

Н.Н.Дьяков, Т.Ю.Тимошенко, А.А.Белогудов

*Севастопольское отделение Государственного океанографического института
им.Н.Н.Зубова, г.Севастополь*

ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Представлены результаты исследования ледовых условий Азовского и Черного морей на основе анализа рядов данных многолетних (прибрежных, авиационных и спутниковых) ледовых наблюдений. Выполнен статистический анализ характерных показателей ледового режима у берегов северо-западной части Черного и Азовского морей. Построены карты многолетнего распределения льда на акватории морей. Исследована реакция ледовых условий Азово-Черноморского бассейна на современные изменения климата. Рассмотрены связи ледовых характеристик с индексами атмосферной циркуляции Северного полушария.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ледовые условия, ледовитость, температура воздуха, региональные изменения климата, Азово-Черноморский бассейн.*

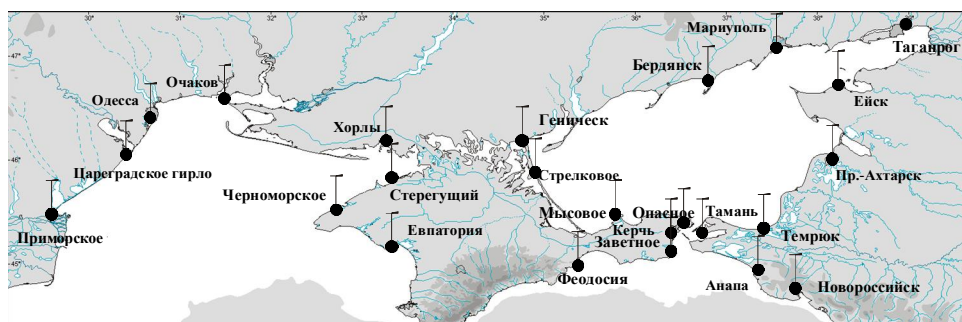
Образование льда в Азово-Черноморском бассейне регулярно отмечается в Азовском море и северных областях Черного моря (северо-западная часть, Керченский пролив и Прикерченский шельф) [1 – 3].

В холодный период года ледовые условия в Азовском море, Керченском проливе, а в суровые зимы и в северо-западной части Черного моря (СЗЧ) влияют на безопасность морского сообщения, затрудняют добычу углеводородов на шельфе морей, осложняют строительство и эксплуатацию гидротехнических сооружений. С учетом современных изменений климата задача исследования изменений ледовых условий Азово-Черноморского бассейна в современный период остается, несомненно, актуальной.

Морское отделение Украинского гидрометеорологического института на протяжении длительного периода проводит исследования изменений ледовых условий Азовского и Черного морей. Результаты изучения ледового режима морей в морском отделении обобщены в ряде монографий [4 – 7], атласе [8], статьях [9, 10]. Из последних работ других авторов можно выделить описание ледовых условий Азовского моря и Керченского пролива в [11], а также статьи [12 – 15].

Основными задачами данной работы являются: выявление общих закономерностей ледового режима Азово-Черноморского бассейна, анализ изменений ледовых условий морей вследствие региональных проявлений глобальных климатических изменений, исследование статистических связей ледовых характеристик с индексами атмосферной циркуляции, характеризующими изменчивость климатических процессов в Атлантико-Европейском регионе.

Материалы и методы обработки. В качестве информационной основы исследования ледовых условий в прибрежной зоне Азовского и Черного морей были использованы данные регулярных наблюдений за ледовым покровом на 24 морских гидрометеостанциях (МГ) и постах (МГП), равномерно расположенных вдоль Азовского и северного побережья Черного морей



Р и с . 1 . Прибрежные пункты ледовых наблюдений в Азовском и Черном морях.

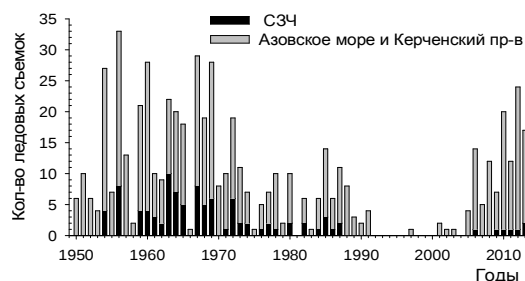
(включая Керченский пролив). Схема расположения пунктов приведена на рис.1, периоды и условия наблюдений на них даны в [6, 7]. Выбранные станции и посты имеют наиболее длительные ряды наблюдений (от 65 ледовых сезонов на МГП Приморское до 110 в Геническе). Наблюдения за ледовыми условиями на всех пунктах продолжаются и в настоящее время.

На основе собранной информации были получены статистические характеристики ледовых условий прибрежной зоны Азово-Черноморского бассейна в зависимости от типа зим и за различные периоды. Климатические оценки изменения ледовых характеристик на прибрежных пунктах были получены путем расчетов и сравнения линейных трендов по синхронным рядам наиболее продолжительных наблюдений.

Общей характерной особенностью ледового режима Азовского и Черного морей является связь их ледовитости (площади моря занятой льдом с учетом его густоты) с суммой отрицательных среднесуточных температур воздуха над морем за ледовый сезон. Коэффициент корреляции составляет величину 0,92 для СЗЧ [3, 7] и 0,76 – для Азовского моря. Такие зависимости объясняются малой площадью ледообразования и однородными термическими условиями Азово-Черноморского региона. В связи с этим зимы на Азовском и Черном морях принято подразделять, согласно классификации [16, 17], на три типа: мягкие – сумма отрицательных среднесуточных температур до -200°C , умеренные – в пределах от -200 до -400°C и суровые (от -400°C).

Для расчета суровости зим Азовского моря, Керченского пролива и Прикерченского шельфа Черного моря сумма градусо-дней мороза рассчитывалась за период с октября по апрель как среднее из наблюдений следующих станций – Керчь, Геническ, Таганрог и Приморско-Ахтарск [4]. За период после 1991 г. расчет выполнялся по данным МГ Опасное, Геническ и Мариуполь [6]. Для СЗЧ критерии деления зим по типам были приняты аналогично Азовскому морю, но расчет градусо-дней мороза производился по данным следующих МГ – Одесса, Очаков и пункт расположенный в Каркинитском заливе (Хорлы, Скадовск или Черноморское).

Ледовый режим открытых районов Азовского и Черного морей оценивался по массиву ледовых авиационных наблюдений, выполненных Керченским авиаотрядом в 1947 – 1991 гг. Были отобраны и оцифрованы (на сетке $3'$ по меридиану и $5'$ по параллели) наиболее информативные ледовые авиаразведки. Всего было использовано 92 карты ледовых авиаразведок для СЗЧ и 372 карты для Азовского моря и Керченского пролива (рис.2). Информация



Р и с . 2 . Распределение по годам съемок ледового покрова СЗЧ, Азовского моря и Керченского пролива.

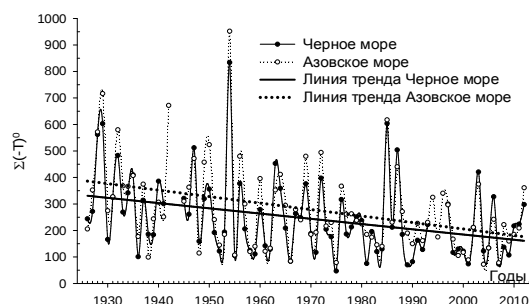
ледовых разведок дополнена массивом геокодированных изображений ледовой обстановки с искусственных спутников Земли, обработанных ГУ НИЦ «Планета»

(120 карт-схем ледовой обстановки в Азово-Черноморском бассейне за 1997 – 2013 гг.). Как правило, авиаразведки проводились подекадно каждый месяц над акваторией СЗЧ, Азовского моря и Керченского пролива. В конце ледового сезона (март – апрель) наблюдения проводились чаще, в начале и середине сезона – несколько реже. Частота авиаразведок зависела также от ледовой обстановки на морях. В мягкие зимы число съемок в Азово-Черноморском бассейне, как правило, не превышало 7 – 10, в годы со сложными ледовыми условиями съемки выполнялись чаще до 27 – 33 раз в год. В результате обработки данных съемок были построены среднееголетние и среднемесечные карты пространственного распределения припая и льда различной сплоченности в зависимости от типа зим и за различные периоды, а также рассчитана ледовитость Азовского моря и Керченского пролива за 1950 – 2013 гг.

Ледовый режим Азовского и Черного морей. Общими факторами, способствующими образованию и развитию льда на акваториях Азовского моря и СЗЧ, являются небольшие значения солености и теплозапаса этих морей, обусловленные выносом речных вод и наличием мелководных заливов и лиманов, а также атмосферные процессы, связанные с преобладанием меридиональной циркуляции и переносом холодного воздуха из северных областей Евразии [4, 5]. Усиление зональной циркуляции атмосферы над Западной Европой, ветровое волнение препятствуют развитию льда и приводят к значительной изменчивости ледовых условий в Азово-Черноморском бассейне и значительным колебаниям ледовитости морей. В целом, Азовское море и СЗЧ в зимний период находятся в достаточно схожих погодных условиях. Заметно, что кривые многолетнего хода рассчитанных сумм отрицательных среднесуточных температур воздуха для обоих регионов достаточно близки между собой (рис.3). Тем не менее, ледовый покров СЗЧ по сравнению с Азовским морем менее устойчив, вследствие регулярных адвекций относительно теплой воды открытого Черного моря в его северо-западную часть. Статистические характеристики ледовых условий прибрежной зоны Азово-Черноморского бассейна в зависимости от суровости зимы представлены в табл.1.

На основании рассчитанных характеристик ледовых условий можно представить следующую среднееголетнюю картину рас-

Р и с . 3 . Многолетняя изменчивость суммы отрицательных температур воздуха ($\Sigma(-T)^\circ$).



пределения и развития льда на Азовском и Черном морях. Первое ледообразование в прибрежной части Азовского моря происходит в северо-восточной части Таганрогского залива в конце ноября. В первой-второй декадах декабря процесс ледообразования распространяется с восточной части Таганрогского залива на его западные и южные районы. В СЗЧ в этот период лед появляется в распресненных Днестровском и Днепро-Бугском лиманах. Во второй и третьей декадах декабря образование льда происходит в Азовском море – вдоль северного и западного побережий, а в СЗЧ – в районе Очакова и в восточной части Каркинитского залива (МГ Хорлы, МГП Стерегущий). На западном побережье СЗЧ (МГП Приморское), в Одесском и юге Каркинитского заливов (МГ Черноморское), а также в южных районах Азовского моря и Керченском проливе, лед местного происхождения или приносной появляется значительно позже, примерно, в середине января.

Диапазон дат первого появления льда в Азово-Черноморском регионе достаточно велик и зависит от суровости зимы. В целом, среднемноголетние сроки появления льда близки времени ледообразования в умеренную зиму (табл.1 – 2). В суровые зимы лед на большинстве прибрежных пунктов Азовского и Черного морей появляется в среднем на 1 – 2 недели раньше.

В мягкие зимы процесс ледообразования может отодвинуться на неделю. Нередко в такие зимы в южной части Азовского моря, Керченском проливе, СЗЧ лед во время ледового сезона может не появляться совсем или наблюдаются первичные формы льда, которые не препятствуют судоходству. Неподвижный лед (припай) преимущественно наблюдается в северной части Азовского моря (Бердянском заливе, Утлюкском лимане) и Таганрогском заливе. Наибольшая толщина припая (39 см) наблюдалась в Таганрогском заливе. Ледовитость Азовского моря с конца декабря по первую декаду марта в среднем составляет 5,3 – 13,2 тыс. км². Средняя месячная площадь занятая припаем максимальна к концу января (2,8 тыс. км²), а в остальные месяцы она как правило не превышает 0,6 – 1,7 тыс. км². В СЗЧ припай появляется в заливах и лиманах (Днестровском, Днепро-Бугском), иногда на несколько дней на побережье между Одессой и Очаковым, но толщина припая не превышает 10 см [4]. Характерной особенностью мягких зим на Азовском и Черном морях является неоднократное появление и исчезновение льда во время ледового сезона.

На рис.4 – 5 приведены карты вероятности наличия припая и льда разной сплоченности за декабрь, январь, февраль и март, позволяющие анализировать динамику основных характеристик ледового покрова Азовского моря и СЗЧ в умеренные и суровые зимы.

В умеренные зимы в СЗЧ в декабре появляются первичные формы льда, а в январе – феврале преобладает плавучий крупно и мелкобитый белый, серо-белый лед густотой 3 – 8 баллов. Плавучий лед может распространяться достаточно далеко (40 – 50 миль от берега) [7]. Средняя месячная ледовитость СЗЧ за период 1928 – 1985 гг. по данным [4] в умеренные зимы составляет 2,8 тыс. км², феврале – 4,3 тыс. км² и марте – 1,4 тыс. км². Припай в лиманах СЗЧ держится 1 – 4 месяца, и его толщина может достигать 45 см. На подходах к Одессе и Очакову припай наблюдается непродолжительное время (менее двух декад), толщина припайного льда не превышает 20 – 30 см.

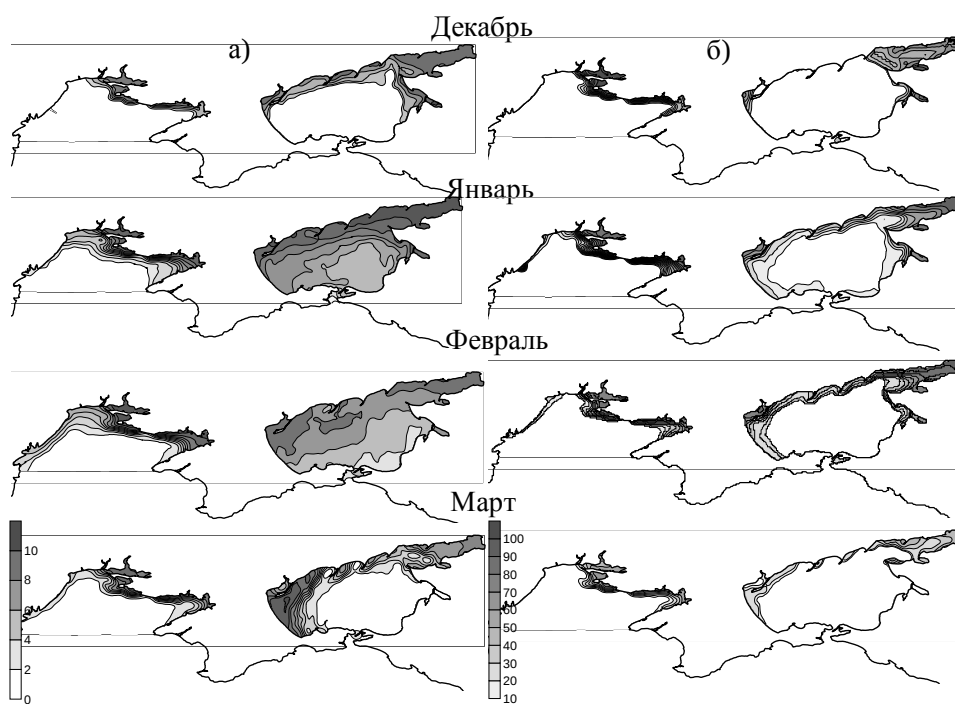
Т а б л и ц а 1. Характерные показатели ледового режима Азово-Черноморского бассейна по степени суровости зим за весь период наблюдений в суровые (1), умеренные (2) и мягкие (3) зимы.

пункт	первое ледообразование			окончательное очищение			продолжительность ледового периода (сут)			число дней со льдом в ледовый период (сут)			максимальная толщина льда (см)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Черное море															
Приморское	26.12	18.01	18.01	23.03	21.02	04.02	88	34	17	71	23	7	51	51	-
Очаков (море)	14.12	19.12	01.01	23.03	13.03	26.02	99	84	57	95	64	33	20	24	15
Одесса (залив)	29.12	14.01	21.01	19.03	23.02	15.02	80	40	25	65	25	11	60	60	18
Хорлы	03.12	11.12	26.12	25.03	08.03	22.02	112	86	58	102	66	27	56	43	20
Стерегуций	09.12	17.12	29.12	23.03	03.03	21.02	104	76	54	76	50	20	54	42	19
Черноморское	02.01	13.01	29.01	07.03	18.02	10.02	64	36	12	51	20	12	48	50	20
Керченский пролив															
Опасное	30.12	08.01	31.01	31.03	08.03	15.02	91	59	15	82	59	15	70	40	31
Керчь	22.12	07.01	26.01	28.03	04.03	18.02	96	56	24	69	35	9	44	38	37
Заветное	10.01	17.01	*	16.03	20.02	*	66	34	*	40	17	*	50	28	23
Азовское море															
Мысовое	28.12	11.01	31.01	06.04	23.03	27.02	99	71	28	91	55	8	56	35	13
Стрелковое	10.12	25.12	09.01	16.04	05.04	02.03	127	100	52	109	87	30	90	48	26
Геническ	28.11	11.12	13.12	11.04	01.04	10.03	133	110	87	121	94	51	64	42	22
Бердянск	12.12	16.12	31.12	07.04	19.03	03.03	116	94	62	106	81	40	54	47	22
Мариуполь	06.12	13.12	21.12	03.04	22.03	09.03	118	99	79	114	90	55	70	80	39

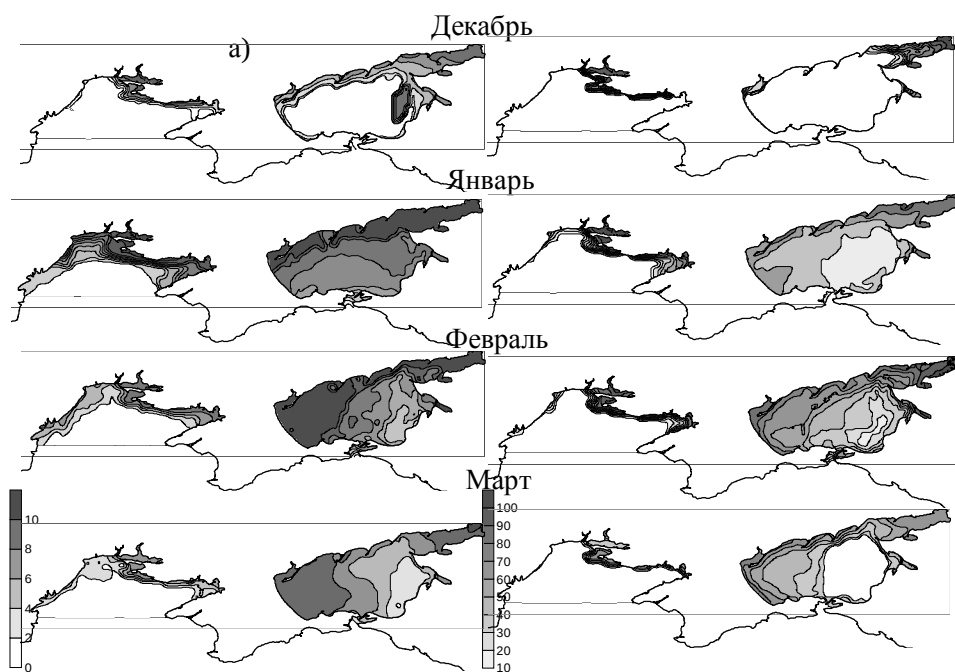
Примечание: * – средние даты не рассчитываются, если явления наблюдались менее 10 раз.

Т а б л и ц а 2. Средние даты первого ледообразования (1), полного очищения ото льда (2), среднее число дней со льдом (3), продолжительность ледового периода в сутках (4) в Азово-Черноморском бассейне.

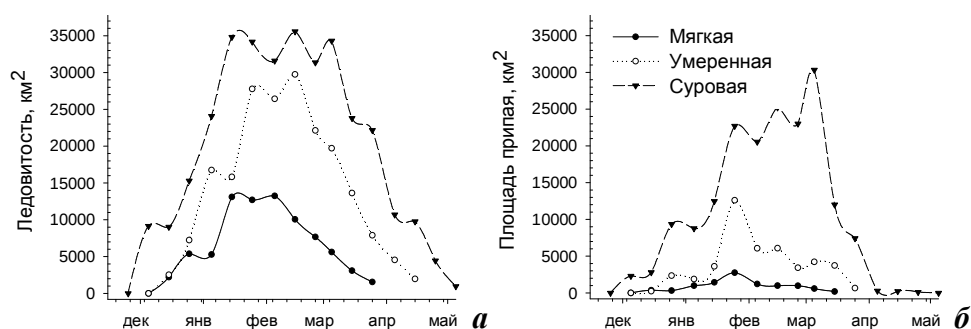
пункт	период	до 1964 г.				до 1976 г.				до 2012 г.				1977 – 2012 гг.			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Черное море																	
Приморское	1945-2012	06.01	24.02	26	49	09.01	19.02	26	40	16.01	17.02	23	32	24.01	16.02	19	23
Очаков (море)	1925-2012	19.12	16.03	65	87	23.12	14.03	61	80	25.12	08.03	52	73	27.12	28.02	41	63
Одесса (залив)	1922-2012	09.01	28.02	33	49	11.01	27.02	31	47	13.01	25.02	28	43	18.01	20.02	22	33
Хорлы	1925-2012	06.12	12.03	68	96	11.12	09.03	61	88	19.12	03.03	50	74	31.12	21.02	34	52
Стерегущий	1932-2012	22.12	07.03	40	75	22.12	03.03	41	71	22.12	28.02	37	68	23.12	24.02	33	63
Черноморское	1927-2012	01.01	16.02	16	46	08.01	20.02	30	43	14.01	20.02	25	37	24.01	20.02	17	27
Керченский пролив																	
Опасное	1944-2012	06.01	15.03	58	68	11.01	10.03	50	58	14.01	06.03	41	51	16.01	01.03	34	45
Керчь	1924-2012	03.01	13.03	44	68	05.01	10.03	41	64	08.01	05.03	35	56	13.01	25.02	25	43
Заветное	1950-2012	12.01	10.03	27	58	15.01	06.03	27	51	18.01	27.02	21	40	05.02	21.02	16	16
Азовское море																	
Мысовое	1926-2012	09.01	25.03	58	76	10.01	24.03	53	74	13.01	21.03	43	68	17.01	15.03	29	58
Стрелковое	1931-2012	21.12	29.03	75	98	24.12	31.03	74	96	29.12	24.03	67	85	04.01	16.03	59	71
Геническ	1893-2012	12.12	25.03	86	103	13.12	25.03	85	102	12.12	24.03	82	102	09.12	20.03	74	101
Бердянск	1923-2012	15.12	22.03	82	97	18.12	20.03	77	92	21.12	16.03	70	85	24.12	10.03	60	76
Мариуполь	1924-2012	09.12	26.03	95	107	13.12	23.03	89	100	15.12	19.03	81	94	18.12	14.03	70	86



Р и с . 4 . Сплоченность льда в баллах (а) и вероятность встречи припая (б) в Азово-Черноморском бассейне в умеренную зиму.



Р и с . 5 . Сплоченность льда в баллах (а) и вероятность встречи припая (б) в Азово-Черноморском бассейне в суровую зиму.



Р и с . 6 . Осредненная подекадно ледовитость (а) и площадь припая (б) в Азовском море за 1950 – 2013 гг.

В Азовском море с конца января до середины марта преобладают очень сплоченные и сплошные ледовые поля (7 – 10 баллов). Таганрогский залив и прибрежные районы северной части моря, как правило, покрыты припайным льдом толщиной 42 – 80 см. В январе наименее ледовита южная часть Азовского моря и Керченский пролив, в феврале-марте в результате ветрового перераспределения льда – восточные и юго-восточные районы моря. Средняя месячная ледовитость Азовского моря в умеренные зимы рассчитанная за период 1950 – 2013 гг. составляет в декабре 3,3 тыс. км², январе 20,1 тыс. км², феврале 26,1 тыс. км², марте 13,7 тыс. км² и апреле 2,2 тыс. км² (рис.6). Площадь моря занятая припаем в январе – марте умеренных зим, как правило, не превышает 2,9 – 6,1 тыс. км².

Основные закономерности распределения льда в суровые зимы в Азовском море аналогичны умеренным зимам, только существенно возрастает ледовитость моря, прежде всего, за счет увеличения площади припайного льда. Среднепогодная ледовитость Азовского моря в суровые зимы в январе-марте составляет 26,8 – 32,8 тыс. км². Площадь моря, занятая припаем толщиной 44 – 90 см, в среднем возрастает от 14,7 тыс. км² в январе до 30,3 тыс. км² (82 % от общей площади моря) к началу марта. Полностью замерзло (покрывалось припаем) Азовское море на значительный срок (месяц и более) только в экстремально суровые зимы (1928 – 1929, 1953 – 1954, 1971 – 1972 гг.). Наиболее сложная ледовая обстановка в суровые и умеренные зимы отмечается с конца января до середины марта в западных и юго-западных районах моря, а также у входа в Керченский пролив, где обычны поля сильно торосистого льда.

В СЗЧ в суровые зимы наибольшая ледовитость отмечается в январе – феврале (7,0 – 16,0 тыс. км²), возрастая в экстремально суровые зимы до 19,0 тыс. км² (февраль 1954 г.). Как правило, за полосой припая (5 – 10 миль) вдоль побережья СЗЧ наблюдается очень сплоченный битый серый и серо-белый лед, а также обширные ледовые поля этих форм льда (рис.5 – 6). Максимальная толщина ледовых полей в открытых районах моря составляет 20 – 30 см и может достигать 50 см и более за счет подсонов и смерзания льда [7]. В лиманах и Джарылгачском заливе толщина припайного льда составляет 50 – 71 см. Максимальное распространение припайного льда по данным [7, 19] может превышать границы СЗЧ и наблюдаться южнее Констанцы (Румыния), иногда достигая болгарских берегов и Босфора (суровая зима

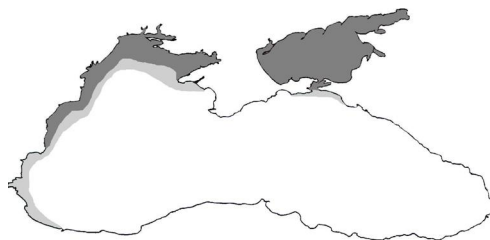


Рис. 7. Максимальное распространение припая (черный цвет) и дрейфующего льда (серый цвет).

1928 – 1929 гг.) (рис.7). Средний период ледового плавания судов в районе открытого моря вблизи Очакова составляет 70 суток, из них около месяца необходима проводка судов. В Азовском море в течение января – марта плавание без ледоколов не возможно.

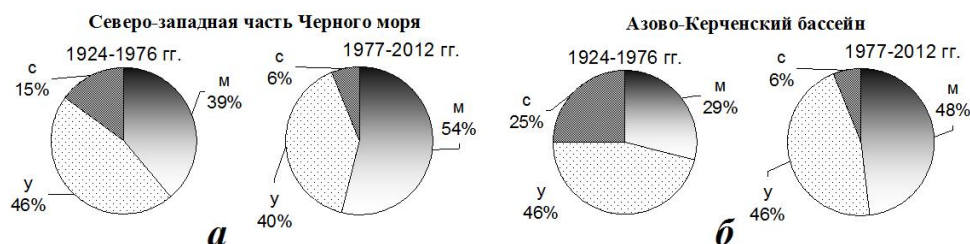
Очищения моря ото льда в суровые зимы в СЗЧ и Керченском проливе происходит к концу марта,

началу апреля. В Азовском море окончательное очищение моря ото льда зависит от районов моря. Первыми очищаются Керченский пролив и Темрюкский залив (конец марта), затем к середине апреля Таганрогский и Казантипский заливы. В районах скопления льдов, дрейфующих под действием ветра (Арабатская стрелка), таяние льда затягивается до конца апреля – начала мая. В умеренные зимы очищение ото льда СЗЧ и Керченского пролива происходит в конце февраля – начале марта, а Азовского моря в первой декаде апреля. В мягкие зимы СЗЧ и южные районы Азовского моря в среднем, очищаются ото льда в первую и вторую декады февраля. Очищение на севере и западе Азовского моря осуществляется в первую – вторую декады марта.

Климатические изменения ледовых условий. Оценки вековых изменений температуры воздуха в Азово-Черноморском регионе выполненные в [6, 7, 20], выявили на большинстве прибрежных пунктов значимые положительные многолетние линейные тренды, причем основной вклад вносит потепление в зимний и весенний сезоны. Для побережья Черного моря наибольшие значимые величины трендов характерны для января и составили для СЗЧ (Очаков) $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ лет}$, для Прикерченского района (Новороссийск, Феодосия) соответственно $1,3$ и $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ лет}$. Положительные тренды температуры воздуха на Черноморском побережье преобладают и в остальные месяцы зимнего и весеннего сезонов. Так, значимые тренды в феврале ($1,8\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ лет}$) и марте ($1,5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ лет}$) за 1894 – 2011 гг. выявлены в Одессе [7]. За период 1923 – 2006 гг., по оценкам [22], в СЗЧ произошло повышение среднемесячных температур воды в январе-марте на $0,1 - 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$.

Повышение температуры воздуха и воды в холодный период года (февраль – март) за период 1923 – 2011 гг. характерно для побережья Азовского моря и Керченского пролива. Температура воздуха в эти месяцы имела значимую тенденцию к потеплению с величинами угловых коэффициентов линейных трендов $0,30 - 0,44\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Повышение температуры воды составило для северного побережья Азовского моря от $0,20\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ в Мариуполе и Геническе до $0,23\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ в Бердянске; в южных районах моря и Керченском проливе – от $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ в Мысовом до $0,37\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ на МГ Опасное.

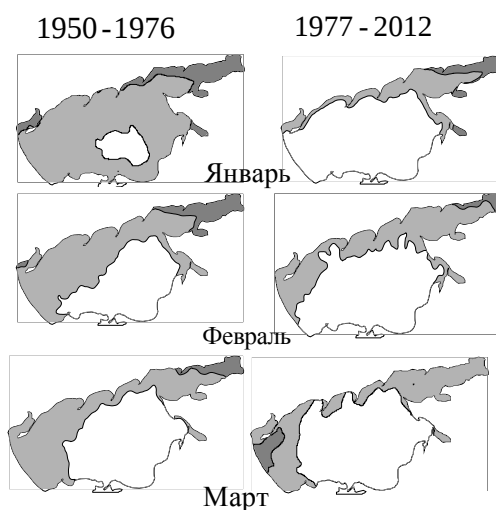
Сумма градусо-дней мороза для СЗЧ, акватории Азовского моря и Керченского пролива за период 1924 – 2012 гг. имеет тенденцию к уменьшению, рис.3. Значимые на 99 %-ном уровне отрицательные тренды суммы градусо-дней мороза составили для СЗЧ ($-3,4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), для Азовского моря и Керченского пролива ($-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$).



Р и с . 8 . Повторяемость различных типов зим (с – суровая, у – умеренная, м – мягкая зимы) по периодам в северо-западной части Черного моря (а) и Азово-Керченском бассейне (б).

Потепление в зимний сезон, связанное с глобальными климатическими изменениями, привело к существенному изменению ледового режима Азово-Черноморского региона. Повторяемость суровых зим в СЗЧ за период с ледового сезона 1925/26 гг. по сезон 1976/77 гг. составила 15 %, умеренных – 46 % и мягких – 39 % (рис.8). За последние десятилетия (с ледового сезона 1977/78 по 2011/12 гг.), после климатического сдвига 1977/78 гг. [21], повторяемость мягких зим заметно увеличилась (до 54 %), при уменьшении повторяемости суровых (до 6 %) и умеренных (до 40 %) зим [7]. Схожие изменения характерны для Азовского моря и Керченского пролива, где за период 1977 – 2012 гг. по сравнению с 1924 – 1976 гг., повторяемость суровых зим уменьшилась в 4 раза (с 25 до 6 %), а мягкие зимы стали наблюдаться почти в 1,7 раза чаще (повторяемость таких зим увеличилась с 29 до 48 %). Среднемесячная ледовитость Азовского моря за период 1977 – 2012 гг. по сравнению с 1950 – 1976 гг. наиболее существенно уменьшилась в январе – на 6,9 тыс. км² (рис.9). В феврале – марте за последние 35 лет по сравнению с предшествующим периодом ледовитость Азовского моря сократилась соответственно на 1,7 и 2,9 тыс. км². Кроме ледовитости за 1977 – 2012 гг., по сравнению с периодом 1924 – 1976 гг. в Азовском море существенно сократилась площадь акватории, занятая припаем (от 9,6 тыс. км² в январе до 4,4 – 5,0 тыс. км² в феврале – марте).

Сравнение характерных показателей ледового режима в прибрежной



зоне СЗЧ и Азовского моря за современный период (1977 – 2012 гг.) с предшествующим многолетним периодом (до 1976 г.) свидетельствует о том, что сроки первого появления льда практически не изменились лишь в районах постоянного его образования – в мелководных лиманах, бухтах, заливах СЗЧ и Азовского моря. На остальном побережье Азово-Черноморского

Р и с . 9 . Среднемноголетнее распределение припая (черный цвет) и дрейфующего льда (серый цвет) в Азовском море за различные периоды.

бассейна лед стал появляться позже на 5 – 8 дней. В южных районах СЗЧ и Керченского пролива, примыкающих к открытому морю, сроки первого появления льда отодвинулись на 2 – 3 недели.

Очищение моря ото льда на побережье Азово-Черноморского региона за последние 35 лет происходит в среднем на 1 – 2 недели раньше, чем за предшествующий многолетний период. Сокращение продолжительности ледового периода для станций побережья открытого моря СЗЧ составило от 14 (Одесса) до 17 суток (Приморское, Очаков). В Каркинитском заливе ледовый период сократился от 8 – 16 дней (Стерегущий, Черноморское) до 36 суток (Хорлы). В лиманах СЗЧ сокращение ледового периода составило от 10 – 13 (Станислав, Белгород-Днестровский) до 21 дня (Парутино). В Керченском проливе ледовый период сократился от 13 суток в северной части пролива (МГ Опасное) до 35 дней в его южной части (МГП Заветное). Продолжительность ледового периода в Азовском море и Таганрогском заливе сократилась на 2 – 3 недели.

Число дней со льдом за последние 35 лет уменьшилось от 7 – 9 дней в Днестровском и Днепровском лиманах, западном побережье СЗЧ до 11 – 20 дней на северном побережье СЗЧ, в Евпаторийском заливе, Бугском лимане, Азовском море и Керченском проливе [6]. Наибольшая величина сокращения числа дней со льдом в СЗЧ (27 суток) характерна для восточной части Каркинитского залива (МГ Хорлы), а в Азовском море – в Арабатском (МГ Мысовое, 24 дня) и Таганрогском заливах (МГ Мариуполь, 19 суток).

На большинстве пунктов побережья Черного и Азовского морей за весь период ледовых наблюдений выявлены значимые отрицательные линейные тренды в количестве дней со льдом и продолжительности ледового периода. Тенденция уменьшения числа дней со льдом за период 1925 – 2012 гг. в СЗЧ составила от – 4,0 – – 4,7 суток/10 лет в Одессе, Очакове до – 7,1 суток/10 лет в Хорлах. В Азовском море и Керченском проливе число дней со льдом сокращалось с величинами угловых коэффициентов трендов от – 3,6 – – 4,6 суток/10 лет в Геническе, Керчи, Бердянске до – 4,9 – – 5,9 суток/10 лет в Мариуполе и Мысовом (табл.3).

Продолжительность ледового сезона по данным наблюдений на прибрежных гидрометеостанциях СЗЧ за последние 80 лет сокращалась с угловыми коэффициентами трендов от – 5,2 суток/10 лет (Одесса, Очаков) до – 8,6 суток/10 лет (Хорлы). На МГ Азовского моря и Керченского пролива величины тенденций сокращения ледового сезона составили от – 3,0 – – 4,5 суток/10 лет для северного побережья моря (Геническ, Мариуполь, Бердянск) до – 6,0 – – 6,3 суток/10 лет для южных районов Азовского моря (Мысовое) и Керченского пролива (Керчь).

Связи ледовых характеристик Азово-Черноморского бассейна с индексами атмосферной циркуляции Северного Полушария. В связи с тем, что на характер зим в Азово-Черноморском регионе влияют особенности в атмосферной циркуляции в Северной Атлантике и Европе, то существуют достаточно тесные зависимости между ледовыми условиями Азово-Черноморского бассейна и климатическими индексами, отражающими крупномасштабные процессы в системе океан-атмосфера [12 – 14]. Статистический анализ таких связей отдельных ледовых показателей ранее вы-

полнялся для прибрежных МГ Азовского в [12, 15] и Черного моря в [7]. Представляет научный интерес рассмотреть подобные связи в комплексе для всего Азово-Черноморского бассейна, предварительно определив, какие ледовые показатели в лучшей степени характеризуют ледовый режим как прибрежных, так и открытых районов морей.

Результаты исследования статистических связей ледовых характеристик Азовского и Черноморского бассейна с индексами атмосферной циркуляции, характеризующими изменчивость климатических процессов в Атлантико-Европейском регионе и соответственно погодные условия на Черном и Азовском морях в холодный период года, приведены в табл.4.

Климат Европы во многом определяется количеством, траекториями и интенсивностью атлантических циклонов, что подтверждается выявленной значимой обратной зависимостью между изменениями суммы отрицательных температур воздуха и ледовых условий Азово-Черноморского бассейна и индексом Северо-Атлантического колебания (САК, английская аббревиатура NAO). При положительной фазе САК траектории переноса воздушных масс и циклонов с Северной Атлантики проходят над Северной Европой, а над южными районами Европы, Средиземного и Черного морей преобладает антициклоническая погода. В таком случае в Азовском море [12], СЗЧ и Керченском проливе [7] отмечаются положительные аномалии температуры воздуха и, соответственно, уменьшение ледовитости моря.

На большинстве пунктов СЗЧ, Керченского пролива, Азовского моря выявлены статистически значимые отрицательные величины коэффициентов корреляции за 1950 – 2012 гг. между изменениями значений зимнего индекса САК [23] и ледовыми характеристиками (числом дней со льдом, толщиной льда).

Наибольшие коэффициенты корреляции получены для СЗЧ на МГ Хорлы ($r = -0,30$) и Очаков ($r = -0,38$), в Керченском проливе на МГ Опасное ($r = -0,30$), на Азовском побережье в Мариуполе ($r = -0,33$) (рис.10). Выявлены значимые обратные связи между зимним индексом САК и суммой среднесуточных отрицательных температур воздуха СЗЧ ($r = -0,27$), максимальной ледовитостью Азовского моря ($r = -0,43$) и Керченского пролива ($r = -0,27$). Схожие отрицательные корреляционные связи между индексом САК и ледовыми условиями на побережье Азовского моря были получены в [12].

Индекс Восточно-Атлантического колебания (ЕА) отражает изменчивость аномалий давления с центрами в районе Исландии, Великобритании и в восточной части тропической Атлантики. По данным [24] высокие значения индекса ЕА, связаны с изменениями траекторий циклонов и приводят к формированию аномально-теплых зим в Восточной Европе (после 1996 г.). Выявлены значимые коэффициенты корреляции зимнего индекса ЕА с суммой градусо-дней мороза ($r = -0,25$), максимальной ледовитостью ($r = -0,42$) и площадью припая в Азовском море ($r = -0,36$), а также числом дней со льдом на МГ Хорлы ($r = -0,31$) и Керчь ($r = -0,28$).

Зональная составляющая североатлантического колебания – индекс Евразийского колебания (*EATL/WRUS*) на ледовые условия Азово-Черноморского региона влияет незначительно. Для СЗЧ, Керченского пролива, Азовского моря между зимними индексами *EATL/WRUS* (декабрь – март) и ледовыми характеристиками значимых корреляций обнаружено не было.

Т а б л и ц а 3. Величины линейных трендов числа дней со льдом (сут/10 лет), продолжительности ледового сезона (сут/10 лет) и толщины льда (см/10 лет) на МГ Азово-Черноморского бассейна за 1925 – 2012 гг.

характеристика	Одесса	Очаков	Хорлы	Керчь	Мысовое	Геническ	Бердянск	Мариуполь
число дней со льдом	– 4,0	– 4,7	– 7,1	– 4,4	– 5,9	– 3,6	– 4,6	– 4,9
продолжительность ледового сезона	– 5,2	– 5,2	– 8,6	– 6,3	– 6,0	– 3,0	– 4,5	– 3,8
толщина льда	*	*	*	– 1,5	*	– 0,9	– 1,3	– 1,1

Примечание: Жирным шрифтом отмечены оценки тренда, значимые на 95 % уровне, * – толщина льда измеряется нерегулярно.

Т а б л и ц а 4. Коэффициенты корреляции между суммой среднесуточных температур воздуха СЗЧМ ($\Sigma(-T_{\text{ВЛ}})^{\circ}$), Азовского моря и Керченского пролива ($\Sigma(-T_{\text{Аз}})^{\circ}$), максимальной ледовитостью Азовского моря ($IC_{\text{Аз}}$, тыс. км²), максимальной площадью Азовского моря занятой припаем ($FI_{\text{Аз}}$, тыс. км²), числом дней со льдом (сут.), максимальной толщиной льда (см) на МГ Азово-Черноморского бассейна и зимними (с декабря по март) индексами атмосферной циркуляции за 1950 – 2012 гг.

индексы (ХII-III)	$\Sigma(-T_{\text{ВЛ}})^{\circ}$	$\Sigma(-T_{\text{Аз}})^{\circ}$	$IC_{\text{Аз}}$	$FI_{\text{Аз}}$	число дней со льдом					толщина льда (см)		
					Одесса	Хорлы	Геническ	Бердянск	Мариуполь	Геническ	Бердянск	Мариуполь
NAO	– 0,27	– 0,19	– 0,43	– 0,24	– 0,28	– 0,30	– 0,32	– 0,17	– 0,33	– 0,19	– 0,15	– 0,27
EATL/ WRUS	0,08	0,04	0,20	0,07	0,0	0,21	0,02	0,05	0,11	0,05	0,05	0,01
SCAND	0,22	0,27	0,49	0,33	0,30	0,37	0,50	0,33	0,43	0,50	0,43	0,59
EA	– 0,18	– 0,25	– 0,42	– 0,36	– 0,14	– 0,31	– 0,13	– 0,21	– 0,15	– 0,22	– 0,24	– 0,12

Примечание: Жирным шрифтом отмечены коэффициенты корреляции, значимые на 95 % уровне.

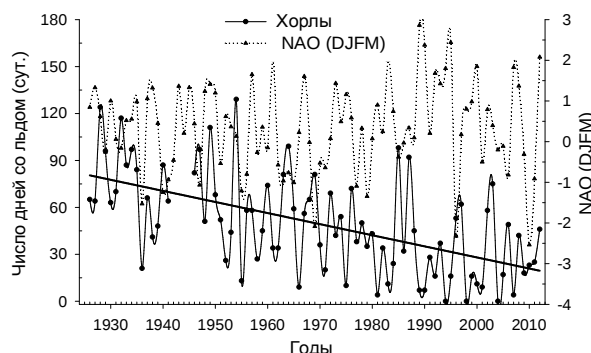


Рис. 10. Многолетние изменения числа дней со льдом в СЗЧ на МГ Хорлы (прямая линия – тренд) и зимнего индекса Северо-Атлантического колебания (NAO).

положительных значениях индекса SCAND происходит развитие блокирующих антициклонов над Скандинавским полуостровом, препятствующих западно-восточному переносу в тропосфере, и в Азово-Черноморский регион происходит заток холодных воздушных масс с Кольского полуострова и Баренцева моря. В результате формируются отрицательные аномалии температуры воздуха, и увеличивается ледовитость Азово-Черноморского бассейна.

Наибольшие положительные корреляции (0,33 – 0,50) характерны для всех основных ледовых показателей Азовского моря (максимальной площади льда, толщины припая и продолжительности ледового сезона), рис.11.

Выводы. В Азово-Черноморском бассейне ежегодное образование ледового покрова наблюдается в СЗЧ, Керченском проливе и Азовском море. Общей характерной особенностью ледового режима Азовского и Черного морей является тесная связь их ледовитости с суммой отрицательных среднесуточных температур воздуха над морем за ледовый сезон.

Потепление в зимний сезон, связанное с глобальными климатическими изменениями, привело к существенному изменению ледового режима Азово-Черноморского бассейна. За последние десятилетия (с ледового сезона 1977/78 по 2011/12 гг.) по сравнению с периодом 1924 – 1976 гг., повторяемость мягких зим заметно увеличилась (в СЗЧ с 39 до 54 %, в Азовском море с 29 до 48 %), при этом повторяемость суровых зим сократилась до 6 %. Среднемесячная ледовитость Азовского моря за период 1977 – 2012 гг. по сравнению с 1950 – 1976 гг. наиболее существенно уменьшилась в январе – на 6,9 тыс. км². В феврале – марте за последние 35 лет по сравнению с предшеству-

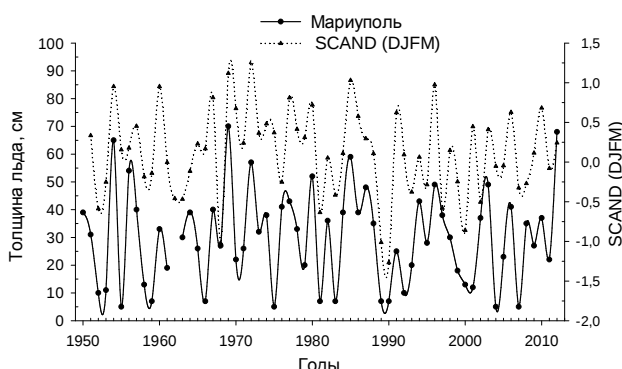


Рис. 11. Многолетние изменения толщины льда (см) в Азовском море на МГ Мариуполь и зимнего индекса Скандинавского колебания (SCAND).

Выявлены значимые положительные коэффициенты корреляции основных ледовых показателей (числа дней со льдом, толщины льда, ледовитости и площади занятой припаем) Азово-Черноморского бассейна со Скандинавским колебанием (SCAND), характеризующим барический градиент между Скандинавским полуостровом и югом Европы. По данным [15] при поло-

ющим периодом ледовитость Азовского моря сократилась соответственно на 1,7 тыс. км² и 2,9 тыс. км².

В современный период (1977 – 2012 гг.) на побережье Азово-Черноморского бассейна лед стал появляться позже на 5 – 8 дней, а в южных районах СЗЧ и Керченского пролива, лед наблюдается на 2 – 3 недели позже предшествующего многолетнего периода. Очищение моря ото льда на побережье Азово-Черноморского региона за последние 35 лет происходит в среднем на 1 – 2 недели раньше, чем за предшествующий многолетний период. Продолжительность ледового периода в СЗЧ и Азовском море сократилась на 2 – 4 недели. Для побережья Черного и Азовского морей за весь период ледовых наблюдений характерны значимые отрицательные линейные тренды в количестве дней со льдом и продолжительности ледового периода.

На большинстве прибрежных МГ Азово-Черноморского бассейна выявлены значимые коэффициенты корреляции основных ледовых показателей с Северо-Атлантическим и Скандинавским колебаниями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Атлас льдов Черного и Азовского морей.* – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 120 с.
2. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том 3. Азовское море.* – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 220 с.
3. *Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Том 4. Черное море.* – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 98 с.
4. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия.* – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 429 с.
5. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море.* – Л., 1991. – 236 с.
6. *Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 1. Азовское море.* – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – 402 с.
7. *Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2. Черное море.* – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. – 402 с.
8. *Океанографічний атлас Чорного та Азовського морів.* – К.: ДУ Укрморкартографія, 2009. – 356 с.
9. Горбач С.Б., Дьяков Н.Н., Тимошенко Т.Ю., Левицкая О.В. Ледовый режим северо-западной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009. – вып.18. – С.296-304.
10. Дьяков Н.Н., Горбач С.Б., Тимошенко Т.Ю. Современные тенденции многолетних изменений ледовых условий Азовского моря // Наукові праці УкрНДГІ. – 1999. – вып.247. – С.244-249.
11. Боровская Р.В., Ломакин П.Д., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. Современное состояние ледовых условий в Азовском море и Керченском проливе на базе спутниковой информации / Препринт. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2008. – 41 с.
12. Букатов А.Е., Павленко Е.А. Анализ связи климатической изменчивости метеорологических характеристик и ледового режима Азовского моря с индексами атмосферной циркуляции // Физические проблемы экологии (экологическая физика) / Под ред. В.И.Трухина, Ю.А.Пирогова, К.В.Показеева. – М.: Физический факультет МГУ, 2012. – № 18. – С.48-71.
13. Думанская И.О., Федоренко А.В. Анализ связи ледовых характеристик неарктических морей европейской части России с макроциркуляционными атмосфер-

- ними процесами // Метеорологія і гідрологія.— 2008.— № 12.— С.82-95.
14. *Думанська І.О.* Аналіз впливу центрів дії атмосфери на характер зим на морях європейської частини Росії // Тр. Гідрометцентра Росії.— 2011.— вип.345.— С.51-73.
 15. *Федоренко А.В.* Исследование связи между атмосферными процессами над Скандинавским полуостровом и ледовыми условиями на Азовском море // Тр. Гідрометцентра Росії.— 2011.— вип.345.— С.94-104.
 16. *Сироткина А.И.* К вопросу об оценке суровости зим на южных морях // Тр. НИИАК.— 1959.— вип.8.
 17. *Крындін А.Н.* Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Тр. ГОИН.— 1964.— вип.76.— С.7-79.
 18. *Дьяков Н.Н., Горбач С.Б.* Ледовый режим Азовского моря в суровые зимы // Наукові праці УкрНДГІ.— 2000.— вип.248.— С.254-258.
 19. *Жидкова Н.И.* Ледовые условия на Черном море в зимы различной суровости // Сб. работ ЛЮМ ГОИН.— 1972.— вип.111.— С.103-111.
 20. *Горбач С.Б., Дьяков Н.Н., Фомин В.В., Мартынов Е.С.* Многолетние изменения температуры воздуха в Азовском регионе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.— Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.— вип.18.— С.158-167.
 21. *Полонский А.Б., Башарин Д.В.* Влияние климатического сдвига 1976-1977 гг. на крупномасштабную структуру приземных метеорологических полей Евразии // Метеорологія і гідрологія.— 2008.— № 5.— С.16-30.
 22. *Ильин Ю.П.* Климатические изменения гидрометеорологических условий Черного моря / Глобальные и региональные изменения климата.— К.: Ника-Центр, 2011.— С.247-254.
 23. <http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/>
 24. *Нестеров Е.С.* Особенности циркуляции атмосферы в Северной Атлантике в последние десятилетия // Современные проблемы динамики океана и атмосферы. Сборник статей, посвященный 100-летию со дня рождения проф. П.С. Линеикина.— М.: Триада, 2010.— С.269-280.

Матеріал надійшов у редакцію 20.07.2013 г.

АНОТАЦІЯ Представлені результати дослідження льодових умов Азовського і Чорного морів на основі аналізу рядів даних багаторічних (прибережних, авіаційних і супутникових) льодових спостережень. Виконано статистичний аналіз характерних показників льодового режиму біля берегів північно-західної частини Чорного та Азовського морів. Побудовано карти багаторічного розподілу льоду на акваторії морів. Досліджена реакція льодових умов Азово-Чорноморського басейну на сучасні зміни клімату. Розглянуто зв'язку льодових характеристик з індексами атмосферної циркуляції Північної півкулі.

ABSTRACT The results of the study of ice conditions in the Sea of Azov and the Black Sea on the basis of the analysis of long-term data series (coastal, air and satellite) ice observations. Performed statistical analysis of characteristic parameters of specific indicators of ice conditions off the coast of north-western part of the Black and Azov Seas. The maps of long-term distribution of ice on the water area of the seas are constructed. Reaction of ice conditions of the Azov-Black Sea basin to modern climate changes is investigated. Links of ice characteristics with the Northern Hemisphere teleconnection patterns are considered.