

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЛЬДА В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАТУНСКОГО ХРЕБТА ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.А. Никитин, А.В. Веснин, А.В. Осипов, Н.В. Игловская
Томский государственный университет

Представлены результаты радиозондирования 14 ледников в западной части Катунского хребта Центрального Алтая.

В летнем полевом сезоне 2000 г. гляциологическим отрядом Томского государственного университета были осуществлены радиофизические исследования ряда ледников в западной части Катунского хребта Центрального Алтая. Работы проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках инициативного научного проекта «Изучение закономерностей распределения льда в ледниковой системе Центрального Алтая на основе данных радиолокационного зондирования».

Произведено подробное радиолокационное зондирование 14 ледников, расположенных в верховьях рек Мульты, Курагана (притоки: Иолдо, Левая Осиновка), Кучерлы (притоки Иолдоайры, Конийайры) и Капчал. Среди прозондированных ледников 3 – долинные, 6 – карово-долинные, 4 – каровые и 1 – котловинный. Часть ледников находится на территории Катунского государственного заповедника. Диапазон высот залегания прозондированных ледников находится в пределах от 2200 до 3300 м. На слиянии рек Осиновка и Кураган был организован базовый лагерь экспедиции. Из него было сделано три радиальных многодневных маршрута на исследуемые ледники.

В настоящее время радиолокационное зондирование является одним из самых производительных геофизических методов дистанционного изучения ледников. Сущность этого метода заключается в следующем. В ледник передатчиком через передающую антенну излучается короткий высокочастотный радиопульс, который, проходя через ледник, отражается от неоднородностей льда и от его ложа. Отраженные радиопульсы поступают через приемную антенну в приемник и затем анализируются схемой обработки. Информация о характеристиках неоднородностей и толщине ледника заключена во временной задержке и интенсивности отраженных радиосигналов.

Для зондирования был использован портативный радиолокационный измеритель толщины льда, разработанный в лаборатории гляциоклиматологии Томского государственного университета. Основные технические характеристики прибора таковы: несущая частота 700 МГц, чувствительность приемника 125 дБ, длительность зондирующего импульса 50 нс, полоса пропускания приемника 40 МГц, мощность излучения передатчика в импульсе 10 Вт, диаграмма направленности приемной и передающей антенных решеток 30°, энергетический потенциал локатора не менее 150 дБ, вес прибора с источником питания и антеннами 10 кг.

Зондирование проводилось по ряду поперечных и продольных профилей в точках отстоящих друг от

друга на 25, 50 или 100 м. Интервал съемки выбирался в зависимости площади исследуемого ледника и получаемых значений толщины. При радиозондировании толщину льда измеряли по шкале индикатора, представляющего собой светодиодную матрицу. Каждый ее элемент при принятой скорости распространения радиоволн во льду 169 ± 2 м/мкс соответствует толщине льда 4 м. Такое значение скорости радиоволн в сплошном горном льду хорошо согласуется с нашими данными измерений в районе скважин на ледниках Алтая, Тянь-Шаня и Кавказа [2–4]. Наряду с сигналами, отраженными ложем ледника, на записях присутствуют сигналы от внутренних неоднородностей и промежуточных отражающих горизонтов. При интерпретации данных радиозондирования сигналом от ложа считался тот, который имел максимальную временную задержку, присутствовал на записях всех отсчетов в месте съемки и согласовывался с измерениями в соседних точках профилей.

Построение карт толщины ледников, вычисление их объемов и средних значений толщины выполнено на персональном компьютере с использованием программного обеспечения SURFER. Результаты съемки отображены табл. 1. В ней представлены следующие сведения: номер ледника по каталогу [1], название ледника, морфологический тип ледника, основная экспозиция, нижняя и верхняя отметки высот ледника над уровнем моря, площадь ледника на момент измерения, объем ледника, средняя толщина ледника и максимальная толщина.

На рис. 1. представлена карта толщин карового ледника Томич (№ 69 по каталогу ледников [1]), на котором в 1969–1973 гг. проводились комплексные гляциологические исследования в рамках программы Международного гидрологического десятилетия [6]. Ледник залегает в двухкамерном цирке, слабо наклоненном в восточном направлении. Нижняя и верхняя отметки ледника – соответственно 2200 и 2850 м. По данным зондирования значительная часть ледника имеет толщины в пределах 40–50 м, средняя толщина составляет 31,2 м, а максимальная толщина – 55 м. На карте отчетливо прослеживается подледниковый гребень, разделяющий ледник на две части. Толщины льда в этом районе уменьшаются от 40 до 25 м.

В табл. 2 представлены значения площадей и объемов льда в ледниках на различных высотах, заключенных между соседними стометровыми горизонталями поверхности. Диаграммы распределения объемов и площадей ледников по высоте показаны на рис. 2. 63% объема льда находится в высотном интер-

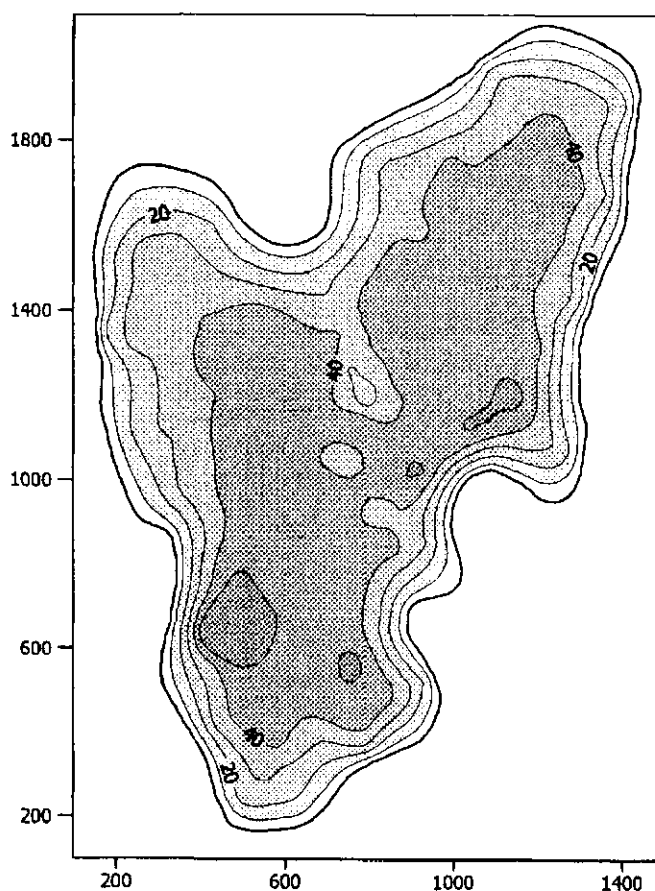


Рис. 1. Карта толщин ледника Томи́ч

Таблица 1

Результаты зондирования ледников западной части Катунского хребта

№	№ по каталогу	Название ледника	Морф. тип	Эксп.	Выс.отм. min., м	Выс.отм. max., м	Площадь, км ²	Объем, км ³	Толщ. средн., м	Толщ. max, м
1	15.1.4.20	№20	кар.-дол.	Ю	2690	3200	1,546	0,0556	35,9	76
2	15.1.4.69	Томи́ч	каровый	В	2200	2850	1,550	0,0483	31,2	55
3	15.1.4.72	№72	кар.-дол.	С	2300	2700	0,865	0,0245	28,4	50
4	15.1.4.73	№73	кар.-дол.	С	2300	2700	1,146	0,0412	36,0	80
5	15.1.4.74	№74	кар.-дол.	С	2350	2800	0,932	0,0320	34,3	67
6	15.1.4.97	№97	каровый	СВ	2350	2920	0,527	0,0157	29,8	55
7	15.1.4.98	№98	кар.-дол.	СВ	2400	2900	0,508	0,0137	26,7	55
8	15.1.4.136	№136	дол.	С	2450	3140	1,657	0,0509	30,7	50
9	15.1.4.143	№143	дол.	ЮЗ	2440	3130	0,960	0,0379	39,4	101
10	15.1.4.145	№145	каровый	ЮЗ	2640	3400	0,358	0,0128	35,7	76
11	15.1.4.146	№146	каровый	ЮЗ	2660	3400	0,337	0,0084	24,9	50
12	15.1.4.174	Иолдоайры	котловин.	СВ	2640	2930	3,034	0,1215	40,1	97
13	15.1.4.175	№175	кар.-дол.	С	2640	2920	1,333	0,0572	42,9	105
14	15.1.4.182	Кониайры	дол.	С	2560	3490	3,681	0,1113	30,2	73

Т а б л и ц а 2

Распределение объемов и площадей ледников по высоте

Высоты, м	№20		Томиш		№72		№73		№74		№97		№98	
	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²
2.2-2.3					0,0055	0,1547	0,0013	0,0678						
2.3-2.4			0,0035	0,1451	0,0116	0,3153	0,0062	0,1609	0,0017	0,0710	0,0003	0,0184	0,0011	0,0543
2.4-2.5			0,0123	0,3167	0,0062	0,2154	0,0159	0,2995	0,0053	0,1502	0,0083	0,2655	0,0071	0,1844
2.5-2.6			0,0215	0,5882	0,0010	0,0720	0,0113	0,2750	0,0122	0,2695	0,0062	0,1610	0,0048	0,1814
2.6-2.7			0,0104	0,3412	0,0002	0,0290	0,0052	0,1549	0,0119	0,2932	0,0009	0,0451	0,0003	0,0359
2.7-2.8	0,0086	0,2952	0,0009	0,0668			0,0016	0,0757	0,0011	0,0828				
2.8-2.9	0,0316	0,6055					0,0003	0,0273						
2.9-3.0	0,0154	0,5807												
3.0-3.1														
3.1-3.2														
3.2-3.3														
Сумма	0,0557	1,4815	0,0485	1,4579	0,0245	0,7864	0,0418	1,0612	0,0322	0,8666	0,0158	0,4901	0,0133	0,4560

Высоты, м	№136		№143		№145		№146		Исходайры		№175		№182	
	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²	V, км³	S, км²
2.2-2.3														
2.3-2.4														
2.4-2.5	0,0050	0,1789											0,0005	0,0573
2.5-2.6	0,0153	0,4061	0,0008	0,0506					0,0156	0,3742			0,00283	0,1875
2.6-2.7	0,0182	0,4452	0,0086	0,2582					0,0392	0,7649	0,0013	0,0758	0,0124	0,3642
2.7-2.8	0,0109	0,3682	0,0213	0,3879	0,0041	0,1226	0,0044	0,1496	0,0455	1,2206	0,0388	0,8604	0,0405	0,8307
2.8-2.9	0,0015	0,1594	0,0076	0,2124	0,0087	0,2158	0,0041	0,1671	0,0215	0,5599	0,0171	0,3496	0,0234	0,6334
2.9-3.0													0,0187	0,6464
3.0-3.1													0,0112	0,6564
3.1-3.2													0,0015	0,0797
3.2-3.3													0,0003	0,0446
Сумма	0,0509	1,5578	0,0383	0,9091	0,0128	0,3385	0,0085	0,3168	0,1218	2,9196	0,0572	1,2859	0,1113	3,5002

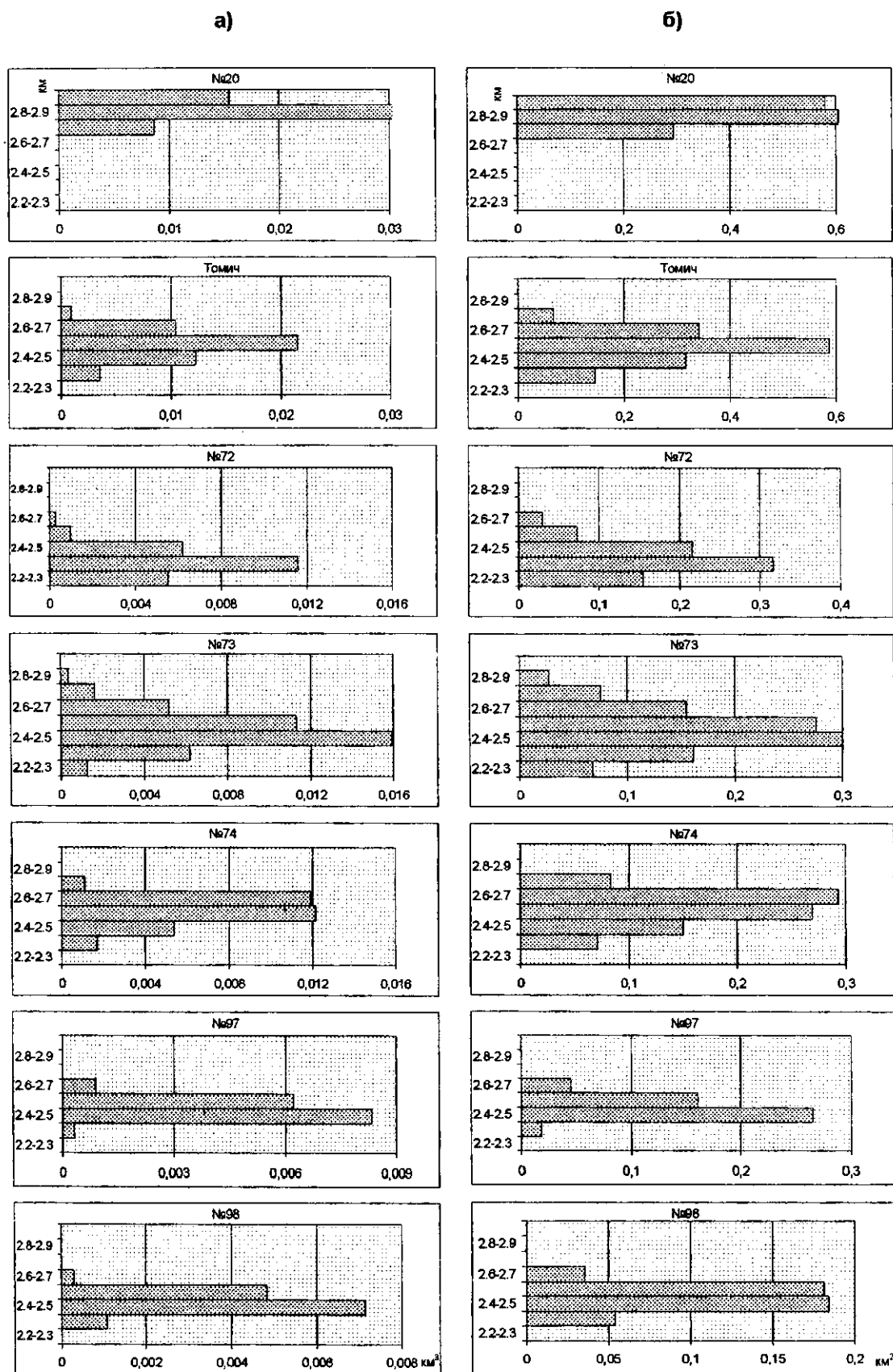


Рис.2. Распределения объемов - а) и площадей - б) ледников по высоте

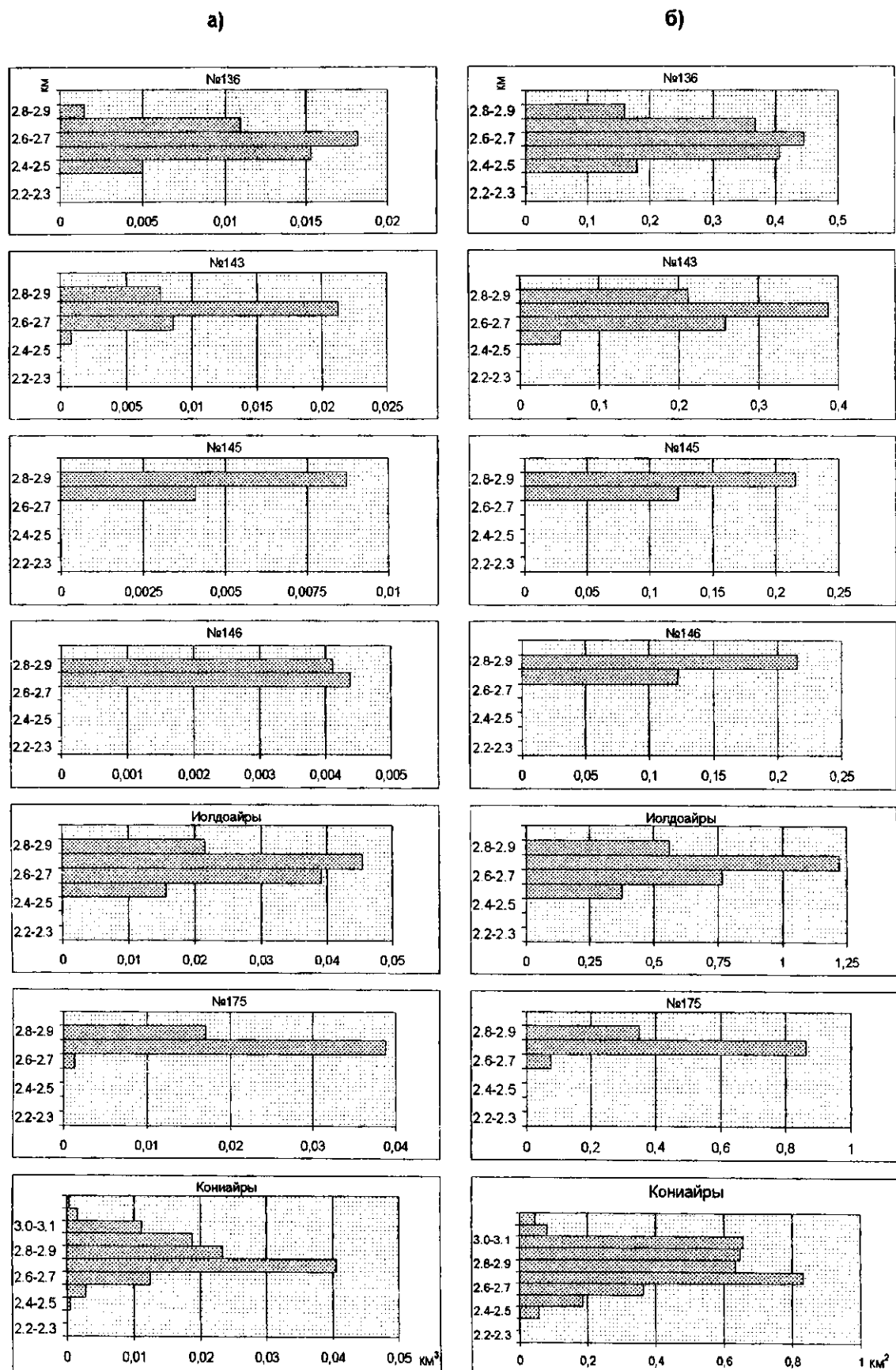


Рис.2. (продолжение) Распределения объемов - а) и площадей - б) ледников по высоте

вале 2600–2900 м. Около 30% – в интервале 2200–2600 м, а остальные 7% – выше уровня 2900 м.

По результатам подробной радиолокационной съемки ледников получена зависимость между их объемами и площадями (рис. 3), которая аппроксимирована степенной функцией с коэффициентом корреляции 0,967.

$$V = 0,0328 \cdot S^{1,0901},$$

где S – площадь ледника, км^2 ; V – объем ледника, км^3 .

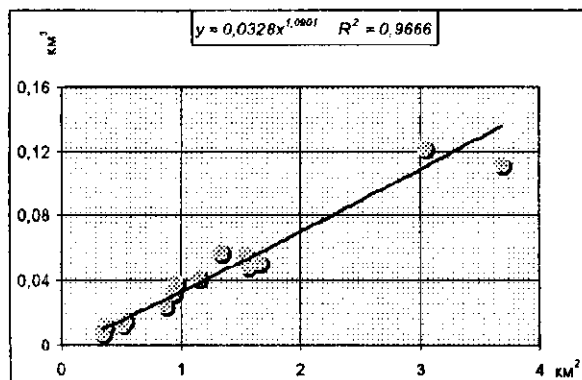


Рис. 3. Зависимость объемов прозондированных ледников от их площадей

Эта зависимость была применена для расчета объемов незондированной части ледников западной оконечности Катунского хребта. Для этой цели использовались данные Каталога ледников [1]. Характеристики распределения оледенения по бассейнам сведены в табл. 3. В ней представлены наименования бассейна, количество ледников в бассейне, общая площадь оледенения бассейна, объем льда в ледниках, рассчитанный по полученной зависимости. По нашим оценкам в рассматриваемых ледниках Катунского хребта аккумуляровано 2,2528 км^3 льда.

Таким образом, произведена оценка запасов льда и его распределение в западной части Катунского хребта. Средняя толщина оледенения составляет 32 м, что почти в два раза меньше, чем в Северо-Чуйском и Южно-Чуйском хребтах (57,7 и 56,7 м соответственно) [5]. В рассматриваемых ледниках западной части Катунского хребта аккумуляровано 2,2528 км^3 льда. Большая часть льда (1,8 км^3) находится в бассейнах северных макросклонов хребта.

Авторы выражают благодарность студентам кафедры краеведения и туризма геолого-географического факультета ТГУ А.П. Лушникову, А.Б. Суразакову и А.В. Чеботареву за активное участие в экспедиционных работах.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 99-05-65564.

Таблица 3

Суммарные объемы ледников в бассейнах рек западной части Катунского хребта, полученные по степенной зависимости $V = 0,0328 \cdot S^{1,0901}$

№	Бассейны рек и их притоков	Количество ледников в бассейне	Номера ледников по каталогу [1]	Площадь ледников бассейна по каталогу, км^2	Расчитанный объем ледников, км^3
1	р. Верх.Кураган	13	29-41	4,1	0,1226
2	Оз.Таймень	6	42-47	1,3	0,0378
3	р. Озерная	6	48-53	5,9	0,1997
4	р. Тихая	2	54-55	1,1	0,0355
5	р. Быстрая Собачья	4	56-59	1,6	0,0510
6	р. Тихая Собачья	1	60	0,3	0,0088
7	р. Проездная	2	61,62	0,4	0,0113
8	р. Крепкая	4	63-66	2,2	0,0704
9	р. Мультя	17	67-83	11,65	0,3813
10	р. Акчан	3	84-86	1,4	0,0441
11	р. Ешту	2	87-88	0,2	0,0053
12	р. Караайра	18	89-106	11,7	0,3787
13	р. Хазиниха	15	107-121	6,4	0,1999
14	р. Иолдо	25	122-146	12,6	0,4060
15	р. Авьяк	3	147-149	0,4	0,0110
16	р. Ермолай	2	150-151	0,4	0,0115
17	р. Мал.Кологаш	5	152-156	3,6	0,1201
18	р. Бол.Кологаш	4	157-160	4,7	0,1578
	Сумма	132		69,95	2,2528

Литература

1. Каталог ледников СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. Т. 15. Вып. 1. Ч. 4. 80 с.
2. Матерет Ю.Я., Никитин С.А. Толщина льда, подледный рельеф и внутреннее строение ледника Туоуксу по данным радиолокационного зондирования. Материалы гляциологических исследований. М., 1988. Вып. 64. С. 73–75.
3. Никитин С.А. Результаты радиолокационного зондирования ледников Актру. Гляциология Сибири № 1(16), Томск, Изд-во ТГУ, 1981. С. 98–110.
4. Никитин С.А., Татаринцев В.Н. Применение радиолокационного метода для исследования ледников Алтая. Материалы гляциологических исследований, вып.44, М., 1982. Вып. 44. С. 156–164.
5. Никитин С.А., Веснин А.В., Осипов А.В., Илювская Н.В. Распределение запасов пресной воды в ледниках Центрального Алтая. Труды научной конференции «Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже 3-го тысячелетия», Томск, 2000. С. 341–344.
6. Ревякин В.С., Галахов В.П., Голешихин В.П. Горноледниковые бассейны Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 1979. 309 с.