

Е.Е. Белдеубаев<sup>1,2\*</sup>, С.М. Марченко<sup>3</sup>,

В.Г. Сальников<sup>2</sup>, С.Е. Полякова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РГП «Казгидромет», Казахстан, г. Алматы

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

<sup>3</sup> Университет Аляски, США, г. Фэрбанк

\*e-mail: yerke\_beldeubayev@mail.ru

## ОСОБЕННОСТИ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ НА ОЗЕРЕ БАЛКАШ В ЭКСТРЕМАЛЬНО ХОЛОДНЫЕ И ЭКСТРЕМАЛЬНО ТЕПЛЫЕ МЕСЯЦЫ

В статье рассматриваются процессы ледообразования на оз. Балкаш в экстремально холодные и экстремально теплые месяцы. Была выявлена тесная связь между среднемесячной температурой воздуха ноября и сроками появления первого льда и установления ледостава. Для ноября был рассчитан критерий аномальности Багрова-Токарева и определены экстремальные годы с 2000 по 2022 гг. Были рассчитаны средние даты характерных ледовых явлений за период 1971–2018 гг. Были проанализированы особенности ледообразования в осеннезимний период в эти годы. Рассчитаны числа дней с определенными разновидностями ледовых явлений и представлены в виде гистограмм. Были проанализированы различные виды и формы ледяных образований (забереги, сало, несплошной ледостав, торосы, ледостав с торосами, подвижка льда) в экстремально холодные и экстремально теплые месяцы до срока установления сплошного ледостава. Были построены карты с распределением толщины льда. Было найдено отклонение (количество дней) сроков появления первого льда и установления ледостава от средних в экстремально холодные и экстремально теплые годы.

Источником результата анализа являлись данные из гидрологических ежегодников, данные среднемесячной температуры воздуха, а также данные реанализа климатической базы данных CDS COPERNICUS Европейского центра.

**Ключевые слова:** ледообразование, толщина льда, ледостав, забереги, экстремально холодный месяц, экстремально теплый месяц.

Y.Y. Beldeubayev<sup>1,2\*</sup>, S.M. Marchenko<sup>3</sup>, V.G. Salnikov<sup>2</sup>, S.E. Polyakova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RSE «Kazhydromet», Kazakhstan, Almaty

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

<sup>3</sup>University of Alaska, USA, Fairbanks

\*e-mail: yerke\_beldeubayev@mail.ru

### Features of ice formation on Lake Balkash in extremely cold and extremely warm months

In this paper we are considering the processes of ice formation on Balkash Lake during extremely cold and extremely warm months. A significant correlation found between the average monthly air temperature of November, the dates of the first ice formation and the dates of continuous ice cover formation. The Bagrov-Tokarev anomaly criterion for November was calculated and the extreme years since the earlier 2000s were determined. The most common dates of inherent ice phenomena for the period 1971–2018 were calculated. The features of ice formation during the autumn–winter season for these years were analyzed. The number of days with certain types of ice phenomena are calculated and presented in the form of histograms. It was analyzed the various types and forms of ice formations for extremely cold and extremely warm months before the date of complete ice cover formation. The maps of ice thickness distribution were compiled. The deviation of the dates of the first ice formation and dates of continuous ice cover formation (in days) from the mean value extremely cold and extremely warm years was found.

The data source were hydrological guides, monthly average air temperature data, and data reanalysis using the CDS COPERNICUS climate database of the European Center.

**Key words:** ice formation, freeze-up, ice thickness, ice cover, extremely cold month, extremely warm month.

Е.Е. Белдеубаев<sup>1,2\*</sup>, С.М. Марченко<sup>3</sup>, В.Г. Сальников<sup>2</sup>, С.Е. Полякова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«Казгидромет» РМК, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

<sup>3</sup>Аляска университеті, АҚШ, Фэрбанкс қ.

\*e-mail: yerke\_beldeubayev@mail.ru

### Экстремалды суық және экстремалды жылы айларда Балқаш көлінде мұздың қалыптасу ерекшеліктері

Бұл мақалада Балқаш көлінің экстремалды суық және экстремалды жылы айларда мұздың қалыптасу мәселелері қарастырылады. Қарашаның орташа айлық ауа температурасы мен алғашқы мұздың пайда болуы және мұз жамылғысының орнауы мерзімдері арасында тығыз байланыс анықталды. Қараша айы үшін Багров-Токарев аномалия өлшемі есептелді және 2000 жылдардан бастап экстремалды жылдар анықталды. Мұз құбылыстарының орташа күндері 1971-2018 жылдар аралығында есептелді. Осы жылдардағы күзгі-қысқы кезеңдегі мұздың пайда болу ерекшеліктері талданды. Мұз құбылыстарының белгілі бір түрлері бар күндер саны есептелді және гистограмма түрінде ұсынылған. Мұз қалыптасуының әр түрлері мен формалары (алғашқы мұз түрлері, толық мұз жамылғысы, мұздың қозғалысы) экстремалды суық және экстремалды жылы айларда мұз жамылғысы орнау мерзімі дейін талдануы өте маңызды. Мұз қалыңдығының көл акваториясы бойынша таралу карталары салынды. Алғашқы мұздың пайда болу және мұз жамылғысының орнауы экстремалды суық және экстремалды жылы жылдардағы орташа мерзімдерден ауытқуы (күндер саны) табылды.

Деректер көзі гидрологиялық жылнамалардан алынған ақпарат, ауаның орташа айлық температурасы, Еуропалық орталықтың CDS COPERNICUS климаттық базасынан алынған реанализ ақпараты болды.

**Түйін сөздер:** мұз қалыптасуы, мұз қалыңдығы, мұз жамылғысы, экстремалды суық айлары, экстремалды жылы айлары.

### Введение

Озеро Балкаш – это водоем с ежегодным ледообразованием в течение года с отрицательными суточными температурами воздуха. Западная и восточная часть озера, соединенная проливом Узынарал, различна по химическим характеристикам. Минерализация воды в западной части составила 1,70 г/л, а восточной части – 4,91 г/л (Скоцеляс, 1995). Процесс ледообразования в восточной части замедлен из-за повышенной минерализации (Ресурсы поверхностных вод, 1970). Озеро Балкаш является крупным региональным водоемом, которому посвящено огромное количество работ (Бейлинсон, 1989, Чередниченко, 2009, Шиварева, 2009, Ивкина, 2015, Турсунов, 2015, Вилесов, 2017, Белдеубаев, 2019).

Озерный лед имеет очень важное значение в физических, химических и биологических процессах. Наличие и отсутствие ледового покрова важно для транспорта (использование ледового покрова в качестве дорог и переправ, сезонное судоходство в безледоставный период) (Bonsal et al., 2007). При разрушении ледового покрова, вызванного воздействием ветра или течений, могут создаваться условия для образования опасных ледовых явлений. Дрейф льда, навалы льда, торосы могут оказать разрушительные воздей-

ствия на берега, гидротехнические сооружения и инфраструктуру (Богородский, 1971). Роль ледового покрова имеет большое значение в зимнем режиме водоема, так как через слой льда и снега на нем происходит теплообмен между водой и воздухом (Одрова, 1979). Исследование процессов взаимодействия озерного льда и климата необходимо для климатического моделирования и прогноза погоды (Brown et al., 2010, Eerola et al., 2010). Сроки появления первого льда, установления ледостава, вскрытия и разрушения ледостава являются хорошими индикаторами изменения климата (Magnuson et al., 2000, Duguay et al., 2006, Assel et al., 2003, Latifovich et al., 2006). Поскольку озерные и речные льды, являются частью криосферы, их характеристики также подвержены трансформации в результате климатических изменений. На озерах и реках северного полушария сокращается ледовый период, наблюдаются сдвиги дат начала ледостава в сторону более поздних и дат разрушения ледостава в сторону более ранних (IPCC. Climate change 2013, Magnuson et al., 2000, Newton et al., 2021). Несмотря на общую тенденцию изменения характерных дат ледовых явлений оз. Балкаш (Белдеубаев, 2021), имеет смысл рассмотреть отдельные экстремальные годы осеннезимнего периода. Необходимо выявить насколько и в ка-

кую сторону отклоняются даты появления льда и начала ледостава от средних дат на оз. Балкаш.

### Материалы и методы

В данной работе использовались данные о ледовых явлениях с гидрологических постов, среднемесячная температура воздуха с метеорологических станций и данные реанализа по толщине льда ERA5-Land data (ERA5-Land hourly data from 1950 to present (copernicus.eu)). К дан-

ным о ледовых явлениях относятся сроки появления первого льда и установления ледостава. За дату появления первых ледяных образований принята дата образования устойчивых заберегов, плавучего льда, шуги или ледостава. За начало ледостава принята дата появления устойчивого неподвижного ледяного покрова продолжительностью не менее 20 суток.

На рисунке 1 изображены расположения метеорологических станций (МС) и гидрологических постов (ГП).

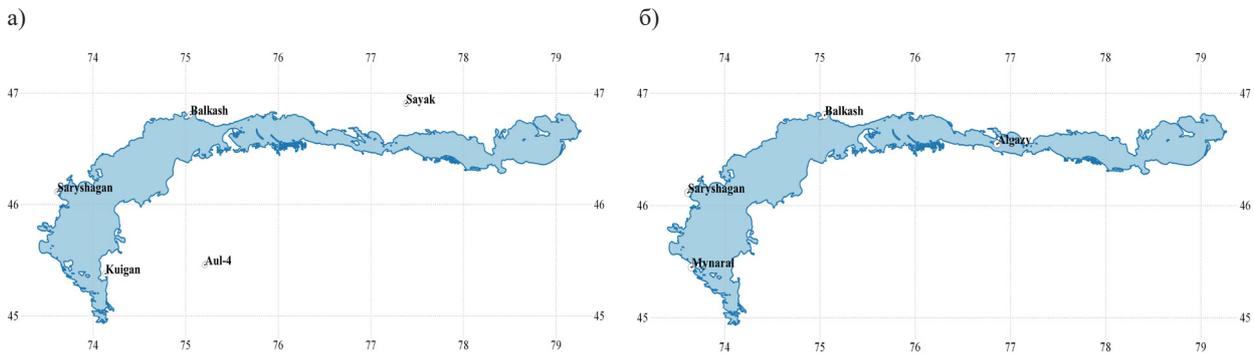


Рисунок 1 – Расположение а) метеорологических станций и б) гидрологических постов исследуемого объекта.

### Результаты и обсуждение

Холодный период на оз. Балкаш по данным 5-ти метеорологических станций (Аул4, Балкаш, Куйган, Сарышаган, Саяк) длится с ноября по март (рис. 2).

Из рисунка 2 видно, что распределение средней многолетней температуры воздуха на всех метеорологических станциях аналогично.

Температура воздуха является одним из главных факторов ледообразования. На появление ледяных образований и установление ледостава значительное влияние оказывает температура воздуха в ноябре.

На рисунках 3 и 4 приведены зависимости средней месячной температуры воздуха в ноябре и сроками появления первого льда, а также сроками установления ледостава.

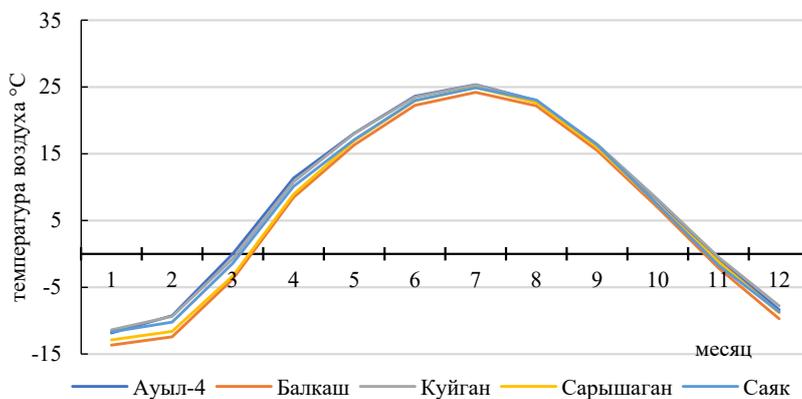


Рисунок 2 – Годовой ход средней месячной многолетней температуры воздуха за 1971-2020 гг.

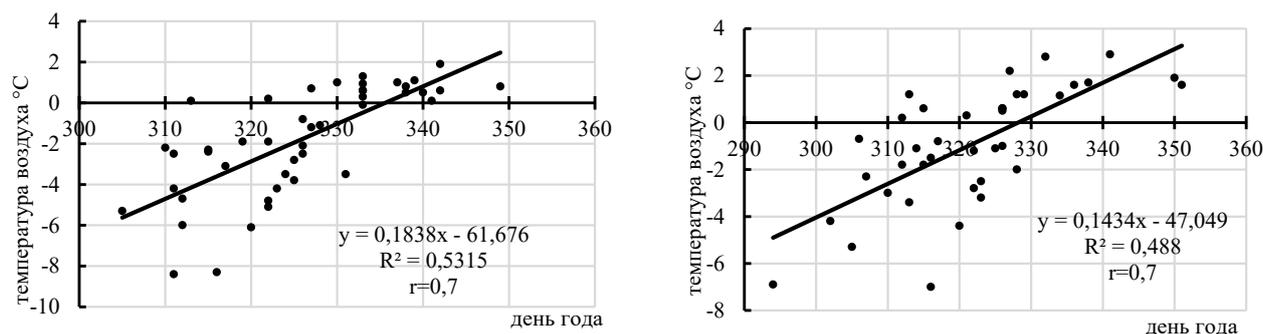


Рисунок 3 – Диаграммы рассеяния между средней месячной температурой воздуха и датами появления ледяных образований на постах Балкаш и Сарышаган

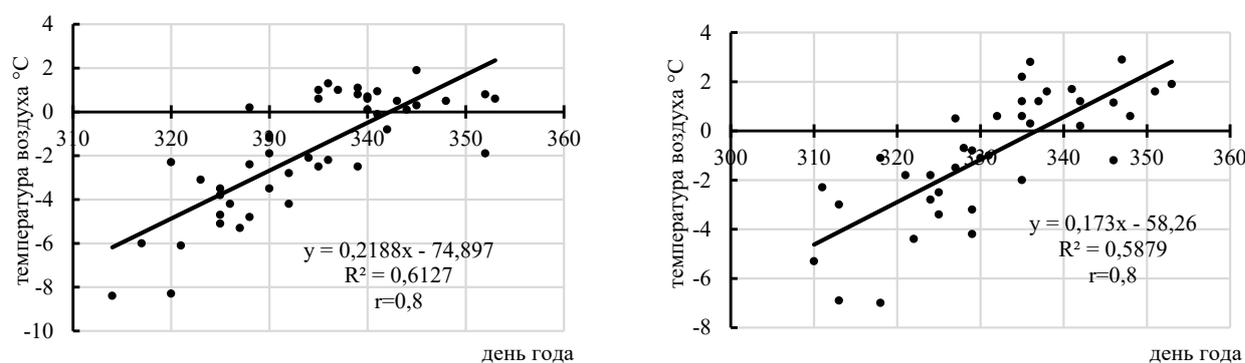


Рисунок 4 – Диаграммы рассеяния между средней месячной температурой воздуха и датами начала ледостава на постах Балкаш и Сарышаган

По данным рисунков 3 и 4 видно, что связь между температурой и сроками ледовых явлений прямая, теснота корреляционной связи высокая, 0,7-0,8 доля вклада тренда в общую дисперсию приемлема для превышающих 50 %.

По критерию аномальности БагроваТокарева (Багров, 1966) был выполнен расчет экстремально холодных (ЭХ) и экстремально теплых (ЭТ) лет для ноября за период 2000-2020 гг.

$$K_T = \frac{1}{N+M} \left[ \sum_{n=1}^N \left( \frac{\Delta T_i}{\delta_i} \right)_n^2 - \sum_{m=1}^M \left( \frac{\Delta T_i}{\delta_i} \right)_m^2 \right], \quad (1)$$

где  $\Delta T_i$  – аномалия параметра в точке  $i$ ;

$\delta_i$  – среднее квадратическое отклонение величины;

$N$  – количество точек, при  $T > 0$ ;

$M$  – количество точек, при  $T < 0$ .

Для индекса аномальности БагроваТокарева установлены пороговые значения: при  $K \geq 1,15$  аномальность поля значительна, при  $K \leq 0,75$  отмечается незначительная аномалия и при

$0,75 < K < 1,15$  аномалия имеет среднюю интенсивность.

В таблице 1 приведен экстремально холодные и экстремально теплые годы для ноября за период 2000-2020 гг.

В таблице 2 приведены среднемесячная температура воздуха и его аномалия.

Анализ таблицы 2 показывает, что в экстремально холодные годы аномалия варьирует в пределах минус 3,9 – минус 3,4 °С, а в экстремально теплые годы в пределах 2,7-3,5 °С.

В таблице 3 приведены средние значения сроков появления первого льда и сроков установления ледостава.

В соответствии с таблицей 3 видно, что по данным четырех гидрологических постов средний срок появления первого льда приходится на вторую половину ноября. Средний срок установления ледостава по данным постов Балкаш и Сарышаган приходится на конец ноября, а на постах Мынарал и Алгазы на начало декабря.

В таблице 4 представлены сроки появления первого льда и установления ледостава в 2000 году.

**Таблица 1** – Экстремально холодные и экстремально теплые годы для ноября за период 2000-2020 гг.

ЭХ		ЭТ	
годы	значение индекса	годы	значение индекса
2000	-2,74	2002	1,69
2016	-2,03	2006	1,35
2018	-1,76		
2020	-1,43		

**Таблица 2** – Средняя месячная температура воздуха и аномалия относительно периода 1981-2020 гг. в ноябре 2000, 2002, 2006, 2016, 2018, 2020 гг.

Годы	Ауыл-4		Балкаш		Куйган		Сарышаган		Саяк	
	Т	ΔТ	Т	ΔТ	Т	ΔТ	Т	ΔТ	Т	ΔТ
2000	-4,5	-3,8	-6	-4,2	-4,2	-3,9	-5,4	-4,4	-5,5	-4,3
2002	2,8	3,5	1,0	2,8	3,2	3,5	2,0	3,0	2,0	3,2
2006	2	2,7	1,0	2,8	2,4	2,7	2,2	3,2	1,8	3,0
2016	-4,2	-3,5	-5,1	-3,3	-3,9	-3,6	-4,4	-3,4	-5,1	-3,9
2018	-4,6	-3,9	-4,8	-3,0	-2,9	-2,6	-3,7	-2,7	-5,4	-4,2
2020	-4,0	-3,3	-4,7	-2,9	-3,5	-3,2	-3,8	-2,8	-3,6	-2,4

**Таблица 3** – Средние сроки появления первого льда и средние сроки установления ледостава

Балкаш		Сарышаган		Мынарал		Алгазы	
Средний срок появления первого льда	Средний срок установления ледостава	Средний срок появления первого льда	Средний срок установления ледостава	Средний срок появления первого льда	Средний срок установления ледостава	Средний срок появления первого льда	Средний срок установления ледостава
21 ноября	30 ноября	17 ноября	27 ноября	17 ноября	2 декабря	26 ноября	4 декабря

**Таблица 4** – Сроки появления первого льда и сроки установления ледостава в 2000 году

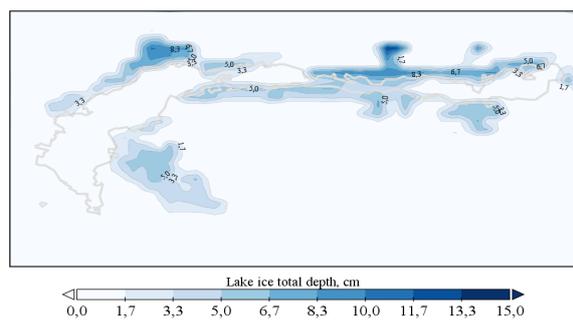
Балкаш		Сарышаган		Мынарал		Алгазы	
Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава
7 ноября	12 ноября	-	-	6 ноября	9 ноября	15 ноября	23 ноября

По данным таблицы 4 в экстремально холодный ноябрь 2000 года первые ледяные образования появились на 11-14 дней раньше средней даты, а ледостав установился на 11-23 дня раньше.

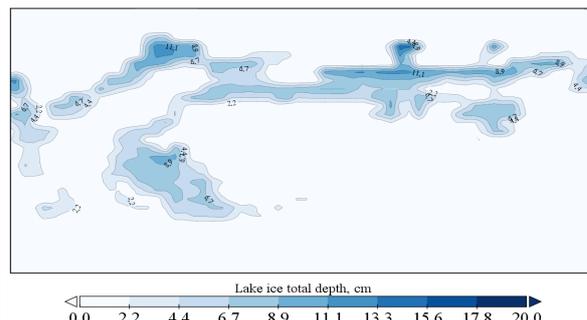
Самые ранние сроки появления первого льда по данным прибрежных гидрологических постов (Балкаш, Сарышаган) было отмечено 6-7 ноября, а установление ледостава 9 и 12 ноября.

Данные инструментальных наблюдений проводятся на одной точке и могут быть не репрезентативны для всего озера (IPCC. Climate change 2007), (Howell et al. 2009). Поэтому возникает необходимость использования данных из других источников

На рисунке 5 приведены значения толщины льда по акватории озера Балкаш за 6-7 ноября 2000 г. по данным реанализа.



06.11.2000



07.11.2000

**Рисунок 5** – Распределение толщины льда на озере Балкаш 6-7 ноября 2000 г.

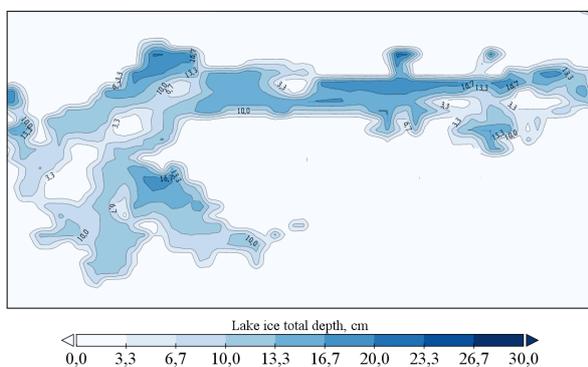
Анализ рисунка 5 показывает, что 6-7 ноября, по данным реанализа ледообразование отмечается в прибрежной и узкой части озера, на мелководье, а также в устье реки Или. Максимальная толщина льда достигала 8-11 см.

На рисунке 6 представлена карта толщины льда по данным реанализа на озере Балкаш в сроки, когда 9 и 12 ноября на постах установился ледостав.

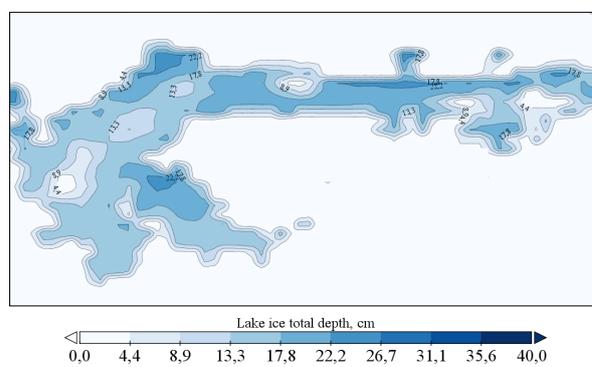
Из рисунка 6 видно, что в эти сроки почти все озеро покрыто ледовым покровом. Значение максимальной толщины льда достигало 17-22 см.

Ледообразование на водоеме начинается с появления заберегов, реже – сала или шуги, а в прибрежных мелководных районах, защищенных от ветра, – сплошной ледяной корки.

На рисунке 7 представлены гистограммы количества дней с видами ледовых явлений в 2000 году.



09.11.2000



12.11.2000

**Рисунок 6** – Распределение толщины льда на озере Балкаш 9 и 12 ноября 2000 г.

В соответствии с рисунком 7 видно, что на посту Балкаш 7 ноября первым ледяным образованием был несплошной ледостав, что является следствием понижения суточного максимума температуры воздуха на 6,6 °С и сменой его знака с положительного на отрицательный. Забереги наблюдались на всех постах от 3 до 8 дней. Перед установлением сплошного ледового по-

крова, на постах Балкаш (6 дней) и Мынарал (15 дней) наблюдался несплошной ледостав. Сплошной ледостав на этих постах установился 18 и 24 ноября. На посту Алгазы 23 ноября установился ледостав с торосами.

В таблице 5 представлены сроки появления первого льда и установления ледостава в 2016 году.

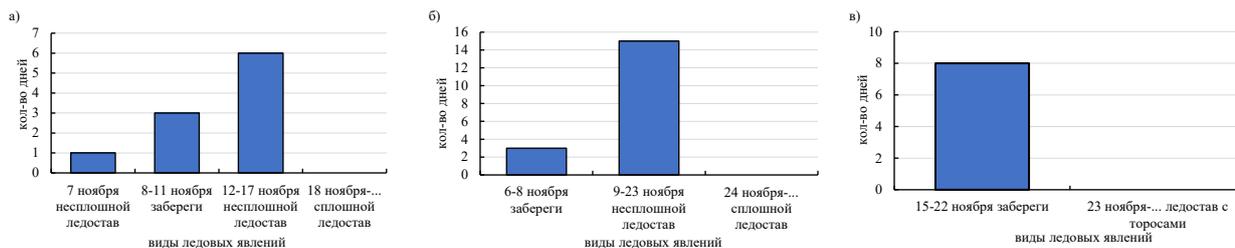


Рисунок 7 – Виды ледовых явлений в 2000 году на гидрологических постах Балкаш (а), Мынарал б), Алгазы (в)

Таблица 5 – Сроки появления первого льда и установления ледостав в 2016 году

Балкаш		Сарышаган		Мынарал		Алгазы	
Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава
17 ноября	20 ноября	15 ноября	17 ноября	17 ноября	20 ноября	-	-

Из таблицы 5 видно, что первые ледяные образования наблюдались с середины ноября (15-17 ноября) и через 2-3 дня установился ледостав. Первые ледяные образования наблюдались на

2-4 дня раньше, а ледостав установился на 10-12 дней раньше средних дат.

На рисунке 8 изображены карты толщины льда на озере Балкаш 17-20 ноября 2000 г.

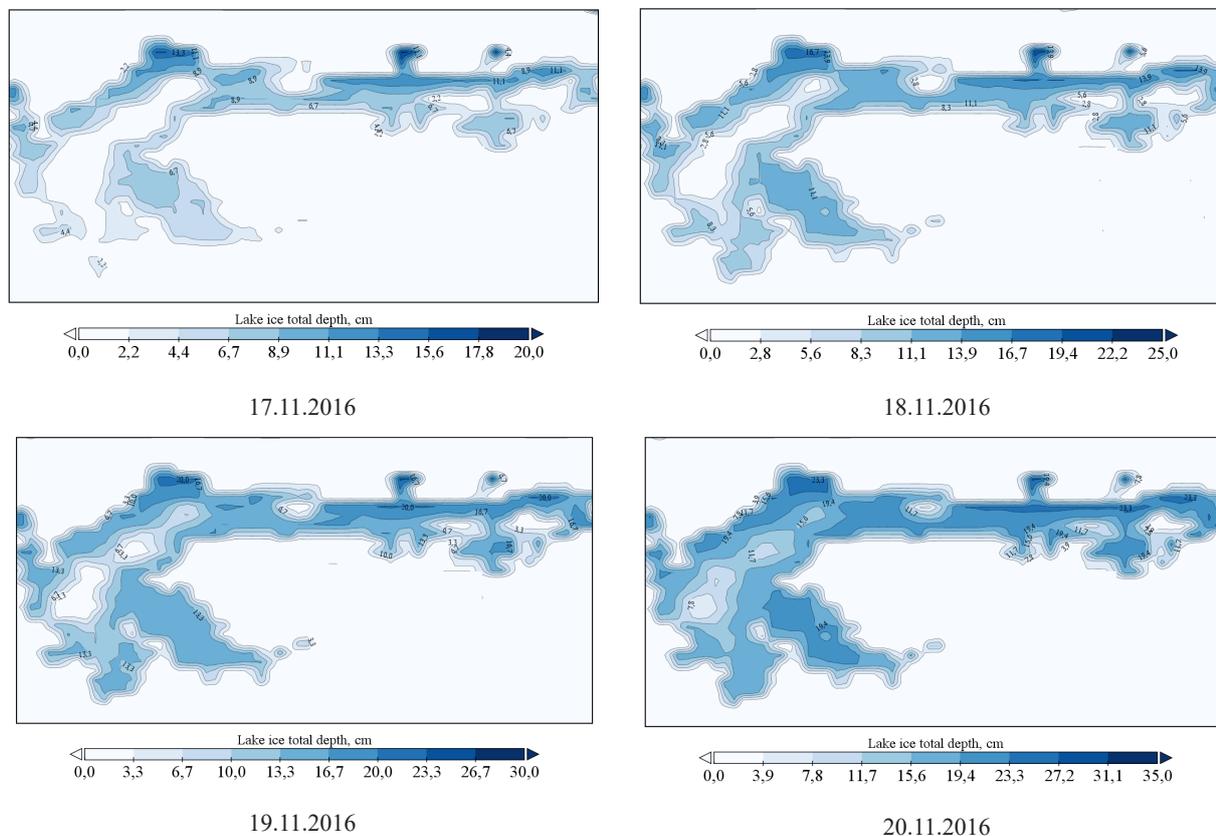
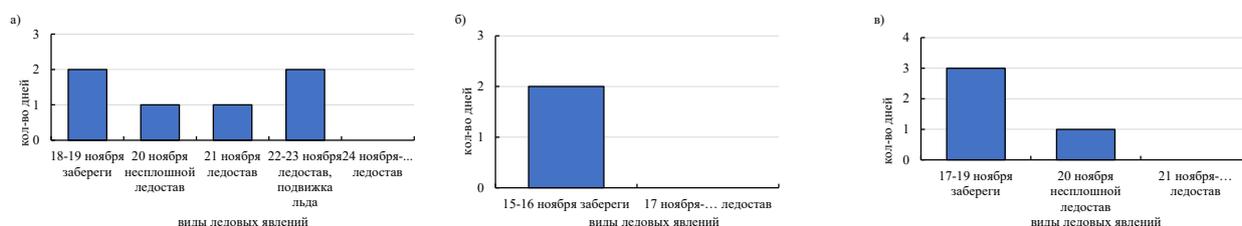


Рисунок 8 – Распределение толщины льда на озере Балкаш 17-20 ноября 2000 г.

Из рисунка 8, основанного на данных реанализа отмечается интенсивное ледообразование с 17 по 20 ноября 2016 г. Ледяные образования 17-18 ноября присутствуют на большей части озера и в устье реки Или, однако заметны также открытые участки воды. Максимальная толщи-

на льда составила 13-17 см. Почти вся акватория озера 19-20 ноября покрыта ледовым покровом, максимальная толщина льда составила 20-23 см.

На рисунке 9 изображены гистограммы количества дней с видами ледовых явлений в ноябре 2016 г.



**Рисунок 9** – Виды ледовых явлений в 2016 году на гидрологических постах Балкаш(а), Сарышаган (б) и Мынарал (в)

Как видно из рисунка 9, в ноябре наблюдались забереги (2-3 дня), несплошной ледостав и подвижка льда. Сплошной ледостав установился раньше на посту Сарышаган (17 ноября), а на постах Алгазы и Балкаш 21 и 24 ноября.

В таблице 6 представлены сроки появления ледяных образований и установления ледостава в 2002 году.

Первые ледяные образования в 2002 году наблюдались 18 ноября на посту Мынарал. На постах Балкаш и Алгазы ледообразование на-

чалось 2 декабря. Отклонение сроков первых ледяных образований 2002 года от средних в сторону более позднего появления составило на посту Мынарал – 1 день, а на постах Балкаш и Алгазы 11 и 7 дней соответственно. Сроки установления ледостава (3-4 декабря) отклоняются от средних дат в сторону более поздних на 1-3 дня.

На рисунке 10 изображены карты распределения толщины льда на озере Балкаш по данным реанализа.

**Таблица 6** – Сроки появления первого льда и установления ледостава в 2002 году

Балкаш		Сарышаган		Мынарал		Алгазы	
Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава
2 декабря	3 декабря	-	-	18 ноября	3 декабря	2 декабря	4 декабря

Из рисунка 10 на картах за 12 декабря 2002 г. ледообразование отмечается в прибрежной и узкой части озера, на мелководье и в дельте реки Или. Заметны пространства в открытой части озера, свободные ото льда. Максимальная толщина льда – 14 см. Большая часть озера покрыта льдом 3-4 декабря, максимальная толщина 19-22 см.

На рисунке 11 изображены гистограммы количества дней с различными видами ледовых явлений в 2002 г.

В соответствии с рисунком 11 на посту Балкаш в 2002 г. ледостав установился на второй день после первого ледообразования. На посту Мынарал ледяные образования появились раньше (18 ноября) относительно других постов, а ледостав установился 3 декабря. Ледостав с торагами был установлен 5 декабря на посту Алгазы.

В таблице 7 представлены сроки появления первого льда и установления ледостава в 2006 г.

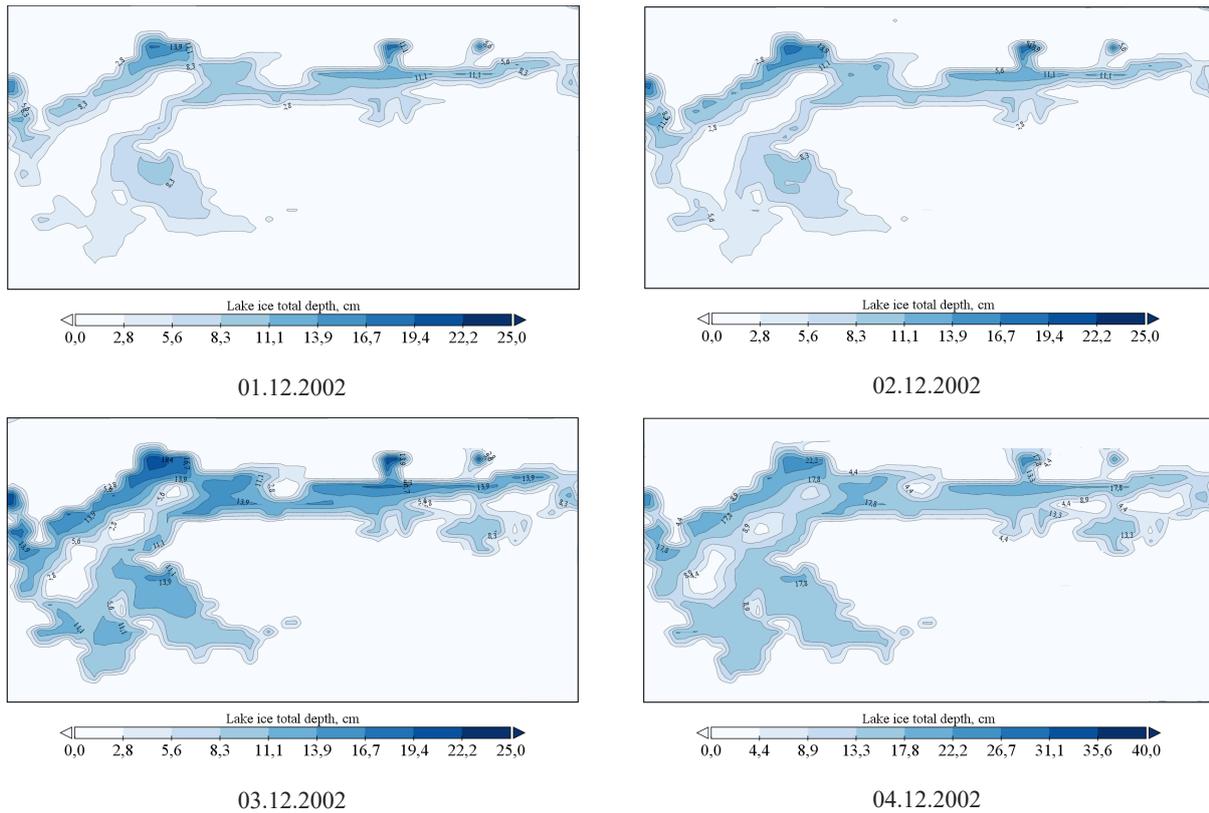


Рисунок 10 – Распределение толщины льда на озере Балкаш 14 декабря 2002 г.

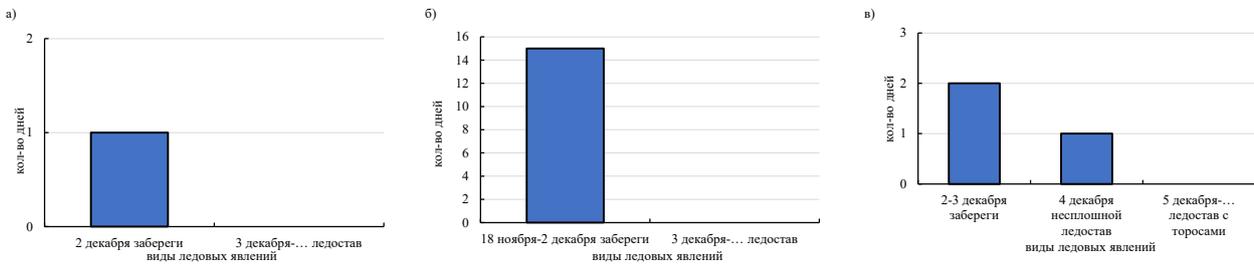


Рисунок 11 – Виды ледовых явлений в 2002 г. на постах Балкаш (а), Мынарал (б), Алгазы (в)

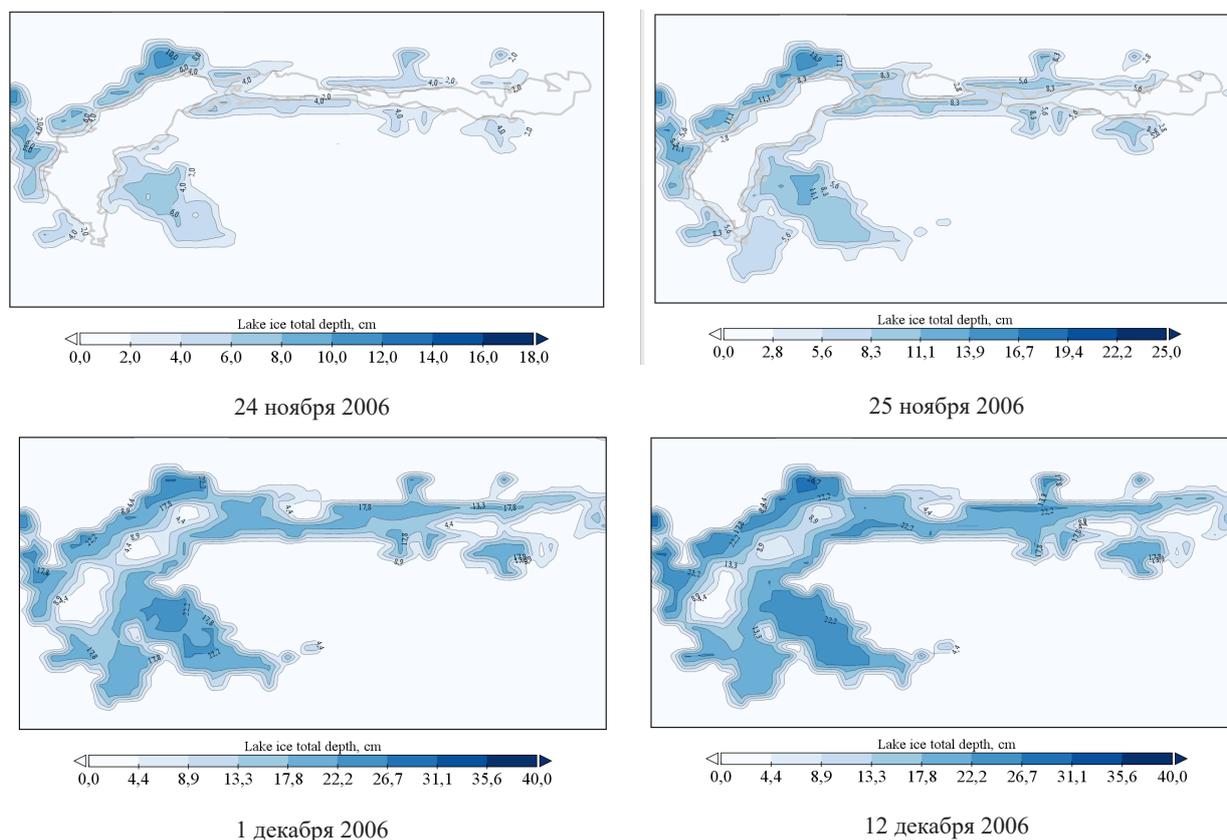
Таблица 7 – Сроки появления первого льда и установления ледостав в 2006 году

Балкаш		Сарышаган		Мынарал		Алгазы	
Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава	Срок появления первого льда	Срок установления ледостава
25 ноября	1 декабря	23 ноября	1 декабря	23 ноября	2 декабря	4 декабря	7 декабря

По данным таблицы 7 в 2006 г. на постах Балкаш, Сарышаган и Мынарал ледообразование началось 23-25 ноября, ледостав установился 12 декабря. На посту Алгазы первое ледообразование наблюдалось позже – 4 декабря, ледостав был

установлен 7 декабря. Сроки первых ледяных образований и установления ледостава отклонялись в сторону более поздних на 48 дней и 14 дня.

На рисунке 12 изображены карты толщины льда по данным реанализа.



**Рисунок 12** – Распределение толщины льда на озере Балкаш 24-25 ноября и 12 декабря 2006 г.

Из рисунка 12 видно, что 24-25 ноября 2006 г. ледообразование отмечается в прибрежной части озера и в устье реки Или. В открытой части озера вода свободна ото льда. Максимальная толщина льда составляет 10-14 см. Большая часть озера покрыта льдом 12 декабря, максимальная толщина составила 22-27 см.

### Заклучение

В ходе выполнения работы были рассмотрены особенности ледообразования оз. Балкаш в экстремально холодные и экстремально теплые месяцы.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- Температура воздуха ноября является определяющей для начала ледообразования на оз. Балкаш. Коэффициенты корреляции составили 0,7-0,8;

- По критерию аномальности БагроваТокарева для ноября были выявлены экстремально холодные (2000, 2016) и экстремально теплые (2002, 2006) годы;

- В экстремально холодный 2000 г. сроки появления первых ледяных образований отклонялись на 11-14 дней в сторону ранних, ледостав установился на 11-23 дней раньше средней даты;

- В экстремально холодный 2016 г. сроки появления первых ледяных образований и срок ледостава отклонялись в сторону более ранних на 24 дня и 10-12 дней;

- В экстремально теплый 2002 г. первое ледообразование наблюдалось на 1-11 дней позднее средней даты, а ледостав установился на 13 дня позже;

- В экстремально теплый 2006 г. сроки первых ледяных образований отклонялись в сторону более поздних на 48 дней, ледо-

став был установлен на 14 дня позже средней даты.

Таким образом, вместе с общей тенденцией сдвигов дат ледообразования в сторону более поздних, присутствуют отдельные случаи с экстремальными месяцами, значения которых не сходятся с общими трендами.

### Литература

Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья. Под ред. Скоцеляса И.И. – Спб: Гидрометеоздат, 1995. – 269 с.

Багров Н.А., Якишева Н.Н. Некоторые характеристики аномалий средних месячных температур воздуха // Труды ММЦ. – 1966. – Вып. 9. – С. 3-17.

Бейлинсон Формирование и разрушение ледяного покрова: (на водотоках и водоемах Казахстана). – Алма-Ата: Наука, 1989.

Белдеубаев Е.Е., Долгих С.А. О температурном режиме приземного воздуха в холодный период в Прибалхашье и его изменения в последние десятилетия // Гидрометеорология и экология. – 2019. – №4. – С. 171-183.

Белдеубаев Е.Е., Сальников В.Г., О сроках установления и разрушения ледового покрова на озере Балкаш в современных климатических условиях. – 2021. – №1. – С.818.

Богородский В.В., Гусев А.В., Хохлов Г.П., Физика пресноводного льда. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1971. – С. 3.

Вилесов Е.Н., Акмолдаева Б.К., Изменение основных величин климата Прибалхашья за 80 лет // Гидрометеорология и экология. – 2017. – №2. – С. 2735.

Ивкина Н.И. СгонноНагонные колебания уровня воды на оз. Балхаш // Гидрометеорология и экология. – 2011. – № .1 – С. 6674.

Одрова Т.В. Гидрофизика водоемов суши – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – С. 238.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Центральный и Южный Казахстан. Том 13. Вып.2. Бассейн озера Балхаш. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 644 с.

Турсунов Э.А. Обоснование возможной отметки, при которой произойдет расчленение оз. Балхаш // Гидрометеорология и экология. – 2015. – №4 – С. 61-65.

Чередниченко В.С., Кожакметова Э.П. Колебания климата в ИлеБалхашском бассейне и его связь с уровнем озера // Гидрометеорология и экология. – 2009. – №3 – С. 6277.

Шиварева С.П., Долгих С.А., Степанов Б.С., Яфязова Р.К., Ли В.И., Голубцов, В.П. Попова, Б.О. Баймагамбетов, Е.Е. Петрова Влияние изменения климата на водные ресурсы бассейнов озера Балхаш и Аральского моря // Гидрометеорология и экология. – 2009. – №3 – С. 36-61.

Andrew M.W. Newton, Donal J. Mulan., (2021). Climate change and Northern Hemisphere Lake and river ice phenology from 1931-2005. *The Cryosphere*, 15, 2211-2234.

Assel, R. A., Cronk, K., & Norton, D. (2003). Recent trends in Laurentian Great Lakes ice cover. *Climatic Change*, 57, 185–204.

Bonsal B.R., Duguay C.R., (2006). Impacts of large-scale teleconnections on freshwater-ice break/freeze-up dates over Canada. *Journal of Hydrology*, 330, 340353.

Brown L.C., Duguay C.R., (2010). The response and role of ice cover in lakeclimate interactions. *Progress in Physical Geography*. 34 (5) 671-704.

Duguay, C.R., Prowse T.D., Bonsal B.R., Brown R.D., Lacroix M..P., Menard P., (2006). Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological processes*, 20, 781-801.

Eerola, K., Rontu, L., Kourzeneva, E. and Shcherbak, E. 2010. A study on effects of lake temperature and ice cover in HIRLAM. *Boreal Environ. Res.* 15, 130-142.

ERA5-Land hourly data from 1950 to present (copernicus.eu)

IPCC. Climate change 2013: The Physical science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., Eds.; Cambridge U. Press: New York, NY, USA, 2013; p. 1535, doi:10.1017/CBO9781107415324.

IPCC. Climate change 2007: The Physical science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Solomon S., Qin D., Manning M., Marquis M., Averyt K., Tignor M., Miller H.L., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp

Latifovich R, Pouliot D., 2006, Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. *Remote Sensing of Environment* 106, 492-507

Magnuson, J.J., Robertson, D.M., Benson, B.J., Wayne, R.H., Livingstone, D.M., Arai, T., et al. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science*, 289, 1743-1746

Stephen E.L. Howell, Brown L.C., Kang K., Duguay C.R., (2008). Variability in ice phenology on Great Bear Lake and Great Slave Lake, Northwest Territories, Canada, from SeaWinds/QuickSCAT:2000-2006. *Remote Sensing of Environment* 113, 816-834.

## References

- Aktual'nye problemy gidrometeorologii ozera Balhash i Pribalhash'ja [Actual problems of hydrometeorology of Lake Balkhash and Balkhash region]. Pod red. Skocel'jasa I.I. – Spb: Gidrometeoizdat, 1995. – 269 s.
- Bagrov N.A., Mjakisheva N.N. Nekotorye charakteristiki anomalij srednih mesjachnyh temperatur vozduha [Some characteristics of anomalies mean monthly air temperatures] // Trudy MMC. – 1966. – Vyp. 9. – S. 3-17.
- Bejlinson Formirovanie i razrushenie ledjanogo pokrova: (na vodotokah i vodoemah Kazahstana) [Formation and destruction of ice cover: (on rivers and lakes of Kazakhstan)]. – Alma-Ata: Nauka, 1989.
- Beldeubaev E.E., Dolgikh S.A. O temperaturnom rezhime prizemnogo vozduha v holodnyj period v Pribalkash'e i ego izmenenija v poslednie desjatiletija [About temperature regime of surface air during the cold period in Balkhash region and its changes in recent decades] // Gidrometeorologija i jekologija. – 2019. №4. – S. 171-183.
- Beldeubaev E.E., Sal'nikov V.G., O srokah ustanovlenija i razrushenija ledovogo pokrova na ozere Balkash v sovremennyh klimaticheskijh uslovijah [About dates of ice cover's freeze and break of lake Balkash under modern climate conditions]. – 2021. – №1. – S.8-18.
- Bogorodskij V.V., Gusev A.V., Hohlov G.P., Fizika presnovodnogo l'da [Freshwater ice physics]. – L.: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1971. S. 3.
- Vilesov E.N., Akmoldaeva B.K., Izmenenie osnovnyh velichin klimata Pribalhash'ja za 80 let [Changes in the main climate values of the Balkhash region over 80 years] // Gidrometeorologija i jekologija. – 2017. №2. – S. 27-35.
- Ivkina N.I. Sgonno Nagonnye kolebanija urovnja vody na oz. Balhash [wind-driven fluctuations of water level on lake Balkash] // Gidrometeorologija i jekologija. – 2011. №.1 – S. 66-74.
- Odrova T.V. Gidrofizika vodoemov sushi [Hydrophysics of land water] – L.: Gidrometeoizdat, 1979. – S. 238.
- Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Central'nyj i Juzhnyj Kazahstan. Tom 13. Vyp.2. Bassejn ozera Balhash [Surface water resources of USSR. Central and south Kazakhstan. Vol. 13. Issue 2. Basin of lake Balkhash]. – L.: Gidrometeoizdat, 1970. – 644 s.
- Tursunov Je.A. Obosnovanie vozmozhnoj otmetki, pri kotoroj proizojdet raschlenenie oz. Balhash [Justification of the possible mark at which the partition of Lake Balkhash will occur] // Gidrometeorologija i jekologija. – 2015. №4 – S. 61-65.
- Cherednichenko V.S., Kozhahmetova Je.P. Kolebanija klimata v Ile Balhashskom bassejne i ego svjaz' s urovnem ozera [Climate fluctuations in the Ile-Balkhash basin and its connections with lake's level] // Gidrometeorologija i jekologija. – 2009. №3 – S. 62-77.
- Shivareva S.P., Dolgih S.A., Stepanov B.S., Jaffazova R.K., Li V.I., Golubcov, V.P. Popova, B.O. Bajmagambetov, E.E. Petrova Vlijanie izmenenija klimata na vodnye resursy bassejnov ozera Balhash i Arals'kogo morja [Impact of climate change on water resources of the basins of Lake Balkhash and the Aral sea] // Gidrometeorologija i jekologija. – 2009. №3 – S. 36-61.
- Andrew M.W. Newton, Donal J. Mulan., (2021). Climate change and Northern Hemisphere Lake and river ice phenology from 1931-2005. *The Cryosphere*, 15, 2211-2234.
- Assel, R. A., Cronk, K., & Norton, D. (2003). Recent trends in Laurentian Great Lakes ice cover. *Climatic Change*, 57, 185–204.
- Bonsal B.R., Duguay C.R., (2006). Impacts of large-scale teleconnections on freshwater-ice break/freeze-up dates over Canada. *Journal of Hydrology*, 330, 340353.
- Brown L.C., Duguay C.R., (2010). The response and role of ice cover in lakeclimate interactions. *Progress in Physical Geography*. 34 (5) 671-704.
- Duguay, C.R., Prowse T.D., Bonsal B.R., Brown R.D., Lacroix M.P., Menard P., (2006). Recent trends in Canadian lake ice cover. *Hydrological processes*, 20, 781-801.
- Eerola, K., Rontu, L., Kourzeneva, E. and Shcherbak, E. 2010. A study on effects of lake temperature and ice cover in HIRLAM. *Boreal Environ. Res.* 15, 130-142.
- ERA5-Land hourly data from 1950 to present (copernicus.eu)
- IPCC. Climate change 2013: The Physical science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., Eds.; Cambridge U. Press: New York, NY, USA, 2013; p. 1535, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- IPCC. Climate change 2007: The Physical science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Solomon S., Qin D., Manning M., Marquis M., Averyt K., Tignor M., Miller H.L., Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Latifovich R, Pouliot D., 2006, Analysis of climate change impacts on lake ice phenology in Canada using the historical satellite data record. *Remote Sensing of Environment* 106, 492-507.
- Magnuson, J.J., Robertson, D.M., Benson, B.J., Wayne, R.H., Livingstone, D.M., Arai, T., et al. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere. *Science*, 289, 1743-1746.
- Stephen E.L. Howell, Brown L.C., Kang K., Duguay C.R., (2008). Variability in ice phenology on Great Bear Lake and Great Slave Lake, Northwest Territories, Canada, from SeaWinds/QuickSCAT:2000-2006. *Remote Sensing of Environment* 113, 816-834.