



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН)



Южное отделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ЮО ИО РАН)

ОТЧЕТ ЮО ИО РАН за 2021 г.

Куклев С.Б. – Директор ЮО ИО РАН

І.Результаты выполнения Госзадания

Тема № 0128-2021-0013 “Морские природные системы Черного и Азовского морей: эволюция и современная динамика гидрофизических, гидрохимических, биологических, береговых и литодинамических процессов” (научных сотрудников – 21 чел.)

Публикации	План	Факт
В индексируемых журналах	19 (17+2*)	27 (23+4**)
WoS и Scopus:	5	10
из них Q1-Q2		3 (2+1***)
Q3-Q4		7
РИНЦ	14	17 (14+3**)
ВСЕГО	19	27

* публикации по темам госзадания №№ 0128-2021-0015, 0128-20121-0016

** публикации по темам госзадания №№ 0128-2021-0015, 0128-20121-0016, 0128-2021-0018

*** публикации по теме госзадания № 0128-2021-0018

Публикации в журналах Q1-Q2:

1. Divinsky B.V., Ryabchuk D.V., Kosyan R.D., Sergeev A.Yu. Development of the sandy coast: Hydrodynamic and morphodynamic conditions (on the example of the Eastern Gulf of Finland) // Oceanologia. 2021. Vol. 63. P. 214-226. DOI: [10.1016/j.oceano.2020.12.002](https://doi.org/10.1016/j.oceano.2020.12.002). (Q2, WoS).
2. Silkin V, Fedorov A, Flynn K.J, Paramonov L, Pautova L. Protoplasmic streaming of chloroplasts enables rapid photoacclimation in large diatoms. Journal of Plankton Research. 2021. fbab071, DOI: [10.1093/plankt/fbab071](https://doi.org/10.1093/plankt/fbab071). (Q2, WoS)
3. Zadereev E., Lipka O., Karimov B., Krylenko M., Elias V., Pinto I., Alizade V., Anker Ya., Feest A., Kuznetsova D., Mader A., Salimov R. & Fischer M. Overview of past, current, and future ecosystem and biodiversity trends of inland saline lakes of Europe and Central Asia // Inland Waters. 2020. V. 10. Is. 4. P. 438-452. DOI: [10.1080/20442041.2020.1772034](https://doi.org/10.1080/20442041.2020.1772034) (Q2, WoS)

II. Результаты для отчета перед Минобрнауки России

Показатели	Количество
Публикаций в индексируемых изданиях	38
Монографии / главы	0/0
Устные доклады (международные)	8
Регистрация в РосРИД	1
Диссертации	0
Рецензии	8
Экспертизы РФФИ/РНФ	17/5
Руководство/отзывы диссертаций	0/4
Гранты РФФИ/РНФ	14/2

III. Экспедиционная деятельность (прибрежные экспедиции)

1. Экспедиции по программе “Черное море - 2021” на МНИС “Ашамба”

Выходов	100 (план - 100)
Участников от ЮО	18
2. Комплексная береговая экспедиция на косах Долгая и Камышеватая (12-23 мая)

Продолжительность	13 сут.
Участников от ЮО	6
3. Комплексная береговая экспедиция на Анапскую пересыпь (1-11 июня)

Продолжительность	11 сут.
Участников от ЮО	8
4. Комплексная береговая экспедиция на на косе Долгая (24-29 июня)

Продолжительность	6 сут.
Участников от ЮО	3
5. Комплексная береговая экспедиция на Бакальской косе и на берегах п-ва Крым (13-25 сентября)

Продолжительность	13 сут.
Участников от ЮО	7
6. Круглогодичный мониторинг вариаций объемной активности радона в приземной атмосфере Маркхотского разлома

Продолжительность	365 сут.
Участников от ЮО	3

III. Экспедиционная деятельность (морские экспедиции)

1. Морские экспедиции: НИС “Академик Мстислав Келдыш”, 84-й рейс (28.07-24.08)

Продолжительность	34 сут.
Участников от ЮО	1
2. Морские экспедиции: НИС “Академик Мстислав Келдыш”, 85-й рейс (27.08-30.09)

Продолжительность	35 сут.
Участников от ЮО	1
3. Морские экспедиции: НИС “Профессор Водяницкий”, 118-й рейс (14.08-28.08)

Продолжительность	15 сут.
Участников от ЮО	3
4. Морские экспедиции: НИС “Академик Мстислав Келдыш”, 83-й рейс (06.06-23.07)

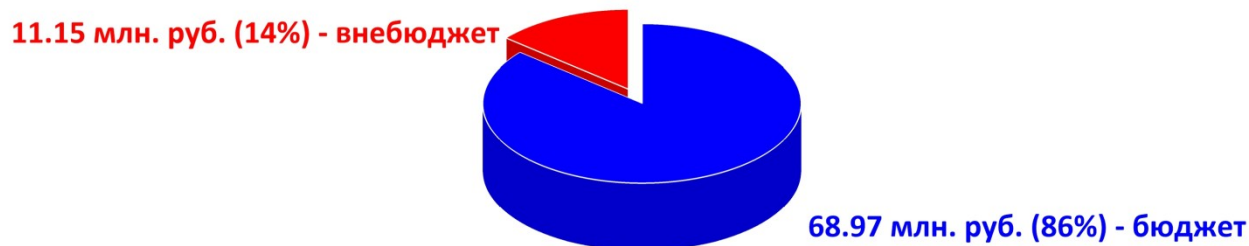
Продолжительность	завершена досрочно
Участников от ЮО	1

IV. Финансовая деятельность

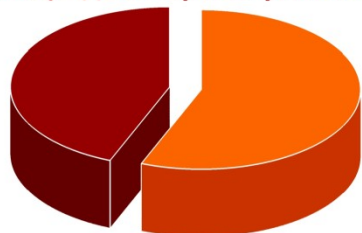
Зарплата научных сотрудников

Средняя зарплата научных сотрудников (с учетом планируемых выплат в декабре)	65.9 тыс. руб.
Средняя зарплата по региону	32.9 тыс. руб.
Отношение зарплаты научных сотрудников к средней по региону	200.4 %

Финансирование ЮО ИО РАН в 2021 г.



4.9 млн. руб (44%) - договорные работы



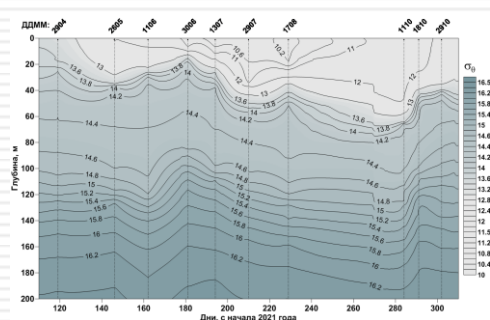
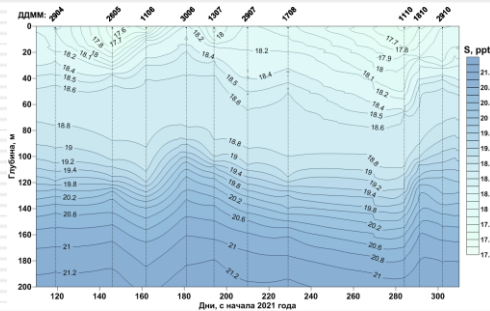
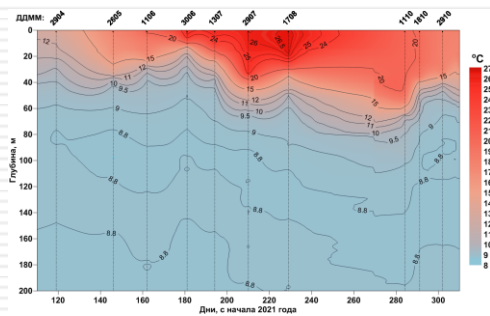
6.25 млн. руб (56%) - гранты РФФИ, РФ

Структура внебюджетного финансирования



Структура бюджетного финансирования

V. Результаты: особенности формирования гидрологической структуры вод северо-восточной части Черного моря в 2021 году

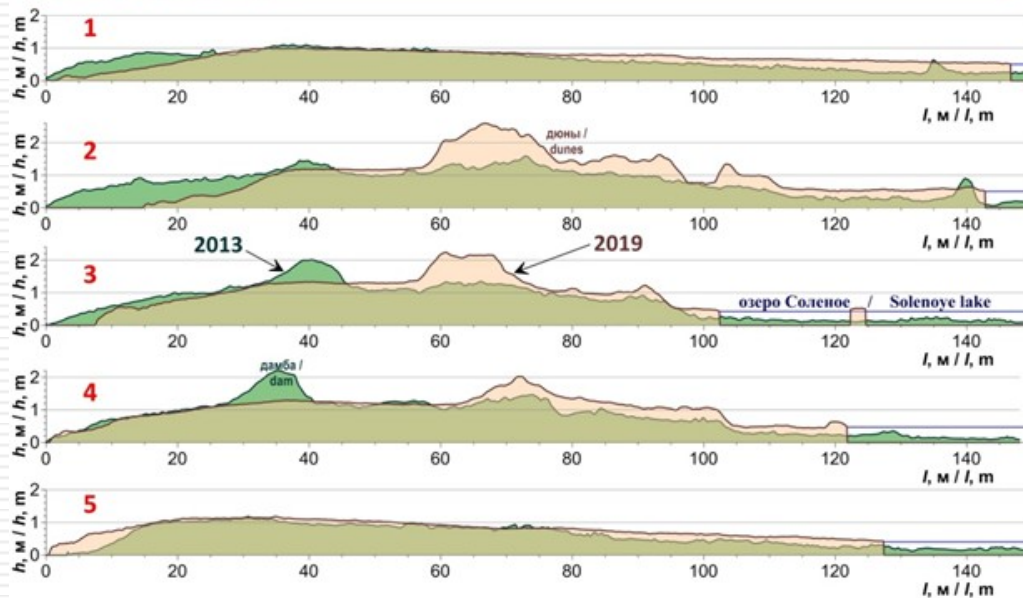
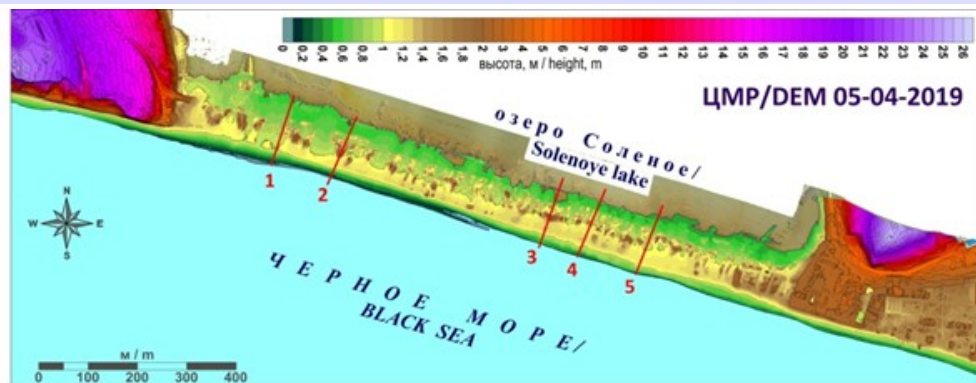


Годовой ход температуры (A), солёности (B) и условной плотности (B) на срединной точке мониторингового 9-мильного разреза с глубиной 500 м в 2021 г.

В 2021 г. выполнено 17 мониторинговых судовых исследований на стандартном 9-ти мильном разрезе (створ Голубой бухты Черного моря). По результатам исследований сделаны следующие **основные выводы**:

1. Как и в предыдущие три года, холодный промежуточный слой (ХПС) в склоновой шельфовой зоны северо-восточной части Черного моря в своем классическом определении (слой воды с температурой менее 8 °С) в 2021 г. не был сформирован. Наблюдалось его слабое обновление.
2. Выявлен ряд аномалий в процессе формирования ХПС. Одной из аномалий стал его полный разрыв к началу апреля 2021 г. – температура равномерно понижалась с глубиной примерно до редокс-слоя. Инверсия температуры, характерная для ХПС, отсутствовала. Причинами выявленного феномена, по нашему мнению, стали: 1) активные локальные процессы зимнего конвективного перемешивания, связанные с длительными периодами затока холодных воздушных масс над акваторией района исследований; 2) слабое обновление ХПС и, как следствие, уменьшение вертикальных градиентов температуры в слое в предшествующие теплые зимы.
3. Верхний квазиоднородный слой (ВКС) к началу работ 29 апреля только начал формироваться – слабый весенний прогрев под влиянием перемешивания уходил в нижележащие слои. Даже к концу мая типичный весенне-летний ВКС как таковой еще отсутствовал, что весьма необычно для этого времени – наблюдался толстый (26 м) поверхностный слой воды с температурой 15-18 °С без четко выраженного градиента, переходивший в столь же слабовыраженный термоклин. Традиционный летний ВКС с выраженным переходом в термоклин сформировался только к концу июня и составлял 6 м по толщине.
4. Сероводородная граница (изопикна 16.15) в 2021 г. заметно опустилась в поле глубины по сравнению с предыдущими годами, составив 167 м в среднем по сравнению со 157, 163 и 151 м в среднем в 2018, 2019 и 2020 гг. соответственно. Соответственно увеличилась и толщина деятельного кислород-содержащего слоя (от поверхности до изопикны 15.85), составив в среднем 146 м – на 19 м больше, чем в предыдущем году.
5. Сохранилась тенденция в климатическом изменении температуре и солёности верхнего 150-метрового слоя Черного моря. В среднем рост солёности за последние 10 лет составлял около 0.05–0.06 PSU/год, температуры воды – 0.04°С. Незначительные в абсолютном выражении рост температуры воды, ее солёности привели за последние годы к существенной перестройке гидрологической структуры вод. Основными причинами указанных феноменов является потепление регионального климата, уменьшения осадков над акваторией моря, уменьшения речного стока.

V. Результаты: Закономерности развития рельефа крупных морских береговых аккумулятивных форм Черного моря



Рельеф пересыпи оз. Соленое и его динамика по данным съемок 2013 и 2019 гг.

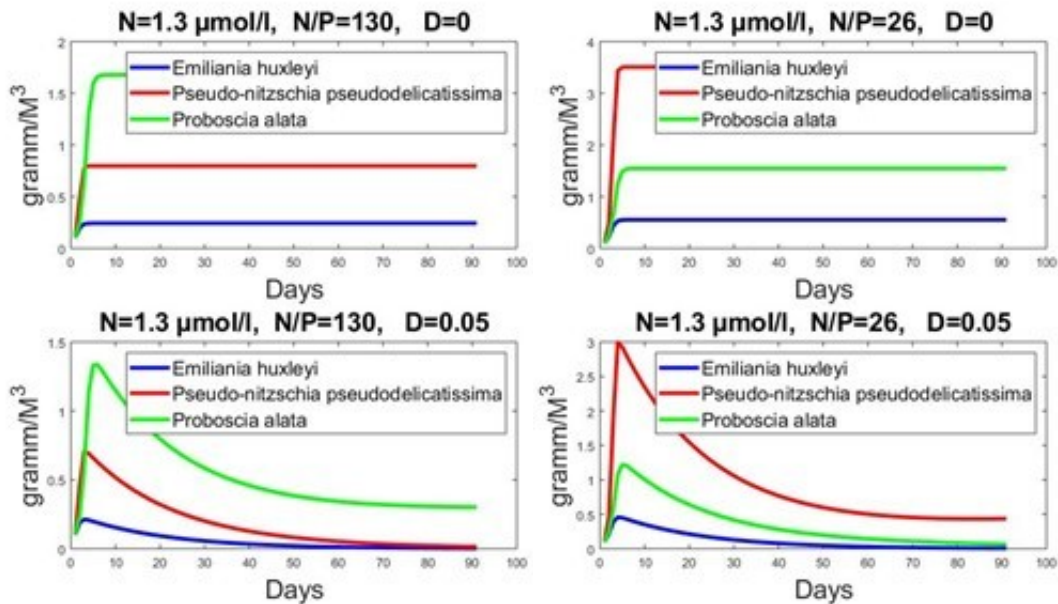
С помощью высокоточных цифровых моделей рельефа выявлены особенности строения или изменения рельефа морских береговых аккумулятивных форм оз. Соленое и оз. Богайлы, которые обусловлены как природными процессами (морское волнение, эоловые процессы), так и антропогенными преобразованиями. Наблюдается смещение аккумулятивных тел вглубь лагун, скорость этого смещения зависит от величины отступления прилегающих коренных берегов. Морфологические и динамические особенности указанных пересыпей не претерпели принципиальных изменений за последние десятилетия.

V. Результаты: прогноз структурно-функциональных сдвигов в экосистеме северо-восточной части Черного моря

Предложены два способа прогноза структуры фитопланктонного сообщества при климатических изменениях: *экспериментальный* и *теоретический*. С помощью *экспериментов* показано, что климатические сдвиги, изменяющие гидродинамику, и, как следствие гидрохимический режим, приводят к изменению структуры летнего сообщества фитопланктона в сторону доминирования мелкоклеточного фитопланктона (таблица).

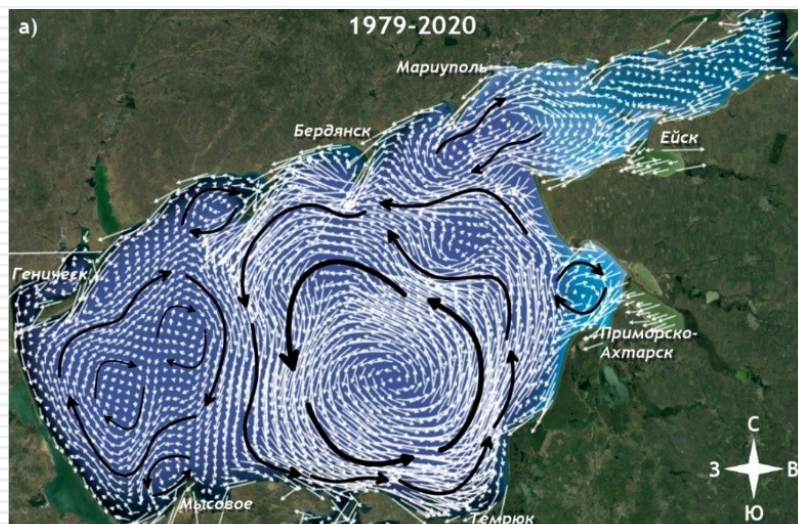
Таблица. Влияние повышения концентраций азота N и фосфора P на биомассу основных доминант фитопланктона (эксперимент 5.07.2021 г.)

Вид	Уравнения регрессии, мг/м ³	Sxt _{0,95}
<i>Emiliana huxleyi</i>	$900,4 + 196,3 N + 256,0 P + 155,0 NP$	412,2
<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	$105,4 + 58,2 N + 44,4 P + 56,7 NP$	81,2
<i>Skeletonema costatum</i>	$6502,6 + 6239,1 N + 6387,7 P + 6224,9 NP$	5690,0



Теоретический основан на математической модели динамики фитопланктона. Результаты вычислительных экспериментов на модели показали, что усиление ветровой нагрузки и заглупление сезонного термоклина приводит к замене летнего фитопланктона с доминирования крупных диатомовых водорослей на мелкие диатомеи – доминанты весеннего цветения.

V. Результаты: климатические поля течений Азовского моря



Климатические течения Азовского моря, осредненные за расчетный срок 1979-2020 гг.

(a) – направления течений, (b) – скорости течений

Впервые выполнено моделирование течений для акватории Азовского моря за период с 1979 по 2020 гг. с дискретностью в 1 час с учетом ледовой обстановки.

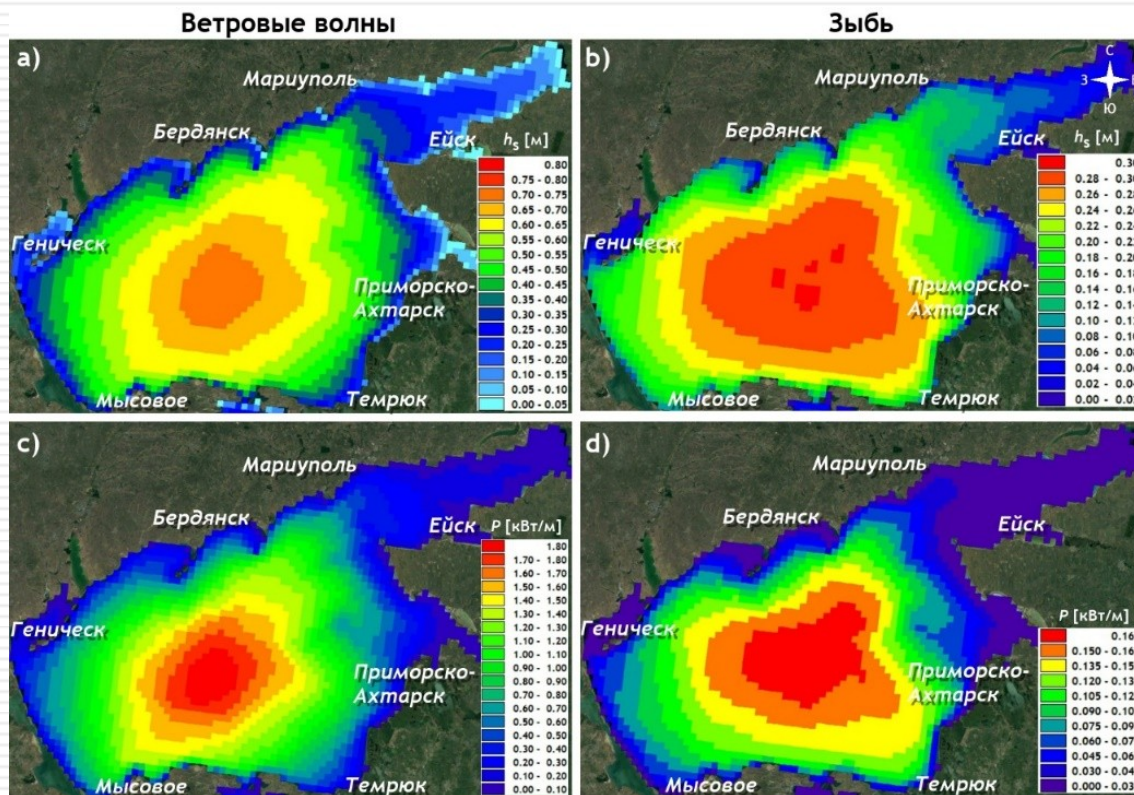
Основные черты климатической циркуляции вод в Азовском море:

- центральную и восточную части моря занимает обширное циклоническое образование;
- в западной части моря генеральное движение вод осуществляется в антициклоническом направлении;
- по периферии моря располагаются локальные вихревые образования разного знака;
- средняя скорость течений составляет 0.05-0.07 м/с;
- максимальные средние скорости, превышающие 0.1 м/с, наблюдаются в проливе, соединяющем основной бассейн с Таганрогским заливом, и на севере моря в районе Бердянска.

Основные выводы по результатам:

1. В структуре климатических течений центральную и восточную части моря занимает обширное циклоническое образование, в западной части моря генеральное движение вод осуществляется в антициклоническом направлении.
2. Средняя скорость морских течений составляет 0.05-0.07 м/с. Максимальные средние скорости, превышающие 0.1 м/с, наблюдаются в проливе, соединяющем основной бассейн с Таганрогским заливом, и на севере моря в районе Бердянска.

V. Результаты: климатические поля ветровых волн и зыби Азовского моря



Средние значения значительных высот и мощностей ветровых волн (а, с) и зыби (b, d) за период с 1979 по 2020 гг.

Основные выводы по результатам:

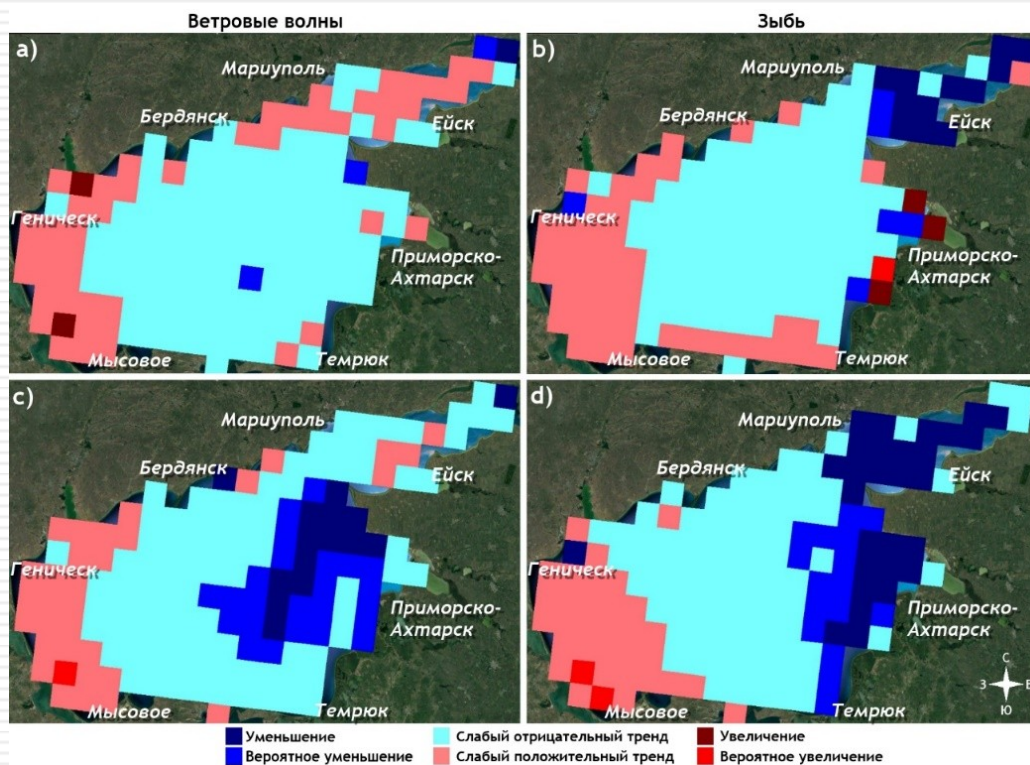
1. Максимальное поверхностное волнение развивается в центральной, относительно глубоководной, части моря. В этом регионе средние значения значительных высот ветровых волн составляют 0.70-0.75 м, волн зыби – в два раза меньше и не превышают 0.30 м.
2. Ветровое волнение преобладает над зыбью по высотам волн – в 2-2.5 раза, по мощности – в 5-10 раз. При этом на юго-востоке моря в районе Темрюка ветровые волны и зыбь в климатическом смысле практически сравнимы по высоте.

Впервые выполнено моделирование ветрового волнения и зыби для акватории Азовского моря за период с 1979 по 2020 гг. с дискретностью в 1 час с учетом ледовой обстановки.

Основные черты климатического волнения Азовского моря:

- максимальное волнение развивается в центральной, относительно глубоководной, части моря. В этом регионе средние значения значительных высот ветровых волн составляют 0.70-0.75 м, волн зыби – в два раза меньше и не превышают 0.30 м;
- ветровое волнение преобладает над зыбью по высотам волн – в 2-2.5 раза, по мощности – в 5-10 раз;
- выявлена особенность: в восточной части моря, а также на севере в районе Бердянска и Мариуполя, доминирование ветровых волн не так заметно, как в заливах, со слабо развитой зыбью, или центральной части моря – всего в полтора раза высоты ветровых волн превышают высоты зыби.

V. Результаты: линейные тренды в межгодовых колебаниях параметров ветровых волн и зыби Азовского моря



Оценка линейных трендов в межгодовых колебаниях среднегодовых значений значительных высот и мощностей ветровых волн (а, в) и зыби (б, д) за период с 1979 по 2020 гг.

Основные выводы по результатам:

1. За последние четыре десятилетия несколько уменьшились высоты ветровых волн и зыби в центральной части моря и возросли в западной, что связано, скорее всего, с увеличением повторяемости ветров восточных направлений в Азово-Черноморском бассейне.
2. Более очевидны тенденции уменьшения в центральной части и роста в западной для мощностей ветрового волнения и зыби. Уменьшение мощности компонент поверхностного волнения в восточной части Азовского моря можно признать статистически достоверным..

По результатам моделирования выполнен анализ возможных трендов в колебаниях среднегодовых значительных высот и мощностей ветрового волнения и зыби для акватории Азовского моря.

Основные черты климатических изменений параметров волнения Азовского моря:

- за последние 42 года несколько уменьшились высоты ветровых волн и зыби в центральной части моря и возросли в западной;
- с определенной уверенностью можно утверждать об уменьшении высот волн зыби в Таганрогском заливе;
- для мощностей ветрового волнения и зыби указанные выше тенденции более очевидны.

VI Основные результаты

1. Выявлен ряд аномалий в процессе формирования холодного промежуточного слоя (ХПС) склоновой шельфовой зоны Черного моря. Одной из аномалий стал полный размыв ХПС к началу апреля 2021 г. – температура равномерно понижалась с глубиной примерно до редокс-слоя. Инверсия температуры, характерная для ХПС, отсутствовала. Причинами выявленного феномена, по нашему мнению, стали: 1) активные локальные процессы зимнего конвективного перемешивания, связанные с длительными периодами затора холодных воздушных масс над акваторией района исследований; 2) слабое обновление ХПС и, как следствие, уменьшение вертикальных градиентов температуры в слое в предшествующие теплые зимы..
2. По данным измерений кластера термокос, размещаемых на глубинах 24-28 м, установлено, что одним из факторов, вызывающих сильную короткопериодную изменчивость температурной стратификации в весеннее и раннелетнее время (апрель – июнь) являются цуги внутренних волн (ВВ). Выявлена связь фазовой скорости ВВ с параметрами температурной стратификации и глубины моря, а также с параметрами нелинейности волн. С увеличением параметра нелинейности, фазовая скорость распространения ВВ уменьшается. Данный факт нуждается в физическом объяснении.
3. Выявлены тренды в климатическом изменении температуре и солёности верхнего 150-метрового слоя Черного моря. В среднем рост солёности составлял около 0.05–0.06 PSU/год, температуры воды – 0.04⁰ С. Незначительные в абсолютном выражении рост температуры воды, ее солёности привели за последние 10 лет к существенной перестройке гидрологической структуры вод. Основными причинами указанных феноменов является потепление регионального климата, уменьшения осадков над акваторией моря, уменьшение речного стока..
4. Методами математического моделирования исследованы климатические (за период с 1979 по 2020 гг.) поля течений Азовского моря с учетом ледовой обстановки в зимние периоды. Выявлено, что в структуре климатических течений центральную и восточную части моря занимает обширное циклоническое образование, в западной части моря генеральное движение вод осуществляется в антициклоническом направлении..

VI Основные результаты

5. Обобщены исследования современного состояния абразионных и аккумулятивных берегов Черного моря на участке м. Панагия – р. Туапсе. Показано, что на исследуемом участке преобладают абразионные береговые процессы, наблюдается повсеместный дефицит пляжеобразующих наносов, единый вдольбереговой поток наносов отсутствует. В указанных условиях возможны локальные методы берегозащиты.
6. При формировании Витязевской пересыпи существенную роль играли процессы аккумуляции наносов, поступавших с северо-западным вдольбереговым потоком наносов. Флуктуации мощности этого потока и постепенный разворот линии морского берега обусловили формирование специфических форм рельефа, реликты которых в виде песчаных гряд пересекают прилиманное понижение, разделяя его на отдельные «бассейны». Наличие этих гряд определяет возникновение контрастных аквальных и дюнных ландшафтов: периодически затапливаемые низины с осоково-тростниковыми зарослями чередуются с сухими песчаными возвышениями, освоенными травянисто-кустарниковой растительностью, в привершинной части сменяющимися развеваемыми песками.
7. В 2021 году зафиксировано усиление тенденций межгодовой изменчивости основных биогенных элементов, наблюдавшихся в 2020 году, а именно снижение величин содержания кремния и азота, на фоне увеличения запасов фосфора. Таким образом, достаточно редкая ситуация в гидрохимическом режиме вод Черного моря, когда минеральный фосфор перестает быть основным элементом лимитирующим процессы развития биологических сообществ, наблюдается второй год подряд. В результате данной изменчивости содержания фосфора, азота и кремния, в течение 2021 года, установились такие стехиометрические соотношения между ними, что среди трех основных биогенных элементов, в разное время, в роли лимитирующего фактора мог выступать любой из параметров или оказывать совместное ограничивающее действие на процессы развития фотосинтеза.

VI Основные результаты

8. По результатам мониторинга в 2021 г выявлены отклонения от закономерности динамики фитопланктона в прибрежной экосистеме Черного моря: развитие мелких диатомей пролонгировалось до апреля, развитие кокколитофориды в конце весны и начале лета не достигало уровня цветения, а в июне динофлагелляты были доминантами и определяли биомассу фитопланктона.
9. Результаты экспериментов на численной модели показали, что усиление ветровой нагрузки и заглубление сезонного термоклина приводит к замене летнего фитопланктона с доминирования крупных диатомовых водорослей на мелкие диатомеи (доминанты весеннего цветения).
10. Природные причины климатических аномалий связаны, в том числе, с колебаниями и смещениями твердого ядра Земли, которые приводят к геодинамическим и тектоническим изменениям оболочек Земли, определяющих активность всех природных процессов планетарного масштаба. Расчеты позволили определить частоту значимых вибраций твердого ядра на годовом интервале: $8.7 \cdot 10^{-7}$ Гц.