

УДК 551.32

ИЗМЕНЕНИЕ ОЛЕДЕНЕНИЯ И КАТАЛОГ ЛЕДНИКОВ ХРЕБТА САУР (САУЫР) ПО СОСТОЯНИЮ НА 2005 ГОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Канд. геогр. наук А.Л. Кокарев

Канд. геогр. наук И.Н. Шестерова

Составлен Каталог оледенения хребта Саур (Саур) по состоянию на 2005 год с использованием космических снимков и геоинформационных систем. Проведено сравнение параметров оледенения с предыдущими исследованиями, оценены темпы изменения.

Картографической основой геоинформационной системы (ГИС) состояния ледников хребта Саур (Саур) на 2005 год служат космические снимки Landsat 7 ETM+ (дата съемки 21.08.2005 г.) и топографические карты М 1:100000 издания 1983 г. Использование этих материалов позволило наиболее полно отразить пространственную информацию о ледниковых комплексах исследуемой территории и подготовить основу для хранения, анализа и оперативного использования пространственных данных. Использование космической информации позволило выделить ледники, моренные комплексы, озера и другие объекты гляциологического мониторинга на момент съемки. К сожалению, снимок Landsat 7 ETM+ не самого хорошего разрешения (размер pixel – 30 м), что несколько затрудняло обработку снимка и его дешифрирование, которые произведены по известным методикам [7] с применением программ ENVI 4.6.1, ERDAS Imagine 8.6 и MapInfo 7.8. Авторы постарались свести неизбежную ошибку к минимуму, в частности, с использованием панхроматического канала (что увеличивает наземное разрешение или размер pixel до 15 м), выбором мультиспектральных изображений (каналы 3-2-1, 4-2-1, 5-3-1), максимально удовлетворяющих задачам проекта и выполнением различных видов коррекции.

В ходе работ были выполнены следующие задачи обработки ДДЗ:

1. Выбор мультиспектральных изображений максимально удовлетворяющих задачам проекта связанных с оценкой изменений;
2. Импорт изображений в формат программ обработки данных ДЗ (ERDAS Imagine 8.6, ENVI 4.6.1);
3. Выполнение различных видов коррекции (атмосферной, яркостной и т.д.);
4. Географическая коррекция снимков (привязка мультиспектрального

- изображения в систему координат WGS84);
5. Коррекция снимка с имеющимися топографическими картами и материалами аэрофотосъемки, трансформированными в ГИС;
 6. Оцифровка гляциологической информации (MapInfo 7.8);
 7. Создание цифровой модели рельефа (ЦМР);
 8. Экспорт полученных карт в ГИС.

Геоинформационная система определяется как комплекс программных и технических средств, включающий аппаратные средства и программное обеспечение, предназначенное для ввода, хранения и обработки картографической информации с целью анализа и тематического моделирования [3, 5]. Основу ядра составляют база геоданных (векторные слои, тематические карты, космические снимки, ЦМР) и база данных (данные исследований, аналитические данные по исследованиям). При этом поддерживается связь между графическими объектами карты и записями в базах данных.

Анализ является инструментальной частью комплекса ГИС. Оно состоит из программных модулей реализующих различные аспекты поведения системы и работы ГИС. Основу ядра составляет программный комплекс MapInfo 7.8. ГИС включает 6 основных слоев, составляющих топографическую основу проекта: границы; рельеф (создание ЦМР); гидрография; оледенение по годам исследования; морены по годам исследования; моренные и приледниковые озера и более 10 вспомогательных слоев по исследуемой территории (рис. 1).

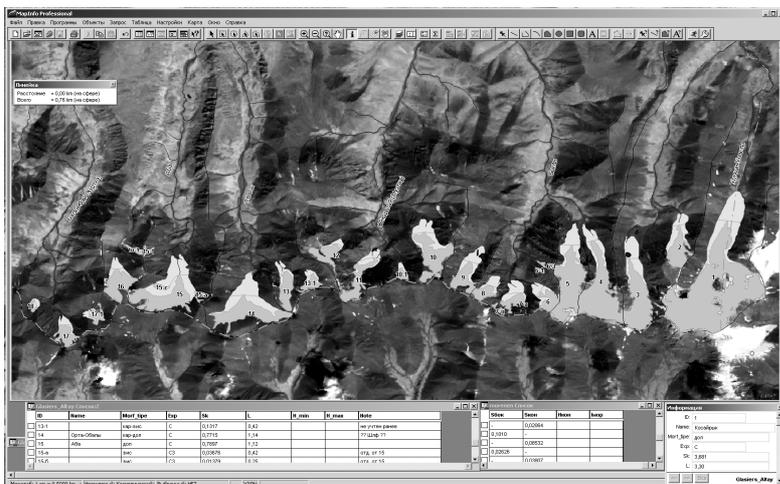


Рис. 1. Пример работы программы MapInfo 7.8. в режиме просмотра (участка оледенения хр. Сауыр).

Для качественной идентификации некоторых гляциологических объектов (в частности, морен) возникла необходимость в создании цифровой модели рельефа (ЦМР). Она была создана с применением данных спутникового зондирования поверхности Земли (по радарным данным SRTM) с трансформацией в WGS84 [4, 5, 6]. В результате были построены изолинии через 100 м, и появилась возможность качественной визуализации космических изображений с помощью инструментариев объема.

Оледенение хребта Сауыр (Саур) территориально относится к Каталогу ледников СССР (т. 15 - Алтай и западная Сибирь) [1]. Для топоосновы ГИС была принята проекция UTM WGS84 (UNIVERSAL TRANSVERSE MERCATOR).

Хребет Сауыр с горной группой Музтау является частью Саур-Тарбагатайского горного поднятия, расположенного между горными системами Алтая и Жетысуского Алатау. Он вытянут в широтном направлении и окаймлен обширными межгорными впадинами – Жайсанской на севере и Алакольской на юго-западе. Главный водораздельный гребень хребта Сауыр имеет высоты от 3400 м на западе до 3800 м на востоке. Хребет Сауыр резко ассиметричен: ширина северного склона 20...25 км, а южного – 4...6 км. Поднятие хребта представляет собой ассиметричный виргирующий к западу и востоку свод, резко приподнятый на юге и слабо наклоненный к северу и северо-западу [1].

Рельеф центральной части хребта Сауыр характеризуется сравнительно слабым расчленением. Лишь местами в центральной водораздельной части рассматриваемого хребта на высотах 3300...3700 м, а также вдоль речных долин и тектонических уступов развиты формы типично горного среднерасчлененного крутосклонного гляциального рельефа. Здесь верховья речных долин с глубиной расчленения от 200 до 500 м представляют циркуобразные расширения с ледниками, замыкающиеся стенками цирков и каров, открытых к северо-западу, северу и северо-востоку [1].

Следы оледенения стадии Фернау на хребте Сауыр представлены в виде троговых долин, холмисто-моренных и грядовых образований на днищах трогов, боковых террас, оглаженных скал и заплечиков на склонах трогов, серий каров и цирков. Длина троговых долин на южном склоне хребта не превышает 5...6 км, а на северном склоне она местами достигает 15...18 км [1].

Климат рассматриваемого района континентальный. Количество осадков составляет 500...600 мм в год (200...250 мм в летний период). Основную влагу приносят западные и северо-западные ветры. Зимой на этот

район распространяется действие сибирского антициклона, для которого характерна ясная погода с низкими температурами и незначительным количеством осадков. Средняя годовая температура воздуха в гляциальной зоне хребта составляет от -7 до -9 °С, средняя температура теплого периода (май-сентябрь) 6...8 °С, холодного – от -14 до -16 °С. Минимальные температуры в середине зимы достигают -40...-45 °С и ниже. Летом температура воздуха нередко повышается до 20 °С, и таким образом, амплитуда экстремальных температур превышает 60 °С [1].

Все ледники на рассматриваемой территории были разделены на три группы: 1 – ледники основных долин, залегающие между горными хребтами (сложные долинные, котловинные, простые и асимметричные долинные); 2 – ледники, расположенные на склонах хребтов (шлейфовые, карово-долинные, висячие каровые, каровые, карово-висячие, висячие); 3 – ледники на денудационных поверхностях (плоских вершин). Сведения о ледниках различных морфологических типов хребта Сауыр по состоянию на 2005 год приведены в основной таблице каталога, составленной в соответствии с [9].

Морфологический тип и общая экспозиция ледников определялась по предыдущему каталогу [1] и корректировались в случаях изменения площади по топографическим картам и космическим снимкам.

Для каждой, выделенной по бассейнам группы ледников, дается суммарная площадь открытого льда, суммарный объем всех ледников бассейна, суммарная площадь боковых и конечных морен, а также объем погребенных льдов. Расчет объема ледников V_l и погребенного льда q_{nl} производился по формулам, рекомендованным П.А. Черкасовым для Джунгарского (Жетысуского) Алатау [11].

- 1) Для ледников «основных долин»:

$$V_l = 29,76F_l^{1,38} / 10^3, \quad (1)$$

$$q_{nl} = 29,76 \cdot F_{ol}^{0,379} \cdot K_{nl} \cdot F_{nl} \cdot 10^{-3}. \quad (2)$$

- 2) Для ледников «висячих долин и каров», площадью менее 3 км²:

$$V_l = 49,37F_l^{1,2} / 10^3, \quad (3)$$

$$q_{nl} = 49,369 \cdot F_{ol}^{0,202} \cdot K_{nl} \cdot F_{nl} \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

- 3) Для ледников «горных склонов»:

$$V_l = 0,00393F_l^{1,124} / 10^6, \quad (5)$$

$$q_{nl} = 0,00393 \cdot F_{ol}^{0,124} \cdot K_{nl} \cdot F_{nl} \cdot 10^{-6}. \quad (6)$$

- 4) Для ледников площадью менее 0,1 км²:

$$V_l = 3,93 \cdot 10^{-9} \left(\frac{\sum F_l}{n} \right)^{1,12}, \quad (7)$$

$$q_{пл} = 0,00393 \cdot \left(\frac{F_{ол<0,1}}{n_{л<0,1}} \cdot n_{лм<0,1} \right)^{0,124} \cdot K_{пл} \cdot F_{пл<0,1} \cdot 10^{-6}, \quad (8)$$

где: F_l – площадь открытого льда; F_i – площадь i -го ледника $<0,1 \text{ км}^2$; $K_{пл}$ – коэффициент перевода средней толщины открытой части ледника в толщину «мертвого» погребенного льда (0,5); $F_{ол}$ – площадь открытого льда; $F_{пл}$ – площадь погребенного льда; $F_{ол<0,1}$ – общая площадь открытого льда ледников в бассейне реки с площадью $< 0,1 \text{ км}^2$; $n_{лм<0,1}$ – общее количество ледников в бассейне реки с площадью $<0,1 \text{ км}^2$, имеющих площади погребенного льда под боковыми и конечными моренами; $F_{пл<0,1}$ – площадь погребенного льда у ледников с площадью $<0,1 \text{ км}^2$. В формулах (1) – (4) F – в км^2 , а в формулах (5) – (8) в м^2 .

Согласно проведенной инвентаризации в бассейнах левых притоков р. Иртыш (хребта Сауыр) по состоянию оледенения на 2005 год насчитывается в общей сложности 31 ледник (рис. 2, таблица), причем 8 ледников (общей площадью $0,470 \text{ км}^2$ и объемом $0,012 \text{ км}^3$) были пропущены при первичной каталогизации, а некоторые крупные ледники распались на более мелкие. Общая площадь оледенения составила $12,754 \text{ км}^2$, суммарный объем ледников – $0,491 \text{ км}^3$. Площадь занятая боковыми и конечными моренами составила $5,433 \text{ км}^2$, объем льда под моренами насчитывает, согласно нашим расчетам, порядка $0,103 \text{ км}^3$. У семи ледников изменился морфологический тип. Ледник Кьин Бокан (№ 5) определен в предыдущем каталоге как плоских вершин, хотя в более ранних работах Ю.П. Селеверстова [10] классифицируется как карово-висячий. Этот ледник, по нашему мнению, является долинным с хорошо выраженным спускающимся вниз по долине языком. Ледники Кичкене-Бокан, Ой-Карагай, Шыгыз-Обалы, Кичкине-Аба вследствие сокращения площади превратились из карово-висячих в каровые, ледник Кичкине-Куртка из карово-висячего в висячий. Ледник Орта-Музтау скорее всего ранее был ошибочно определен как висячий, так как на снимках и по характерным признакам рельефа он является скорее карово-висячим.

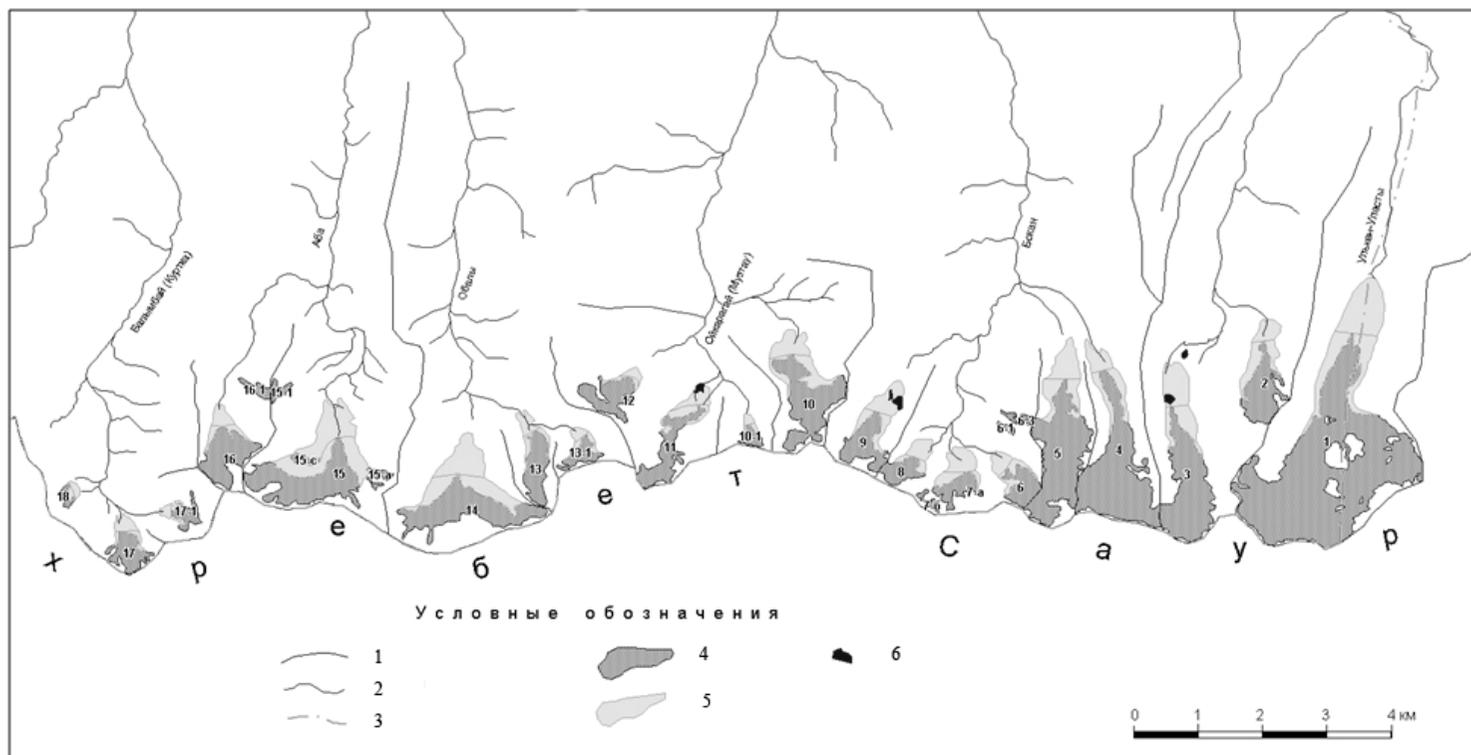


Рис. 2. Карта-схема оледенения хребта Сауыр.

1 – хребты, 2 – реки, 3 – государственные границы, 4 – ледники, 5 – морены, 6 – гляциальные (моренные) озера.

Таблица

Оледенение бассейнов левых притоков р. Иртыш (северного склона хребта Сауыр, казахстанская часть)

№ по схеме		Название ледника	Морфологический тип	Экспозиция	Площадь, км ²		Высота, м н.у.м.			Площадь морены, км ²		Объем, км ³		
2005	1960				1960	2005	нижней	высшей	Длина, км	боковая	конечная	открытый лед		лед под мореной
												в 1960 г.	в 2005 г.	
Бассейн р. Улькен-Уласты (реки Черный Иртыш, Иртыш) (Северный склон хребта Сауыр)														
1	1	Косайрык	дол	С	3,6	3,681	3240	3812	3,3	0,409	0,442	0,17409	0,17951	0,02074
2	2	Беркут-Кунган	кар-вис	С	0,7	0,425	3360	3530	1,26	0,171	0,101	0,03216	0,01767	0,00564
3	3	Дара	дол	С	1,4	0,919	3160	3700	2,08	0,172	0,238	0,04733	0,02647	0,00591
Бассейн р. Кендерлык (оз. Зайсан, р. Иртыш) (Северный склон хребта Сауыр)														
4	4	Улькун-Бокан	дол	С	1,3	1,274	3030	3720	2,26	0,150	0,118	0,04273	0,04156	0,00438
5	5	Кьин-Бокан	дол	С	1,3	1,091	3200	3680	2,25	0,180	0,187	0,04273	0,03356	0,00564
6		не учтен ранее	вис	СЗ		0,023			0,3				0,00031	
7		не учтен ранее	вис	СЗ		0,022			0,33				0,00029	
8		не учтен ранее	вис	СЗ		0,019			0,2				0,00025	
9	6	Орта-Бокан 1	кар	СЗ	0,3	0,213	3320	3640	0,67	0,081	0,078	0,01161	0,00768	0,00287
10	7	Орта-Бокан 2	кар	СВ	0,4	0,174	3150	3600	0,66	0,073	0,143	0,01641	0,00605	0,00374
11		отделился от 10	вис	СВ		0,019			0,13				0,00025	
12		отделился от 10	вис	СВ		0,015			0,18				0,00019	
13	8	Орта-Бокан 3	кар	СВ	0,2	0,174	3320	3650	0,81	0,037	0,093	0,00713	0,00605	0,00225

14	9	Кичкине-Бокан	кар	СВ	0,4	0,315	3200	3720	0,97	0,099	0,175	0,01641	0,01229	0,00536
15	10	Ой-Карагай	кар	С	0,8	0,683	3240	3740	1,27	0,172	0,170	0,03775	0,03121	0,00783
16		не учтен ранее	кар-вис	С		0,059			0,3	0,019	0,021		0,00166	0,00055
17	11	Орта-Музтау	кар-вис	СВ	0,2	0,352	3000	3620	1,52	0,101	0,085	0,00713	0,01405	0,00372
18	12	Багыс-Музтау	пл. вер.	СВ	0,2	0,300	3180	3450	0,67	0,026	0,038	0,00357	0,00563	0,00060
19		не учтен ранее	кар-вис	С		0,132	3400	3650	0,42	0,040	0,034		0,00432	0,00121
20	13	Шагыз-Обалы	кар	С	0,7	0,298	3240	3700	1,13	0,052	0,069	0,03216	0,01152	0,00234
21	14	Орта-Обалы	кар-дол	С	0,8	0,772	3200	3520	1,14	0,337	0,295	0,03775	0,03614	0,01480
22		отделился от 24	вис	СЗ		0,037			0,42				0,00053	
23		отделился от 24	вис	СЗ		0,014			0,25				0,00018	
24	15	Аба	дол	С	1,5	0,790	2990	3600	1,12	0,349	0,352	0,05206	0,02149	0,00954
25		отделился от 24	вис	С		0,041			0,15				0,00060	
26		не учтен ранее	вис	В		0,055			0,38				0,00083	
27	16	Кичкине-Аба	кар	С	0,6	0,436	3200	3600	0,97	0,059	0,074	0,02672	0,01822	0,00277
28		не учтен ранее	вис	СЗ		0,056			0,56				0,00085	
29		не учтен ранее	кар-вис	СЗ		0,105	3360	3500	0,49	0,030	0,027		0,00330	0,00089
30	17	Куртка	кар	С	0,3	0,225	3290	3500	0,64	0,032	0,064	0,01161	0,00820	0,00175
31	18	Кичкине-Куртка	вис*	СВ	0,1	0,037	3290	3380	0,22	0,016	0,024	0,00310	0,00095	0,00051
Итого					14,8	12,754				2,604	2,828	0,602	0,491	0,103

Необходимо отметить, что слегка увеличилась площадь самого крупного долинного ледника Койсарык с 3,6 до 3,681 км², а также карово-висячего ледника Орта-Музтау (с 0,2 до 0,352 км²) и площадь вершинного Батыс-Музтау (с 0,2 до 0,300 км²), однако не имея промежуточных (или последующих) снимков невозможно говорить об увеличении, так как не исключены ошибки первоначальных определений.

По полученным данным был проведен предварительный сравнительный анализ. Количество ледников с 1960 года увеличилось с 18 до 31 не только за счет обнаружения 8 ранее неучтенных ледников, но и за счет распада более крупных ледников Орта-Бокан-2 (отделились № 11 и № 12) и Аба (отделились №№ 22, 23, 25). Общая площадь открытой части оледенения (без учета 8 ранее пропущенных ледников) за период 1960...2005 гг. сократилась на 2,516 км², что составило от первоначальной площади 14,8 км² около 17 %, объем уменьшился на 0,123 км³ или на 20 %. Скорость деградации площади оледенения за период 1960-2005 гг. составила порядка 0,056 км²/год или 0,38 %/год, что значительно ниже средней скорости деградации площади оледенения Илейского (Заилийского) Алатау, где за период 1955...2008 гг. она составляла в среднем 0,8 %/год [4], а также южного (за период 1956-2000 гг. 0,95 %/год) и северного (в среднем 0,76 %/год [2]) склонов Жетысуского (Джунгарского) Алатау, она практически соответствует скорости деградации ледников российского Алтая. Согласно данным [8] площадь оледенения Южно-Чуйского и Северо-Чуйского хребтов Горного Алтая сократилась за период 1952-2004 гг. на 19,7 % и соответственно скорость деградации составляла около 0,38 %/год. Исходя из географического положения и сходных климатических условий, можно предположить, что средняя скорость деградация оледенения казахстанского Алтая будет соответствовать средней скорости деградации оледенения Сауыра и российского Алтая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилесов Е.Н. Каталог ледников СССР, Т. 15 (Алтай и западная Сибирь), Вып. 1 (горный Алтай и верхний Иртыш), часть 1 – бассейны левых притоков р. Иртыша. – Л.: 1969. – С. 3-24.
2. Вилесов Е.Н., Морозова В.И. Изменение размеров современного оледенения и ледникового стока северной Джунгарии во второй половине 20 века // Гидрометеорология и экология. – 2008. – №4. – С. 124-143.
3. Гельдыев Б.В., Шкурычев Д.С., Ахметов А.Т., Максимов М.А., Севирская Н.Н. Создание ГИС-проекта по картографированию зарослей ко-

- нопли в Шуйской долине. // Вестник КазНУ. Серия геогр. – 2007. – № 2 (25). – С. 75-79.
4. Кокарев А.Л. Мониторинг гляциального пояса северного склона Илейского Алатау с использованием космической информации и ГИС. // Вестник КазНУ. Серия геогр. – 2009. – № 2 (29). – С. 20-27.
 5. Кокарев А.Л. Применение дистанционного зондирования (АФС, космоснимки) и ГИС для определения изменения горных гляциальных областей на примере Южной Джунгарии (Жетысуский Алатау): Сб. докл. / Межд. конф. по геодезии и геоинформатике (ICGG – 2007) 18-19 октября 2007 г. при Кыргызском Гос. Ун-те строительства, транспорта и архитектуры (КГУСТА). – Бишкек: 2007. – С. 92-99.
 6. Кокарев А.Л., Шестерова И.Н. Современное состояние оледенения и погребенных льдов Южного Жетысуского (Джунгарского) Алатау. // Вопросы географии Сибири. – 2009. – Вып. 27. – С. 62-67.
 7. Лурье И.К., Косиков А.Г., Ушакова Л.А., Карпович Л.Л., Любимцева М.Ю., Тутубалина О.В. Компьютерный практикум по цифровой обработке изображений и созданию ГИС (Дистанционное зондирование и географические информационные системы). – М.: 2004. – 174 с.
 8. Носенко Г.А., Хромова Т.Е., Муравьев А.Я., Нарожный Ю.К., Шахгеданов М.В. Использование исторических данных и космических изображений для оценки изменений размеров ледников на Алтае // Лед и снег. – 2010. – №2 (110). – С. 19-24.
 9. Руководство по составлению Каталога ледников СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 154 с.
 10. Селиверстов Ю.П. Современное оледенение хребта Саур. // Доклады АН СССР. – 1964. – 158. – № 5. – С. 127-153.
 11. Черкасов П.А. Расчет составляющих водно-ледового баланса внутриконтинентальной ледниковой системы. – Алматы, Каганат, 2004. – 334 с.

Институт географии МОН РК, г. Алматы

**ГАЗ-ТЕХНОЛОГИЯ ЖӘНЕ ДИСТАНЦИОНДЫҚ ЗОНДЫЛАУ
НӘТИЖЕЛЕРІ (2005 Ж) АРҚЫЛЫ САУЫР ЖОТАСЫНЫҢ
МҰЗДЫҚТАРЫНЫҢ КАТАЛОГЫ ЖӘНЕ МҰЗБАСУЛАРДЫҢ
ӨЗГЕРІСІН АНЫҚТАУ**

Геогр. ғылымд. канд. А.Л. Кокарев
Геогр. ғылымд. канд. И.Н. Шестерова

Ғарыштық түсірімдерді және ГАЗ-нің мәліметтерін пайдалана отырып, 2005 ж. Сауыр мұз басуының каталогы жасалды. Өткендегі зерттеулерді пайдалана отырып, мұзбасудың параметрлерін салыстыру жұмыстары жүзеге асырылып, олардың кері қарқыны бағаланды.