116>.
- Матишов Г. Г. и Григоренко К. С. Сейшевые течения Азовского моря по данным натурных наблюдений // *Океанология*. — 2023. — Т. 63, № 1. — С. 32–40. — <https://doi.org/10.31857/s0030157423010094>.
- Матишов Г. Г., Польшин В. В., Григоренко К. С. и др. Рельеф и особенности развития косы Камышеватской (по данным экспедиции ЮНЦ РАН в июне 2024 г.) // *Наука Юга России*. — 2024. — Т. 20, № 4. — С. 39–48. — <https://doi.org/10.7868/S25000640240406>.
- Матишов Г. Г., Польшин В. В., Коваленко Е. П. и др. Палеоокеанология Азовского моря в голоцене (по данным бурения и изучения малакофауны на косе Долгой) // *Океанология*. — 2021а. — Т. 61, № 4. — С. 609–619. — <https://doi.org/10.31857/S0030157421030084>.
- Матишов Г. Г., Польшин В. В., Титов В. В. и др. Новые результаты исследования голоценовой истории шельфа Азовского моря // *Наука Юга России*. — 2021б. — Т. 17, № 4. — С. 34–44. — <https://doi.org/10.7868/s25000640210404>.
- Матишов Г. Г., Польшин В. В., Титов В. В. и др. Новые данные о строении Беглицкой косы // *Наука Юга России*. — 2022. — Т. 18, № 3. — С. 13–20. — <https://doi.org/10.7868/s25000640220302>.
- ООО «Расписание Погоды». Архив погоды в Должанской, Ейске и Приморско-Ахтарске. — 2004. — URL: <https://rp5.ru/> (дата обр. 18.08.2023).
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1 / под ред. Л. В. Боевой. — Ростов-на-Дону : «НОК», 2009. — 1044 с.
- Система мониторинга «Эмерсит». — URL: <http://emercit.ru/map/> (дата обр. 18.08.2023).
- Ширыборова А. И., Медведев И. П. и Архипкин В. С. Собственные колебания уровня Азовского моря по данным наблюдений // *Метеорология и гидрология*. — 2024. — № 11. — С. 86–96. — <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2024-11-86-96>.
- Belokon A. Yu. and Lazorenko D. I. Energy Spectra of Sea Level Fluctuations During Propagation Long Waves in Branched Bays // *Proceedings of the 9th International Conference on Physical and Mathematical Modelling of Earth and Environmental Processes*. — Springer Nature Switzerland, 2024. — [https://doi.org/10.1007/978-3-031-54589-4\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-031-54589-4_49).
- Shlevca B., Howell T., Madani M., et al. Fine-Scale Hydrodynamic Modeling of Lake Ontario: Has Climate Change Affected Circulation Patterns? // *Environmental Modeling & Assessment*. — 2024. — Vol. 30, no. 2. — P. 219–239. — <https://doi.org/10.1007/s10666-024-10003-z>.

- Matishov G. G. and Grigorenko K. S. Seiche Dynamics in the Azov Sea Current System // Russian Journal of Earth Sciences. — 2024. — Vol. 24. — ES1001. — <https://doi.org/10.2205/2024es000890>.
- Matishov G. G. and Inzhebeikin Yu. I. Numerical study of the Azov Sea level seiche oscillations // Oceanology. — 2009. — Vol. 49, no. 4. — P. 445–452. — <https://doi.org/10.1134/s0001437009040018>.
- Nesteckytė L., Kelpšaitė-Rimkienė L. and Rabinovich A. B. Hazardous meteotsunami-like sea-level oscillations in the Port of Klaipėda, the Baltic Sea // Natural Hazards. — 2024. — Vol. 120, no. 3. — P. 2909–2928. — <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06311-4>.
- Reiss R. S., Lemmin U., Monin C., et al. Strong bottom currents in large, deep Lake Geneva generated by higher vertical-mode Poincaré waves // Communications Earth & Environment. — 2024. — Vol. 5, no. 1. — <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01653-8>.
- Vilibić I., Šepić J., Pasarić M., et al. The Adriatic Sea: A Long-Standing Laboratory for Sea Level Studies // Pure and Applied Geophysics. — 2017. — Vol. 174, no. 10. — P. 3765–3811. — <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1625-8>.
- Xylem Inc. Aanderaa Data Instruments AS. — 2013. — URL: <https://www.aanderaa.com/> (visited on 08/18/2023).

# DYNAMICS OF SEA CURRENTS ON THE SPITS OF THE TAGANROG AND YASENSKY BAYS OF THE AZOV SEA

K. S. Grigorenko\*\* 

Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation \*\*Correspondence to: Klim Grigorenko, klim\_grig@mail.ru

The conditions of the formation of surface and groundwater, the regime of coastal currents depending on hydrometeorological conditions on spits of the Sea of Azov in 2023 and 2024 are investigated in the paper. Elements of the drift-gradient system of currents are expressed differently in different areas of the sea. The estuarine part of the sea (the Taganrog Bay) has a resulting flow of the stock direction with pulsations at periods corresponding to the calculated seiche periods. On the eastern coast of the Sea of Azov (Kamyshevatskaya Spit), when the wind strengthens, the anticyclonic longshore current becomes active. The set of periods of alternating current directions is different, but also falls within the range of calculated seiches. Wind surges flood the spits. The water remaining in the lagoons evaporates. As a result, the mineralization of small watercourses often exceeds the salinity of the sea several times. Differences and features of the ionic composition show that the mineralization regime of surface water bodies, such as lagoons and channels, is similar to salt marshes. The study of hydrodynamic and chemical processes on the spits thus allows us to reveal elements of the modern water movement system, as well as to understand what the dried-up Azov Sea coast looked like during periods of regression of the World Ocean.

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

Received: March 20, 2025

Accepted: July 29, 2025

Published: April 8, 2026



© 2026. The Authors.

**Citation:** Grigorenko K. S. (2026), Dynamics of Sea Currents on the Spits of the Taganrog and Yasensky Bays of the Azov Sea, *Russian Journal of Earth Sciences*, 26, ES1012, <https://doi.org/10.2205/2026ES001048>, EDN: EWAJPG

## References

- Atlas of Drilling Data (based on drilling on the spits and in the coastal zone of the Sea of Azov) (2018-2024) / comp. by G. G. Matishov and V. V. Pol'shin. — Rostov-on-Don : SSC RAS Publishers, 2024. — 312 p. — (In Russian).
- Belokon A. Yu. and Lazorenko D. I. Energy Spectra of Sea Level Fluctuations During Propagation Long Waves in Branched Bays // Proceedings of the 9th International Conference on Physical and Mathematical Modelling of Earth and Environmental Processes. — Springer Nature Switzerland, 2024. — [https://doi.org/10.1007/978-3-031-54589-4\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-031-54589-4_49).
- Berdnikov S. V., Kulygin V. V. and Dashkevich L. V. Reasons for Rapid Increase of Water Salinity in the Sea of Azov in the 21st Century // Physical Oceanography. — 2023. — Vol. 30, no. 6. — P. 714–730.
- Demyshev S. G., Cherkesov L. V. and Shul'ga T. Ya. Analysis of effects of constant wind on the velocity of currents and seiche oscillations in the Azov Sea level // Russian Meteorology and Hydrology. — 2017. — Vol. 42, no. 6. — P. 388–393. — <https://doi.org/10.3103/s1068373917060048>.
- Grigorenko K. S. and Matishov G. G. Mineralization of small watercourses of the eastern Azov region in modern low-water conditions // Meteorologiya i Gidrologiya. — 2025. — (In Russian). — in press.
- Guide to chemical analysis of surface land waters. Part 1 / ed. by L. V. Boevaya. — Rostov-on-Don : «NOK», 2009. — 1044 p. — (In Russian).
- Hlevca B., Howell T., Madani M., et al. Fine-Scale Hydrodynamic Modeling of Lake Ontario: Has Climate Change Affected Circulation Patterns? // Environmental Modeling & Assessment. — 2024. — Vol. 30, no. 2. — P. 219–239. — <https://doi.org/10.1007/s10666-024-10003-z>.
- Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Vol. V. Azov Sea / ed. by N. P. Goptarev, A. I. Simonov, B. M. Zatuchnaya, et al. — Saint Petersburg : Gidrometeoizdat, 1991. — 236 p. — (In Russian).

- Korzhenovskaia A. I., Medvedev I. P. and Arkhipkin V. S. Tidal Sea Level Oscillations in the Sea of Azov // *Oceanology*. — 2022. — Vol. 62, no. 5. — P. 585–596. — <https://doi.org/10.1134/s0001437022050095>.
- Matishov G. G. and Grigorenko K. S. Dynamics and Thermohaline Structure in the Contact Zones of the Azov Sea // *Doklady Earth Sciences*. — 2022. — Vol. 502, no. 1/2. — P. 51–58. — <https://doi.org/10.1134/s1028334x22020118>.
- Matishov G. G. and Grigorenko K. S. Seiche Currents in the Sea of Azov Based on Field Observations // *Oceanology*. — 2023. — Vol. 63, no. 1. — P. 27–34. — <https://doi.org/10.1134/s0001437023010095>.
- Matishov G. G. and Grigorenko K. S. Seiche Dynamics in the Azov Sea Current System // *Russian Journal of Earth Sciences*. — 2024. — Vol. 24. — ES1001. — <https://doi.org/10.2205/2024es000890>.
- Matishov G. G. and Inzhebeikin Yu. I. Numerical study of the Azov Sea level seiche oscillations // *Oceanology*. — 2009. — Vol. 49, no. 4. — P. 445–452. — <https://doi.org/10.1134/S0001437009040018>.
- Matishov G. G., Pol'shin V. V., Grigorenko K. S., et al. Relief and features of development of the Kamyshevatskaya Spit (according to the SSC RAS expedition in June 2024) // *Science in the South of Russia*. — 2024. — Vol. 20, no. 4. — P. 39–48. — <https://doi.org/10.7868/s25000640240406>. — (In Russian).
- Matishov G. G., Pol'shin V. V., Kovalenko E. P., et al. Paleoceanology of the Sea of Azov in the Holocene (Based on Geological Survey Data and Investigation of Malacofauna on the Dolgaya Spit) // *Oceanology*. — 2021a. — Vol. 61, no. 4. — P. 533–542. — <https://doi.org/10.1134/s0001437021030085>.
- Matishov G. G., Pol'shin V. V., Titov V. V., et al. New results of the Holocene history investigation of the Sea of Azov shelf // *Science in the South of Russia*. — 2021b. — Vol. 17, no. 4. — P. 34–44. — <https://doi.org/10.7868/s25000640210404>. — (In Russian).
- Matishov G. G., Pol'shin V. V., Titov V. V., et al. New data on the structure of the Beglitskaya Spit // *Science in the South of Russia*. — 2022. — Vol. 18, no. 3. — P. 13–20. — <https://doi.org/10.7868/s25000640220302>. — (In Russian).
- Monitoring system «Emercit». — URL: <http://emercit.ru/map/> (visited on 08/18/2023) ; (in Russian).
- Nesteckytė L., Kelpšaitė-Rimkienė L. and Rabinovich A. B. Hazardous meteotsunami-like sea-level oscillations in the Port of Klaipėda, the Baltic Sea // *Natural Hazards*. — 2024. — Vol. 120, no. 3. — P. 2909–2928. — <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06311-4>.
- Raspisaniye Pogodi Ltd. Weather archive in Dolzhanskaya, Yeysk and Primorsko-Akhtarsk. — 2004. — URL: <https://rp5.ru/> (visited on 08/18/2023).
- Reiss R. S., Lemmin U., Monin C., et al. Strong bottom currents in large, deep Lake Geneva generated by higher vertical-mode Poincaré waves // *Communications Earth & Environment*. — 2024. — Vol. 5, no. 1. — <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01653-8>.
- Shiryborova A. I., Medvedev I. P. and Arkhipkin V. S. Seiche Oscillations in the Sea of Azov Based on Tide Gauge Observations // *Russian Meteorology and Hydrology*. — 2024. — Vol. 49, no. 11. — P. 994–1001. — <https://doi.org/10.3103/s1068373924110074>.
- Vilibić I., Šepić J., Pasarić M., et al. The Adriatic Sea: A Long-Standing Laboratory for Sea Level Studies // *Pure and Applied Geophysics*. — 2017. — Vol. 174, no. 10. — P. 3765–3811. — <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1625-8>.
- Xylem Inc. Aanderaa Data Instruments AS. — 2013. — URL: <https://www.aanderaa.com/> (visited on 08/18/2023).