

Ушёл из жизни Евгений Николаевич Вилесов – один из старейших гляциологов Республики Казахстан, активный член Гляциологической ассоциации. В последние годы он преподавал в Казахском Национальном университете им. аль-Фараби (Алматы), но продолжал гляциологические исследования и опубликовал несколько монографий о ледниках Казахстана. Совсем недавно Евгений Николаевич прислал для публикации нашего журнала свою статью, которая оказалась последней в его творчестве. Мы публикуем эту статью, доработанную Г.А. Носенко.

УДК 551.324 (035.3)

doi: 10.15356/2076-6734-2018-2-159-170

## Изменение размеров и состояния ледников Казахстана за 60 лет (1955–2015 гг.)

© 2018 г. **Е.Н. Вилесов**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан

## Changes in the size and condition of the glaciers in Kazakhstan for the last 60 years (1955–2015)

**E.N. Vilesov**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Received August 15, 2017

Accepted December 20, 2017

**Keywords:** *ablation, accumulation, glacial runoff, glacier dynamics, inventory of glaciers, Kazakhstan, mass balance.*

### Summary

In 1960–70s, a complete Inventory of the Kazakhstan glaciers had been prepared in the framework of the All-Union Glacier Inventory Program. All the morphometric parameters of the glaciers together with area and linear dimensions of them, and the absolute heights of characteristic points were determined from the 1:100 000 scale topographic maps and aerial photography of 1955–1956. In the late 1970-s and in 1990, new inventories of glaciers of the Zailiysky and Dzungarian Alatau were prepared by the same procedure from the 1:25 000 scale topographic maps and aerial photography. Since the beginning of the 20<sup>th</sup> century, satellite images and GIS technologies were used for this purpose. In this work, the magnitudes and rate of changes in the number of glaciers, their areas and volumes, as well as their mass balance for 60 years (1955–2015) were obtained using data from different inventories. It was found that during the period under investigation the area of glaciation of Kazakhstan decreased from 1744.8 down to 1032.1 km<sup>2</sup>, i.e. by 712.7 km<sup>2</sup>. The relative decrease in the area of ice was 40.8% (0.68% per a year). The largest losses of the glacier areas took place on the northern slopes of the Zailiysky and Dzungarsky Alatau – 124.8 and 121.6 km<sup>2</sup>, respectively. The volume of ice decreased by more than 30 km<sup>3</sup> (42.5%). The loss of the ice mass over the whole glacier area is approximately equal to 20 m in the water equivalent. Data on the glacier degradation in Kazakhstan obtained over the past 60 years provide the basis for monitoring of future glacier changes under conditions of the present-day climate.

**Citation:** Vilesov E.N. Changes in the size and condition of the glaciers in Kazakhstan for the last 60 years (1955–2015). *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2018. 58 (2): 159–170. [In Russian]. doi: 10.15356/2076-6734-2018-2-159-170

Поступила 15 августа 2017 г.

Принята к печати 20 декабря 2017 г.

**Ключевые слова:** *абляция, аккумуляция, баланс массы, динамика ледников, каталог ледников, Казахстан, ледниковый сток.*

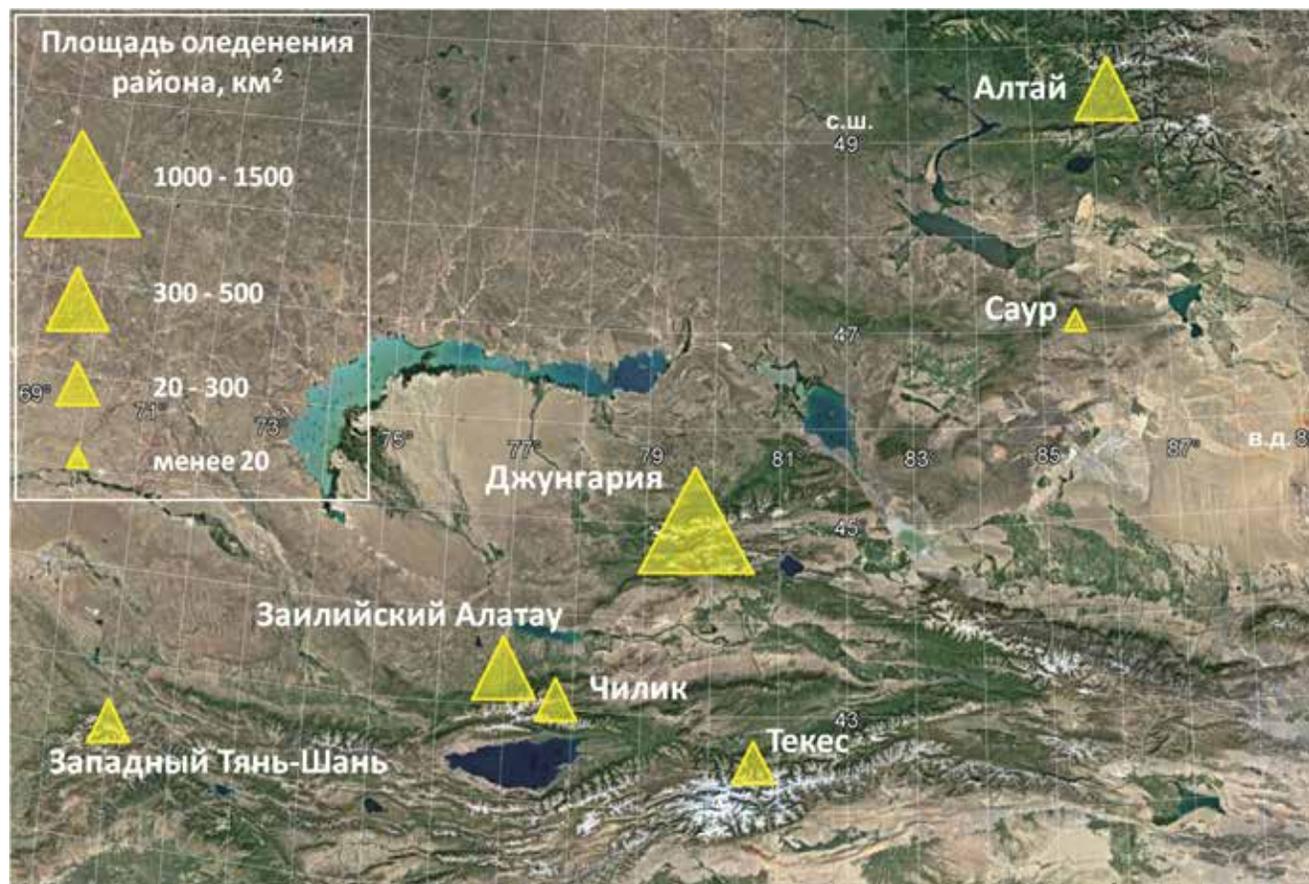
Из сравнения материалов Каталога ледников СССР (1955–1956 гг.) с более поздними определениями выяснены темпы сокращения оледенения за 60 лет. Площадь оледенения Казахстана за это время сократилась с 1744,8 до 1032,1 км<sup>2</sup>, т.е. на 712,7 км<sup>2</sup>. Относительное уменьшение площади льда составило 40,8% (0,68% в год). Больше всего сократились площади ледников на северных склонах Заилийского и Джунгарского Алатау (124,8 и 121,6 км<sup>2</sup>). Объём льда уменьшился более чем на 30 км<sup>3</sup> (42,5%).

### Введение

Долговременный запас воды в ледниках, таяние которых обеспечивает до 30–40% летнего стока горных рек, служит важным показателем водных ресурсов в горах. Заметное потепление климата, наблюдаемое в последние десятилетия, вызывает изменения в ледниковых системах аридных гор Центральной Азии, в том числе

и на юго-востоке Казахстана. Учитывая реальную возможность быстрого сокращения размеров современного оледенения, в настоящее время особенно важно проследить временные и пространственные колебания ледников и изучить влияние этих колебаний на изменение водных ресурсов в районах с развитым оледенением.

Цель настоящей работы – практическая реализация концепции гляциологического мониторинга



**Рис. 1.** Горно-ледниковые районы юго-восточного Казахстана  
**Fig. 1.** Mountain-glacial regions of southeastern Kazakhstan

горно-ледниковых районов Казахстана — от Алтая на северо-востоке до Таласского Алатау на юго-западе, насчитывающих сотни и тысячи ледников (рис. 1). По материалам Каталога ледников СССР, составленного по данным 1955–1956 гг., а также результатам более поздних определений размеров оледенения во всех горно-ледниковых районах юго-восточного Казахстана характеризуются величины и темпы сокращения числа ледников, их площади и объёмов, а также баланса их массы за 60 лет.

#### Данные и методы исследований

В 1960–70-х годах в рамках Всесоюзной программы по инвентаризации ледников составлен полный Каталог ледников Казахстана, опубликованный в десяти выпусках [1]. Все морфометрические показатели ледников, их площадные и линейные размеры, абсолютные высоты характерных точек получены путём картометрического

анализа топокарт масштаба 1:100 000 с привлечением материалов аэрофотосъёмки (АФС) 1955–1956 гг. согласно рекомендациям «Руководства по составлению Каталога ледников» [2]. Площади ледников определены с точностью 0,1 км<sup>2</sup>, их длина — с точностью 0,1 км, а высоты их концов и высших точек, а также фирновой линии — с точностью 10 м. По этой же методике в конце 1970-х годов и в 1990 г. для Заилийского и Джунгарского Алатау были подготовлены новые Каталоги ледников на основе топокарт масштаба 1:25 000 и актуальных материалов АФС.

В разные годы начала текущего столетия для изучения состояния оледенения всех ледниковых систем Казахстана стали использовать космические снимки со спутника Landsat с разрешением 15 м. Границы ледников на космоснимках были отдешифрованы и оцифрованы (векторизованы) с помощью ГИС-программ ArcGIS и MapInfo. Эта методика подробно изложена в работах [3, 4]. Полученные результаты использова-

ны для количественной оценки происходивших изменений морфометрических параметров ледников (площади, длины, уклона и т.п.).

Объём ледников за все «реперные» годы рассчитывался по формуле А.Б. Мазо – Г.Е. Глазырина [5], разработанной на основе динамической модели квазистационарного ледника:

$$V = 1,63Fh/(1 + \Delta z/h)^{0,774}, \quad h = 0,073L^{0,5},$$

где  $V$  – объём ледника, км<sup>3</sup>;  $F$  – площадь ледника, км<sup>2</sup>;  $\Delta z$  – разность максимальной и минимальной отметок ледника, км;  $L$  – длина ледника, км;  $h$  – эмпирический коэффициент, вычисляемый через длину ледника.

Для получения единовременного «среза» состояния ледников Казахстана на 2015 г. выполнены расчёты с помощью формулы сложных процентов, учитывающей темпы сокращения площадей и объёмов оледенения по конкретным районам за предыдущие годы:

$$F_i = F_0(1 - p/100)^t,$$

где  $F_i$  – площадь оледенения определяемого года;  $F_0$  – площадь льда опорного года;  $p$  – темп сокращения площади ледников, %/год;  $t$  – число лет между определяемым и опорными годами.

Определение темпов сокращения выполнено для каждого конкретного района с использованием данных о размерах оледенения в годы, обеспеченные материалами каталогов и съёмки. Данные об изменении объёма и площади позволяют оценить величину и знак среднего годового удельного баланса массы как отдельного ледника, так и ледниковой системы за период между измерениями по формуле

$$B = \frac{(V_2 - V_1)\rho}{TF} \cdot 10^5,$$

где  $B$  – баланс массы, г/(см<sup>2</sup>·год);  $(V_2 - V_1)$  – изменение объёма льда за расчётный интервал времени, км<sup>3</sup>;  $T$  – расчётный интервал времени, число лет;  $F$  – средняя площадь оледенения за расчётный интервал времени, км<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность льда, принятая равной 0,9 г/см<sup>3</sup>.

Результаты сравнительного анализа изменений размеров оледенения позволили определить направленность эволюции всех ледниковых систем, а также оценить изменения запасов льда, величину ледникового стока и его роль в питании горных рек за последние 60 лет (1955–2015 гг.).

## Результаты исследований динамики оледенения

**Казахстанский Алтай.** Оледенение хребтов Казахстанского Алтая приурочено к бассейнам правых притоков Иртыша – рек Каба, Курчума, Бухтарма, Ульба и Уба. Эти хребты протянулись с запада на восток между 83–87° в.д. в пределах 49–50° с.ш. Особняком на севере района лежат ледники Катунского (в истоках р. Белая Берель) и Ивановского хребтов. В конце 1960-х годов был составлен первый Каталог ледников Казахстанского Алтая с характеристикой их состояния на начало второй половины столетия (1950–1955 гг.) [1]. По данным этого Каталога, на территории рассматриваемых бассейнов насчитывалось 323 ледника с чистой площадью (без конечных морен стадии фернау) 71,4 км<sup>2</sup> и объёмом льда 2,4063 км<sup>3</sup>.

Для оценки состояния оледенения района в начале XXI в. использовались космические снимки Landsat 2011 г. К этому времени число мелких ледников с площадями порядка 0,1 км<sup>2</sup> уменьшилось, особенно заметно на крайних западных участках хребтов, несущих оледенение. Так, в Курчумском хребте полностью растаяло 39 ледников (87% их числа в 1955 г.), в Ивановском хребте (бассейны рек Ульба, Уба и Тургусун) – 33 ледника (92% (!) их числа в 1955 г.). Всего же по району растаяло 207 ледников (64% их числа в 1955 г.) общей площадью более 34 км<sup>2</sup>. В 2011 г. оледенение Казахстанского Алтая по сравнению с другими ледниковыми районами Казахстана отличалось однообразием морфологических типов ледников, с явным преобладанием ледников склонов – каровых и висячих. Многие из них представлены миниатюрными ледяными образованиями площадью 0,03–0,04 км<sup>2</sup>. Такие леднички М.В. Тронов [6] называл «остаточными оледенелыми скоплениями в карах», представляющими собой последнюю степень угасания ледников. Они занимают небольшие участки каров, наиболее благоприятные для их сохранения.

На долю ледников долинного типа приходится три четверти площади льда. К типичным долинным относятся самые крупные ледники района – Большой и Малый Берельские (№ 122 и 116 по Каталогу) в истоках р. Белая Берель, имевшие в 1955 г. площадь соответственно 9,5 и 6,8 км<sup>2</sup>, а также ледники Большой и Малый Бухтарминские (№ 101 и 100) в верховьях р. Бух-

Таблица 1. Состояние и изменения оледенения Казахского Алтая за 1955–2015 гг.\*

Речные бассейны	1955 г.			2015 г.			1955–2015 гг.		
	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>V</i>
Каба	82	11,1	0,1539	28	3,604	0,0436	-54	-7,496	-0,1103
Курчум	45	2,9	0,0274	6	0,354	0,0025	-39	-2,546	-0,0249
Сарымсақты	49	5,4	0,0669	8	1,206	0,0159	-41	-4,194	-0,0510
Верховья Бухтармы	74	23,3	0,6491	44	12,936	0,2936	-30	-10,36	-0,3555
Белая Берель	37	26,4	1,4892	27	18,868	0,7627	-10	-7,532	-0,7265
Тургусун	7	0,4	0,0029	1	0,062	0,0005	-6	-0,338	-0,0024
Ульба	15	0,8	0,0064	1	0,095	0,0009	-14	-0,705	-0,0055
Уба	14	1,1	0,0105	1	0,087	0,0008	-13	-1,013	-0,0097
<i>Всего</i>	323	71,4	2,4063	116	37,212	1,1205	-207	-34,19	-1,2858

\*В табл. 1,3–5: *K* – число ледников; *F* – площадь ледников, км<sup>2</sup>; *V* – объём ледников, км<sup>3</sup>.

тарма. К 2011 г. первенство по размеру площади перешло к Малому Берельскому леднику (4,932 км<sup>2</sup>), так как Большой Берельский распался на четыре самостоятельных ледника.

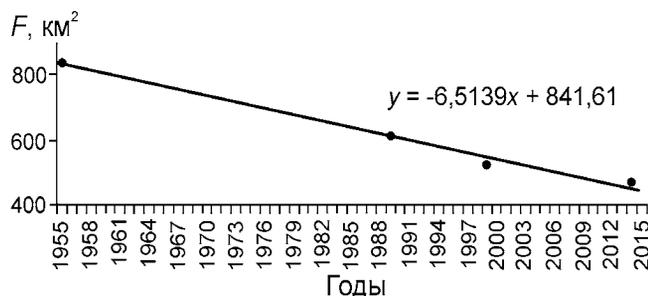
Сводные данные об изменении размеров оледенения в Казахском Алтае за 60 лет представлены в табл. 1. Её анализ показывает, что за 60 лет число ледников в Казахском Алтае сократилось на 64%, их площадь – на 48%, а объём льда – на 53%. Величина среднего годового баланса массы ледников, рассчитанная по изменению их объёмов и площадей, оказалась равной  $-36 \text{ г/см}^2$ , т.е. алтайские ледники за 60 лет со всей своей площади безвозвратно потеряли слой льда толщиной около 22 м. Таким образом, тенденция дегляциации Алтая, проявившаяся ещё с середины XIX в., устойчиво сохраняется и в настоящее время, что чётко отражается в уменьшении числа, площади и объёма ледников. Почти одна треть ещё сохранившихся ледников имеет такие малые размеры, что дальнейшая их деградация в ближайшие десятилетия может привести к полному их стаиванию, кроме трёх–четырёх наиболее крупных долинных ледников.

**Хребет Саур** с горной группой Музтау протягивается в широтном направлении на 140 км. Протяжённость хребта, несущего оледенение, – около 30 км, между 85°18' и 85°42' в.д. Высшая точка – гора Музтау – имеет отметку 3816 м и находится в пределах КНР (на китайских картах – 3835 м). На северном макросклоне хребта ледники залегают на территории Республики Казахстан в верховьях рек Кендирлык и Улькен-Уласты, пограничных с Республикой Казахстан и КНР. Они относятся к бассейну оз. Зайсан

и р. Чёрный Иртыш (Кара-Ертис). В середине 1960-х годов по материалам АФС мы составили карту оледенения в масштабе 1:100 000 и Каталог ледников хр. Саур (в границах Казахстана) с характеристикой их состояния на 1962 г. Тогда на хр. Саур было 18 ледников с общей площадью 14,8 км<sup>2</sup> без учёта поверхностной морены.

При подготовке этого материала были использованы космоснимки Landsat за 15 августа 2013 г. Дешифрирование снимков показало, что к этому году растаял ледник № 18 – Кичкине-Куртка площадью 0,1 км<sup>2</sup> на крайнем западном фланге хребта, а за счёт распада других образовались четыре «новых» ледника. Таким образом, в 2013 г. на хр. Саур был учтён 21 ледник с общей площадью 11,099 км<sup>2</sup> и объёмом льда 0,3308 км<sup>3</sup>. По оценкам, основанным на применении формулы сложных процентов, в 2015 г. площадь оледенения хр. Саур была равна 10,99 км<sup>2</sup>, а объём льда – 0,3268 км<sup>3</sup>. Изменения площади и объёма оледенения этого хребта за 53 года составили 25,7 и 30,4% соответственно.

Полученные результаты показывают сокращение размеров оледенения. В то же время его темпы не так высоки, как в других районах Казахстана, и можно предположить относительную устойчивость оледенения Саура, что обусловлено высокой годовой аккумуляцией (800–1000 мм), летними снегопадами, большой отражательной способностью деятельной поверхности ледников, коротким периодом абляции и сравнительно низкими температурами воздуха в летний период. Поэтому скорое исчезновение, во всяком случае в ближайшие десятилетия, этим ледникам не грозит.



**Рис. 2.** Сокращение площади ледников Казахской Джунгарии за 1956–2015 гг.

**Fig. 2.** Area reduction of glaciers in the Kazakhstan Dzungaria during 1956–2015

**Джунгарский (Жетысу) Алатау** – самый «оледенелый» хребет Казахстана. Первый Каталог ледников, отражающий их состояние в 1956 г., опубликован в четырёх выпусках: 1) бассейны рек Тентек и Ргайты на востоке северного склона хребта – условно Восток; 2) бассейны рек Биен, Ак-су и Лепсы на северном склоне хребта – условно Север; 3) бассейн р. Каратал в западной части хребта – условно Запад; 4) бассейны рек Хоргос и Усек на южном макросклоне хребта – условно Юг. Сопоставление данных этих Каталогов, материалов АФС 1990 г., космоснимков 2000 и 2004 гг. и оценки состояния ледников в 2015 г. показало существенное сокращение площади оледенения. Максимум абсолютной величины сокращения площади льда отмечен в Северной Джунгарии, имевшей в середине прошлого века наибольшие размеры оледенения. Однако относительное сокращение площади ледников этого района, в основном северной экспозиции и залегающих на высотах 4200–4600 м, характеризуется минимальным значением. Самые большие относительные потери площади (48,2%) произошли у ледников, расположенных на южном макросклоне южного Центрального хребта и хр. Беджинтау.

В настоящее время, как и в середине прошлого века, крупнейшим по площади в Джунгарии остаётся ледник Берга (№ 214 по Каталогу) – 10,5 км². К крупным долинным относятся ледники Безсонова (№ 275) и Калесника (№ 202) с площадями более 10 км², а также ледник Абая (№ 166), имеющий площадь 8 км². Все они лежат в верховьях р. Лепса. Изменение (сокращение) ледниковой площади в границах Казахской Джунгарии за 59-летний период (1956–2015 гг.)

иллюстрирует рис. 2. Площадь оледенения за этот период сократилась на 374 км² – с 841 до 467 км² (по 6,34 км²/год), или на 44,5% (по 0,75 %/год). Число ледников за это время уменьшилось на 462, т.е. на 32,7%. Объём льда снизился на 15,4560 км³ – с 33,3061 до 17,8501 км³, т.е. на 46,4% (по 0,79 %/год). Максимальные абсолютные потери объёма льда (почти 5,4 км³) отмечены у ледников Северной Джунгарии.

Средняя за 59 лет величина баланса массы оледенения изменяется от –34 г/см² в Северной Джунгарии до –39 г/см² (из-за стаивания половины ледников) в Восточной Джунгарии, составив в целом по казахстанской её части –36 г/см². Иначе говоря, общая безвозвратная потеря массы со всей площади ледников за это время составила более 21 м в водном эквиваленте (в.э.). Эти величины указывают на устойчивый отрицательный баланс массы джунгарских ледников и их деградацию в течение всего исследуемого периода. Такая тенденция в настоящее время доминирует, и очевидно, что в условиях продолжающегося потепления климата высокогорья процесс дегляциации не остановится.

**Бассейны рек Чарын и Текес** расположены к югу от горной Джунгарии, за долиной р. Или и хребтом Кетмень (Узынкара). Современное оледенение в этих бассейнах располагается между 79°13' и 80°13' в.д. и 42°41' и 40°17' с.ш. (на юго-востоке Алматинской области) на северных склонах хребтов Терскей-Алатау и Сарыджаз и на западных склонах Меридионального хребта, входящих в горную систему Центрального Тянь-Шаня. Первое обследование ледников района провёл украинский академик В.В. Резниченко более 100 лет назад, в 1915 г. [7]. Он не учёл тогда многие мелкие ледники и обнаружил здесь лишь 74 ледника площадью 116 км². В конце 1960-х годов автором на основе аэрофотосъёмки 1956 г. составлен первый Каталог ледников бассейнов рек Чарын и Текес; было учтено 184 ледника с общей площадью чистого льда 143,9 км² и объёмом льда 6,3584 км³. Тогда наиболее крупными по размерам были три ледника, залегающие в верховьях р. Баянкол: сложные долинные ледники Симонова (№ 89) и Мраморной стены (№ 94), а также долинный ледник Баянкол (№ 91) с общей площадью около 50 км². Крупнейшим среди них был ледник Мраморной стены, длина которого составляла 7,3 км, а

площадь – 22,4 км<sup>2</sup>. Средняя абсолютная высота участка хр. Сарыджаз, с которого начинаются эти ледники, достигает 5700 м.

Вторая каталогизация ледников обоих бассейнов выполнена по материалам аэрофотосъёмки 1990 г. (тогда здесь было зафиксировано 159 ледников общей площадью 116,0 км<sup>2</sup>), а третья – проведена В.И. Морозовой с использованием космических снимков Landsat 2006 г. Наконец, последний Каталог ледников района по их состоянию на 2013 г. составлен З.С. Усмановой [8]. Тогда здесь оставалось 144 ледника с общей площадью 100,1 км<sup>2</sup>. Для оценки состояния оледенения бассейнов рек Чарын и Текес в 2015 г., как и для других горно-ледниковых районов, использованы расчёты по формулам сложных процентов. В 2015 г. здесь сохранилось 144 ледника с общей площадью 99,1 км<sup>2</sup> и объёмом 4,8260 км<sup>3</sup>. Таким образом, за 59 лет (1956–2015 гг.) число ледников в районе сократилось на 40 (на 22%), их общая площадь – на 44,8 км<sup>2</sup> (на 31%, по 0,53 %/год), а объём – на 1,5324 км<sup>3</sup> (на 24%, по 0,41 %/год).

Средняя годовая величина баланса массы льда оказалась равной 20 г/см<sup>2</sup>. Таким образом, невозобновимые потери вещества за 59 лет составили 12 м в.э. со всей поверхности ледников. Среди всех ледниковых районов Казахстана потери площади и массы льда в бассейне Текеса оказались наименьшими, что однозначно обусловлено самым высоким гипсометрическим уровнем, на котором здесь залегают ледники (до 5000–6000 м).

**Бассейны левых притоков р. Или – северный склон Заилийского (Иле) Алатау.** Первые достаточно достоверные сведения о размерах оледенения северного склона Заилийского Алатау в середине 1940-х годов приведены в работе Н.Н. Пальгова [9]. По его данным, тогда здесь насчитывалось 194 ледника с общей площадью 297 км<sup>2</sup>. Первоначальной же «точкой отсчёта», слежения за состоянием ледниковой системы северного склона Заилийского (Иле) Алатау, послужил 1955 г., когда здесь впервые была выполнена аэрофотосъёмка в пределах всего макросклона хребта. Её материалы легли в основу составленного Каталога ледников этих бассейнов, а также карты оледенения хребта в масштабе 1:100 000. В 1979 и 1990 гг. составлены второй и третий Каталоги по данным АФС, покрывшей территорию гляциальной зоны хребта. По

Таблица 2. Изменение площади оледенения (км<sup>2</sup>) по частным бассейнам северного макросклона Заилийского Алатау за 1955–2008 гг.

Речные бассейны	1955 г.	1979 г.	1990 г.	2008 г.	1955–2008 гг.	
					км <sup>2</sup>	%
Узункаргалы	12,9	10,31	9,17	7,64	–5,26	–40,8
Чемолган	2,6	2,24	1,54	1,06	–1,54	–59,2
Каскелен	13,5	12,86	10,67	8,13	–5,37	–39,8
Аксай	13,5	12,49	10,64	8,64	–4,86	–36,0
Каргалинка	3,9	2,89	2,44	1,98	–1,92	–49,2
Бол. Алматинка	33,9	25,25	21,94	18,08	–15,82	–46,7
Мал. Алматинка	9,3	8,12	6,35	5,62	–3,68	–39,6
Талгар	112,5	89,24	79,70	67,81	–44,69	–39,7
Иссык	49,5	36,77	34,76	30,58	–18,92	–38,2
Тургень	35,7	28,88	26,34	21,93	–13,77	–38,6
<i>Всего</i>	287,3	229,05	203,55	171,47	–115,83	–40,3

их материалам была создана новая карта оледенения хребта в масштабе 1:25 000. Точность определения площадей увеличилась на порядок и составила 0,01 км<sup>2</sup>, а ошибка их измерений не превышала 2–3%. Результаты этих определений обобщены в работах [10, 11].

Четвёртый по счёту Каталог ледников района по их состоянию на 2008 г. составлен по данным космических снимков Ikonos, ALOS, IRS и Landsat в двух вариантах – А.Л. Кокаревым [12] и, параллельно и независимо, нами. Определения площади льда по обоим вариантам дали весьма близкие результаты – 171,958 и 171,477 км<sup>2</sup> соответственно. Имеющиеся данные за четыре «реперных» года (1955, 1979, 1990 и 2008 гг.) позволили получить объективную информацию о темпах и интенсивности этих изменений для суждения о направленности процессов массообмена ледниковой системы за 53 года. Как и в других ледниковых районах, изменение числа ледников происходило за счёт их полного стаивания, распада крупных ледников на более мелкие и отчленения притоков. За эти годы в сумме преобладали второй и третий процессы, что привело к увеличению числа ледников на 76 – с 307 до 383.

Сопоставление данных Каталогов ледников за четыре временных среза показывает заметное сокращение площади оледенения района (табл. 2). Наибольшему сокращению подверглось мелкое дисперсное оледенение бассейнов Чемолгана, Каргалинки и Большой Алматинки. Менее значительны потери площади льда у

ледников бассейнов Аксяя, Иссыка и Тургени, залегающих в глубоких и затенённых формах рельефа. Увеличение численности ледников к 2008 г. способствовало росту дробности оледенения, показателем которой служит средняя площадь ледника в системе, которая сократилась на  $0,55 \text{ км}^2$  – с  $0,94$  до  $0,39 \text{ км}^2$ .

Представляет интерес и изменение размеров самых крупных ледников макросклона хребта. В 1955 г. в первую пятёрку самых больших по площади входили следующие ледники: Дмитриева (№ 134) –  $17,0 \text{ км}^2$ ; Шокальского (№ 167) –  $10,8 \text{ км}^2$ ; Горного института (№ 234) –  $9,4 \text{ км}^2$ ; Григорьева –  $8,5 \text{ км}^2$ ; Пальгова –  $7,1 \text{ км}^2$ . В процессе деградации ледники Горного института и Григорьева разделились на три ледника, ледник Дмитриева – на четыре (к 2012 г. он распался уже на шесть ледников, а ледник Шокальского – на семь). В результате в 2008 г. самым крупным по площади остался ледник Дмитриева, точнее – его левая ветвь ( $5,655 \text{ км}^2$ ), за ним следуют ледники Кассина –  $4,896 \text{ км}^2$ , Пальгова –  $4,713 \text{ км}^2$  и Горного института –  $4,200 \text{ км}^2$ .

За 53 года площадь оледенения северного макросклона хребта сократилась на  $115,83 \text{ км}^2$  – с  $287,3$  до  $171,47 \text{ км}^2$ , т.е. на  $40,3\%$ . Средняя скорость сокращения площади ледников за весь период составила  $2,185 \text{ км}^2/\text{год}$ , по  $0,76 \text{ \%/год}$ .

По всем бассейнам левых притоков р. Или для четырёх «реперных» лет получены величины объёмов ледников, рассчитанные по формуле Н.В. Ерасова [13]. За весь период (с 1955 по 2008 г.) ледники района потеряли  $49,5\%$  объёма в 1955 г., по  $0,93 \text{ \%/год}$ . По рассчитанным потерям объёма льда, отнесённым к средней площади оледенения, оценены величина и знак баланса массы ледниковой системы за 53 года. Среднее годовое значение баланса массы оледенения за этот период оказалось равным  $-40,2 \text{ г/см}^2$ . Общая безвозвратная потеря массы со всей площади ледников за это время составила около 22 м в.э.

Июль 2015 г. в рассматриваемом районе оказался самым тёплым за весь период метеонаблюдений (с 1879 г.). Средняя месячная температура в Алматы составила  $27,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , а максимальная  $37,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . На высоте 3800 м средняя температура июля равнялась  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ , а максимальная  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Именно к 2015 г. в бассейнах района растаяли около шести десятков мелких ледников с площадью  $0,05 \text{ км}^2$  и менее, а число ледников к этому

году уменьшилось до 318. Согласно расчётам по формуле сложных процентов, в 2015 г. эти ледники имели общую площадь  $162,5 \text{ км}^2$  и объём льда почти  $5,2 \text{ км}^3$ .

Информация о состоянии ледников отражает процесс сокращения площади и объёма оледенения северного склона Заилийского Алатау и указывает на преобладание отрицательного баланса массы ледников и их деградацию на протяжении 60 лет.

**Бассейн р. Чилик** лежит между хребтами Заилийский Алатау и Кунгей Алатау. В 1950-х годах прошлого века Н.Н. Пальгов [9] достаточно точно оценил площадь оледенения бассейна Чилика в  $300 \text{ км}^2$ , из которых  $141 \text{ км}^2$  приходилось на южный склон Заилийского Алатау.

Позднее, с использованием крупномасштабных карт и материалов АФС были составлены три Каталога ледников бассейна р. Чилик, отражающие состояние оледенения в 1955, 1979 и 1990 гг. Кроме того, выполнено дешифрирование космоснимков Landsat, показывающих состояние оледенения бассейна в 2005 г. В 1955 г. в бассейне было учтено 257 ледников с общей площадью  $286,96 \text{ км}^2$  и объёмом льда  $16,0220 \text{ км}^3$ . При этом на южном склоне Заилийского Алатау насчитывалось 87 ледников с общей площадью  $136,38 \text{ км}^2$  и объёмом льда  $8,7079 \text{ км}^3$ ; на северном склоне Кунгей Алатау было 169 ледников с общей площадью  $133,28 \text{ км}^2$  и объёмом льда  $5,8442 \text{ км}^3$ . На Чилико-Кеминской перемычке находился один ледник – Жангырык с площадью  $17,3 \text{ км}^2$ .

С 1955 по 2005 г. в бассейне Чилика растаяло 72 ледника с суммарной площадью  $5,23 \text{ км}^2$ . За это же время здесь распалось 58 ледников, в результате за 50 лет число ледников увеличилось на 14 – с 257 до 271. Площадь оледенения здесь за те же 50 лет сократилась с  $286,96$  до  $207,47 \text{ км}^2$ , т.е. почти на  $80 \text{ км}^2$ , по  $1,59 \text{ км}^2/\text{год}$ . Величина относительной потери площади льда составила  $27,7\%$ , по  $0,55 \text{ \%/год}$ . Средние размеры ледника в 1955 г. составляли  $1,12 \text{ км}^2$ , в 1979 г. –  $1,03 \text{ км}^2$ , в 1990 г. –  $0,85 \text{ км}^2$ , в 2005 г. –  $0,77 \text{ км}^2$ . И в 2005 г. ледник Корженевского, хотя и потерял более  $3 \text{ км}^2$  своей площади, по-прежнему оставался самым крупным в Казахстане с длиной  $10,3 \text{ км}$  и площадью  $34,26 \text{ км}^2$ . Объём ледников в бассейне за 50 лет сократился на  $4,59 \text{ км}^3$  при относительной убыли массы льда на  $28,6\%$ , по  $0,57\%/год$ . Сводные данные по из-

Таблица 3. Изменение числа ледников и их площади в бассейне р. Чилик за 1955–2005 гг.

Бассейн р. Чилик	1955 г.		1979 г.		1990 г.		2005 г.		1955–2005 гг.	
	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>K</i>	<i>F</i>
Южный склон Заилийского Алатау	88	153,7	82	136,71	104	130,56	109	122,97	+21	–30,73
Северный склон Кунгей Алатау	169	133,3	155	107,73	162	94,55	162	84,50	–7	–48,80
Бассейн р. Чилик в целом	257	287,0	237	244,44	266	225,11	271	207,47	+14	–87,53

менению основных характеристик оледенения (число ледников и их площадь) в бассейне Чилика за 50 лет приведены в табл. 3.

Величина баланса массы ледников, рассчитанная по разности объёмов льда в 1955 и 2005 гг., отнесённая к средней площади льда за этот период, оказалась равной  $-26 \text{ г/см}^2$  для южного склона Заилийского Алатау,  $-43 \text{ г/см}^2$  – для северного склона Кунгей Алатау и  $-33 \text{ г/см}^2$  – для бассейна р. Чилик в целом. Безвозвратные потери льда в бассейне за 50 лет составили около 17 м в.э. со всей поверхности ледников. После 2005 г. сокращение размеров оледенения в бассейне продолжалось с не меньшей интенсивностью, что подтвердилось во время облётов на вертолёте гляциальной зоны района в августе 2013 г.

Для оценки состояния ледников в 2015 г. использованы выявленные тенденции в изменении размеров оледенения на обоих хребтах за 1955–2005 гг. За 10 лет (2005–2015 гг.) должны были бы растаять около полусотни ледников с площадями менее  $0,05 \text{ км}^2$ , т.е. в 2015 г. в бассейне должны остаться 220 ледников. Расчёты по формулам сложных процентов, а также по уравнениям линий трендов показали, что в 2015 г. площадь оледенения на южном склоне Заилийского Алатау составила  $117 \text{ км}^2$ , на северном склоне Кунгей Алатау –  $75 \text{ км}^2$  и по бассейну р. Чилик –  $192 \text{ км}^2$ . Объём льда по бассейну в целом в 2015 г. был определён в  $10,8 \text{ км}^3$ . Оледенение бассейна Чилика, особенно на северном склоне Кунгей Алатау, продолжает своё существование в условиях заметной дезинтеграции и деградации.

**Бассейны рек Мерке и Аспара** – единственный участок Киргизского хребта в пределах Казахстана. Ледники этих бассейнов мало известны и почти не упоминаются в научной литературе. Лишь в 1962 г. экспедиция Ленинградского государственного педагогического института имени Герцена под руководством Е.В. Максимова провела рекогносцировочное обследование лед-

ников этого района. Результаты обследования, а также АФС 1955 г. легли в основу составленного Е.В. Максимовым и В.Я. Бажевой Каталога ледников района. Повторная инвентаризация ледников проведена в этом районе лишь в 2013 г. В 1955 г. здесь было 20 ледников общей площадью  $8,9 \text{ км}^2$  с объёмом льда  $0,2553 \text{ км}^3$ . При этом более одной трети этой площади ( $3,2 \text{ км}^2$ ) приходилось на самый крупный долинный асимметричный ледник Казахстан (№ 19). Для района в целом свойственны малые формы оледенения, прежде всего различные варианты каровых ледников. Из 20 ледников 17 так или иначе связаны с карами.

Для оценки современного состояния ледников в этих бассейнах использовались космические снимки Landsat 27 августа 2013 г., дешифрирование которых позволило установить число ледников, определить их контуры и подсчитать их площадь и объём льда. В результате установлено, что к 2013 г. здесь растаяло три ледника (все в верховьях р. Аспара), а один ледник распался на два. Таким образом, в этих бассейнах сохранилось 18 ледников общей площадью  $4,163 \text{ км}^2$  с объёмом льда  $0,0897 \text{ км}^3$ . Площадь самого крупного в бассейне р. Мерке ледника Казахстан сократилась в два раза – с  $3,2$  до  $1,607 \text{ км}^2$ . Также почти вдвое уменьшилась средняя площадь ледника в обоих бассейнах – с  $0,41$  до  $0,23 \text{ км}^2$ . Согласно расчётам по формулам сложных процентов, в 2015 г. площадь оледенения в районе сократилась до  $4,087 \text{ км}^2$ , а объём – до  $0,0877 \text{ км}^3$ . За исследуемый период (1955–2015 гг.) площадь оледенения здесь уменьшилась на  $4,81 \text{ км}^2$  – с  $8,9$  до  $4,09 \text{ км}^2$ , по  $0,080 \text{ км}^2/\text{год}$ , т.е. на 54%, или по  $0,90 \text{ %/год}$ . Более значительными темпами сокращался объём льда, который уменьшился на  $0,1676 \text{ км}^3$  – с  $0,2553$  до  $0,0877 \text{ км}^3$ , т.е. по  $0,0028 \text{ км}^3/\text{год}$ , или по  $1,09 \text{ %/год}$ .

Величина среднего годового баланса массы льда за период оказалась равной  $-39 \text{ г/см}^2$ , т.е. безвозвратная потеря ледниковой массы со-

ставила около 23 м в.э. Ледники бассейнов рек Мерке и Аспара продолжают своё существование в режиме интенсивной деградации.

**Бассейн р. Асса.** Большая его часть расположена на территории Кыргызской Республики. В пределах Казахстана находится крайний западный участок этого бассейна, куда входят верховья рек Аксай и Коксай — правых притоков р. Асса. Их территория лежит на северном склоне хр. Таласский Алатау (Западный Тянь-Шань). Оледенение этих бассейнов среди всех горноледниковых районов Казахстана наименее изучено. Об этом, в частности, свидетельствует тот факт, что в Каталоге ледников бассейна р. Асса, составленном сотрудниками УГМС Киргизской ССР по материалам АФС 1957 г., в графах таблицы, содержащей сведения о ледниках, вместо конкретных величин стоят знаки вопроса. По данным этого Каталога, в 1957 г. в бассейне р. Асса было зафиксировано 20 ледников общей площадью, включая погребённые льды, 4,6 км<sup>2</sup>.

В конце 1960-х годов при дешифрировании тех же АФС 1957 г. мы несколько уточнили размеры оледенения района. По уточнённым данным, в этом году в бассейнах рек Аксай и Коксай было 29 ледников с общей площадью открытого льда 5,4 км<sup>2</sup> и объёмом льда 0,0902 км<sup>3</sup>. Средняя площадь ледника составляла 0,19 км<sup>2</sup>. Для суждения о нынешнем состоянии оледенения в этом бассейне, как и для бассейнов рек Мерке и Аспара, использованы космоснимки Landsat 15 августа 2013 г. Установлено, что к 2013 г. здесь растаяло 13 малых ледников площадью 0,5 км<sup>2</sup>, а за счёт распада образовалось шесть «новых» ледников. Таким образом, к 2013 г. здесь осталось 22 ледника общей площадью 2,653 км<sup>2</sup> и объёмом льда 0,0311 км<sup>3</sup>. Судя по результатам расчётов по формулам сложных процентов, в 2015 г. в обоих бассейнах площадь оледенения составила 2,605 км<sup>2</sup>, а объём льда — 0,0304 км<sup>3</sup>.

Итак, за 58 лет (1957–2015 гг.) число ледников в бассейнах рек Аксай и Коксай в результате стаивания мелких ледников (площадью 0,1 км<sup>2</sup> и менее) уменьшилось с 29 до 22. Площадь льда сократилась с 5,4 до 2,60 км<sup>2</sup>, т.е. на 2,8 км<sup>2</sup>, по 0,048 км<sup>2</sup>/год. Относительная величина сокращения площади за весь период составила 52%, по 0,89 %/год. Средняя площадь ледника уменьшилась на одну треть — с 0,19 до 0,12 км<sup>2</sup>. Объём льда сократился с 0,0902 до 0,0304 км<sup>3</sup>, т.е. на

0,0598 км<sup>3</sup>, по 0,0010 км<sup>3</sup>/год. Относительное значение убыли объёма льда составило 66%, по 1,14 %/год. Сокращение размеров оледенения района обусловило отрицательный баланс массы, средняя годовая величина которого составила –23 г/см<sup>2</sup>. Со всей поверхности ледники потеряли более 13 м в.э. Таким образом, ледники казахстанской части бассейна р. Асса продолжают деградировать, оставляя при своём отступании свежие моренные отложения и многочисленные участки мёртвого льда.

**Бассейн р. Арысь.** Верховья левых притоков р. Арысь представляют собой крайний северо-западный район современного оледенения Западного Тянь-Шаня. Это — бассейны рек Жебагылы и Аксу с притоками Жусалы и Бадам, в которые впадает р. Сайрам с притоком Балдабрек. Ледники здесь залегают на северных склонах отрогов Таласского Алатау и северо-западных склонах Угамского хребта. Первая каталогизация ледников бассейна р. Арысь проведена по материалам АФС 1957 г. Тогда здесь было учтено 156 ледников с общей площадью (без погребённых льдов) 35,3 км<sup>2</sup> и объёмом льда 0,7815 км<sup>3</sup>. Для оценки современного состояния оледенения бассейна р. Арысь В.И. Морозовой составлены новая карта и новый Каталог ледников района с использованием космоснимков Landsat 2011 г. В 2011 г. здесь сохранилось 139 ледников с «чистой» площадью 22,176 км<sup>2</sup> и объёмом льда 0,4173 км<sup>3</sup>. Изменение основных показателей оледенения района года приведено в табл. 4.

За 54 года в бассейне растаяло 45 малых ледников площадью 0,1 км<sup>2</sup> и менее. За то же время в результате распада здесь образовалось 28 ледников. Число ледников сократилось на 11%. Наряду с заметным уменьшением числа ледников, не менее интенсивно сокращались их площади — с 35,3 до 22,176 км<sup>2</sup>, т.е. на 13,12 км<sup>2</sup>, по 0,243 км<sup>2</sup>/год. Относительное сокращение площади льда за этот период составило 37,2%, т.е. по 0,69 %/год. Средняя площадь ледника сократилась на одну треть — с 0,23 км<sup>2</sup> в 1957 г. до 0,16 км<sup>2</sup> в 2011 г. Объём ледников уменьшился с 0,7815 до 0,4173 км<sup>3</sup>, т.е. на 0,3642 км<sup>3</sup>, по 0,00674 км<sup>3</sup>/год при относительном сокращении объёма на 47%, по 0,87 %/год. Более резкое уменьшение объёма ледников по сравнению с их площадью связано с распадом на четыре части са-

Таблица 4. Изменение числа ледников и их площади в бассейнах рек Арысь и Майдантал за 1957–2011 гг.

Речные бассейны	1957 г.		2011 г.		1957–2011 гг.	
	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>K</i>	<i>F</i>
<i>Р. Арысь</i>						
Жебаглысу	22	4,7	17	3,4	-5	-1,347
Аксу	80	14,4	60	8,3	-20	-6,104
Балдабрек	16	4,7	18	2,7	+2	-1,984
Сайрам	38	11,5	44	7,8	+6	-3,689
<i>Всего</i>	156	35,3	139	22,2	-17	-13,124
<i>Р. Майдантал</i>						
Атжайлау-Карабулак	20	7,75	21	5,7	+1	-2,061
Чотан (Шынгыз)	12	13,9	20	10,6	+8	-3,312
Ашугор	8	4,25	11	2,5	+3	-1,786
Корумтор	9	3,6	14	2,2	+5	-1,408
Аютор	18	14,7	29	11,4	+11	-3,314
Койна-зарсай	20	5,6	24	3,6	+4	-2,033
<i>Всего</i>	87	49,8	119	36,0	+32	-13,914

мого крупного в бассейне ледника № 70, имевшего в 1957 г. площадь 3,2 км<sup>2</sup> и объём 0,1546 км<sup>3</sup>. Годовой баланс ледников за эти годы был отрицательным и составил -21 г/см<sup>2</sup>. Безвозвратная потеря массы льда за это время – около 11,5 м в.э. К 2015 г. здесь растаяло ещё 10 ледников с площадью менее 0,02 км<sup>2</sup> каждый. Таким образом, в 2015 г. оставшиеся 129 ледников имели площадь 21,57 км<sup>2</sup>, а объём – 0,4030 км<sup>3</sup>.

**Бассейн р. Майдантал**, правой составляющей р. Пскем, расположен между Таласским Алатау и хребтами Угамским и Майданталским системы Западного Тянь-Шаня. Первый Каталог ледников бассейна р. Майдантал составлен сотрудниками Узбекского Гидрометцентра по материалам АФС 1957 г. Тогда в бассейне насчитывалось 87 ледников общей площадью (без погребённых льдов) 49,8 км<sup>2</sup> и объёмом 1,5953 км<sup>3</sup>. Самым крупным в бассейне в 1957 г. был карово-долинный ледник Аютор-2 (№ 172) площадью 3,9 км<sup>2</sup> и длиной 3,8 км.

Второй Каталог ледников бассейна р. Майдантал составлен В.И. Морозовой с использованием космоснимков Landsat 2011 г. Согласно её подсчётам, в 2011 г. в бассейне зафиксировано 119 ледников с общей площадью 35,885 км<sup>2</sup> и объёмом 0,9529 км<sup>3</sup>. Таким образом, за прошедшие 54 года (1957–2011 гг.) число ледников увеличилось на 32, или 37%. При этом здесь полностью растаяло шесть ледников, а за счёт распада

образовалось 38 ледников. Площадь оледенения сократилась на 13,914 км<sup>2</sup>, или на 28%, а объём льда – на 0,6424 км<sup>3</sup>, или на 40%. Изменение основных характеристик оледенения за этот период по частным бассейнам района представлено в табл. 4.

Площадь ледников сокращалась со средней скоростью 0,258 км<sup>2</sup>/год, по 0,52 %/год, а объём льда – по 0,012 км<sup>3</sup>/год, т.е. по 0,74 %/год. Первенство по размерам от ледника № 172 перешло к долинному леднику № 142 (бассейн р. Чотан) с площадью в 2011 г. 3,186 км<sup>2</sup>. Средняя же площадь ледника сократилась почти вдвое – с 0,57 до 0,30 км<sup>2</sup>. Средний годовой баланс массы за весь период составил -25 г/см<sup>2</sup>, а безвозвратные потери вещества -13,5 м в.э. Рассчитанные по формулам сложных процентов площадь и объём 116 ледников, сохранившихся в бассейне р. Майдантал в 2015 г., составили соответственно 35,14 км<sup>2</sup> и 0,9250 км<sup>3</sup>.

#### Итоги мониторинга оледенения Казахстана за 60 лет

Сводные данные по изменению основных показателей оледенения во всех горно-ледниковых районах Казахстана с оценкой состояния ледников в 2015 г. представлены в табл. 5. За 60 лет, несмотря на некоторое увеличение числа ледников из-за их распада, за счёт стаивания ледников их число уменьшилось на 739, или на 26,5%. Число ледников сократилось во всех ледниковых районах, кроме бассейнов левых притоков р. Или и р. Майдантал в Западном Тянь-Шане, а также на хр. Саур. За исследуемый период площадь ледников сократилась с 1744,8 до 1032,1 км<sup>2</sup>, т.е. на 712,7 км<sup>2</sup>, по 11,9 км<sup>2</sup>/год. Относительное уменьшение площади составило 40,8%, по 0,68 %/год. Наибольшие потери ледниковой площади испытали северные склоны Заилийского и Джунгарского Алатау – 124,8 и 121,6 км<sup>2</sup> соответственно. Средняя площадь ледника по всем районам сократилась на 0,12 км<sup>2</sup> – с 0,62 до 0,50 км<sup>2</sup>. В середине прошлого века самым «оледелелым» в стране был север Джунгарского Алатау с площадью 304,1 км<sup>2</sup>. В 2015 г. первенство по этому показателю перешло к бассейну р. Чилик с площадью льда в 192 км<sup>2</sup>. Уменьшение объёма льда составило более 30 км<sup>3</sup>,

Таблица 5. Состояние и изменения оледенения гор Казахстана за 1955–2015 гг.

Район (речной бассейн)	1955–1957 гг.			2015 г.			1955–2015 гг.		
	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>V</i>	<i>K</i>	<i>F</i> (%)	<i>V</i>
Алтай	323	71,4	2,4063	116	37,2	1,1205	–207	–34,2 (47,9)	–1,2858
Саур	18	14,8	0,4696	21	11,0	0,3268	+3	–3,8 (25,7)	–0,1428
Дж.–Восток*	208	95,5	3,9288	74	52,2	2,0237	–134	–43,3 (45,3)	–1,9051
Дж.–Север	348	304,1	12,4543	294	182,5	7,0825	–54	–121,6 (40,0)	–5,3718
Дж.–Запад	382	215,0	8,5542	250	115,0	4,5643	–132	–100,0 (46,5)	–3,9899
Дж.–Юг	474	226,4	8,3688	332	117,2	4,1796	–142	–109,2 (48,2)	–4,1892
Р. Текес	184	143,9	6,3584	144	99,1	4,8260	–40	–44,8 (31,1)	–1,5324
Левые притоки р. Или	307	287,3	10,9857	318	162,5	5,2000	+11	–124,8 (43,4)	–5,7857
Р. Чилик	257	287,0	16,0220	220	192,0	10,8000	–37	–95,0 (33,1)	–5,2220
Р. Мерке	20	8,9	0,2553	18	4,1	0,0877	–2	–4,8 (53,9)	–0,1676
Р. Асса	29	5,4	0,0902	22	2,6	0,0304	–7	–2,8 (51,8)	–0,0598
Р. Арысь	156	35,3	0,7815	129	21,6	0,4030	–27	–13,7 (38,8)	–0,3785
Р. Майдантал	87	49,8	1,5953	116	35,1	0,9250	+29	–14,7 (29,5)	–0,6703
Всего	2793	1744,8	72,2704	2054	1032,1	41,5695	–739	–712,7 (40,8)	–30,701

\*Дж. – Джунгарский Алатау.

по 0,51 км<sup>3</sup>/год, при относительном сокращении объёма в 42,5%, или по 0,71 %/год.

Как и 60 лет назад, почти 90% площади оледенения Казахстана (920,5 км<sup>2</sup>) сосредоточено в Семиречье – Жетысу, т.е. на юге и востоке Алматинской области. При таком сокращении размеров оледенения баланс массы ледников был существенно отрицательным и оказался равным –33 г/см<sup>2</sup>. Безвозвратные потери массы льда со всей ледниковой площади составили около 20 м в.э.

Средний годовой ледниковый сток с гор Казахстана оценивается в 1,824 км<sup>3</sup>, или 1,23 млн м<sup>3</sup> с 1 км<sup>2</sup> площади льда. По отдельным районам доля ледникового стока в общем речном стоке колеблется от 0,6% в Казахстане до 25,0% на северном склоне Зайлийского Алатау и 26,0% в бассейне р. Чилик. Сток всех рек Казахстана оценивается примерно в 100 км<sup>3</sup>/год, из которых около половины формируется на территории страны. В этой последней величине (50 км<sup>3</sup>) доля ледникового стока составляет 1,8 км<sup>3</sup>, или 3,6%.

### Литература

1. Каталог ледников СССР: Т. 13–15. Л.: Гидрометеиздат, 1968–1980.
2. Руководство по составлению Каталога ледников СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 154 с.

### Заключение

Полученные за 60 лет данные по деградации оледенения гор Казахстана представляют собой базовую основу для мониторинга последующих изменений, происходящих с ледниками в разных горно-ледниковых районах Казахстана. Поэтому крайне важно проводить повторные каталогизации ледников (не реже одного раза в 10–15 лет) на основе дистанционных измерений из космоса. В дальнейшем это позволит получать однородные данные для сравнительного анализа поведения и состояния ледников разных морфологических типов, размеров и экспозиций в условиях современных и будущих изменений климата. Результаты повторных каталогизаций могут быть использованы как для обоснованных оценок изменений самого оледенения, так и для выявления изменчивости характеристик климата и стока высокогорья, существенно меняющихся в современную эпоху. Эти результаты позволят более объективно и точно прогнозировать состояние горного оледенения в близком и отдалённом будущем.

### References

1. *Katalog lednikov SSSR*. USSR Glacier Inventory. V. 13–15. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1968–1980. [In Russian].
2. *Rukovodstvo po sostavleniyu Kataloga lednikov SSSR*. Guide to the compilation of the USSR Glacier Inventory. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1966: 154 p. [In Russian].

3. Вилесов Е.Н. Динамика и современное состояние оледенения гор Казахстана. Алматы: КазНУ, 2016. 268 с.
4. Вилесов Е.Н., Морозова В.И., Северский И.В. Оледенение Джунгарского (Жетысу) Алатау: прошлое, настоящее, будущее. Алматы: Казах. нац. ун-т, 2013. 244 с.
5. Мазо А.Б., Глазырин Г.Е. Метод расчета объема стационарного горного ледника // Тр. САРНИГМИ. 1986. Вып. 17 (198). С. 88–98.
6. Тронов М.В. Ледники и климат. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 407 с.
7. Резниченко В.В. Оледенения на севере узла Хан-Тенгри // Тр. 3-го Всес. съезда геологов, 20–26 сентября 1928 г. Вып. 2. Ташкент, 1930. С. 65–78.
8. Усманова З.С. Оценка изменений ледников бассейнов рек Шарын и Текес (казахстанская часть бассейна реки Иле) по данным космического мониторинга // Вест. Казах. нац. ун-та. Сер. геогр. 2014. № 1 (38). С. 72–79.
9. Пальгов Н.Н. Современное оледенение в Заилийском Алатау. Алма-Ата: изд. АН КазССР, 1958. 312 с.
10. Вилесов Е.Н., Макаревич К.Г., Поляков В.Г. Пространственно-временная изменчивость ледниковой системы Заилийского Алатау // МГИ. 1993. Вып. 76. С. 90–95.
11. Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. Алматы: изд. Казах. нац. ун-та, 2001. 252 с.
12. Кокарев А.Л. Оценка современных изменений горно-ледниковых систем Юго-Восточного Казахстана: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Алматы: Институт географии, 2009. 20 с.
13. Ерасов Н.В. Метод определения объема горных ледников // МГИ. 1968. Вып. 14. С. 307–308.
3. Vilesov E.N. *Dinamika i sovremennoye sostoyanie oledeniya gor Kazakhstana*. Dynamics and current state of the glaciation in the mountains of Kazakhstan. Almaty: KazNU, 2016: 268. [In Russian].
4. Vilesov E.N., Morozova V.I., Seversky I.V. *Oledeniye Dzhungarskogo (Zhetysu) Alatau: proshloye, nastoyashchee, budushchee*. Glaciation of the Dzungarian (Zhetysu) Alatau: past, present, future. Almaty: KazNU, 2013: 244 p. [In Russian].
5. Mazo A.B., Glazyrin G.E. Method for calculating the volume of a stationary mountain glacier. *Trudy Sredneaziatskogo regional'nogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta*. Proc. of the Central Asian Regional Hydrometeorological Research Institute. 1986, 17 (198): 88–98. [In Russian].
6. Tronov M.V. *Ledniki i klimat*. Glaciers and climate. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1966: 407 p. [In Russian].
7. Reznichenko V.V. Glaciation in the north of the Khan-Tengri knote. *Trudy 3-go Vsesoyuznogo s'ezda geologov, 20–26 sentyabrya 1928g*. Proc. of the 3rd All-Union Congress of Geologists, September 20–26, 1928. Tashkent, 1930: 65–78. [In Russian].
8. Usmanova Z.S. Assessment of changes in glaciers in the basins of the Sharyn and Tekes rivers (Kazakhstan part of the Ile river basin) according to space monitoring data. *Vestnik Kazakhskogo Natsional'nogo Universiteta. Seriya geograficheskaya*. Herald of the Kazakh National University. Geographic Series. 2014, 1 (38): 72–79. [In Russian].
9. Pal'gov N.N. *Sovremennoye oledeniye v Zailiyskom Alatau*. Present-day glaciation in the Trans-Ili Alatau. Alma-Ata: Academy of Sciences of the Kazakh SSR, 1958: 312 p. [In Russian].
10. Vilesov E.N., Makarevich K.G., Polyakov V.G. Spatial-temporal variability of the glacial system of the Trans-Ili Alatau. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1993, 76: 90–95. [In Russian].
11. Vilesov E.N., Uvarov V.N. *Evolutsiya sovremennogo oledeniya Zailiyskogo Alatau v XX veke*. Evolution of the modern glaciation of Trans-Ili Alatau in the 20th century. Almaty: KazNU, 2001: 252 p. [In Russian].
12. Kokarev A.L. *Otsenka sovremennykh izmeneniy gorno-lednikovyykh sistem Yugo-Vostochnogo Kazakhstana*. Assessment of current changes in the mountain-glacier systems of South-East Kazakhstan. PhD Thesis. Almaty, 2009: 20 p. [In Russian].
13. Erasov N.V. Method for the volume assessment of mountain glaciers. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1968, 14: 307–308. [In Russian].