

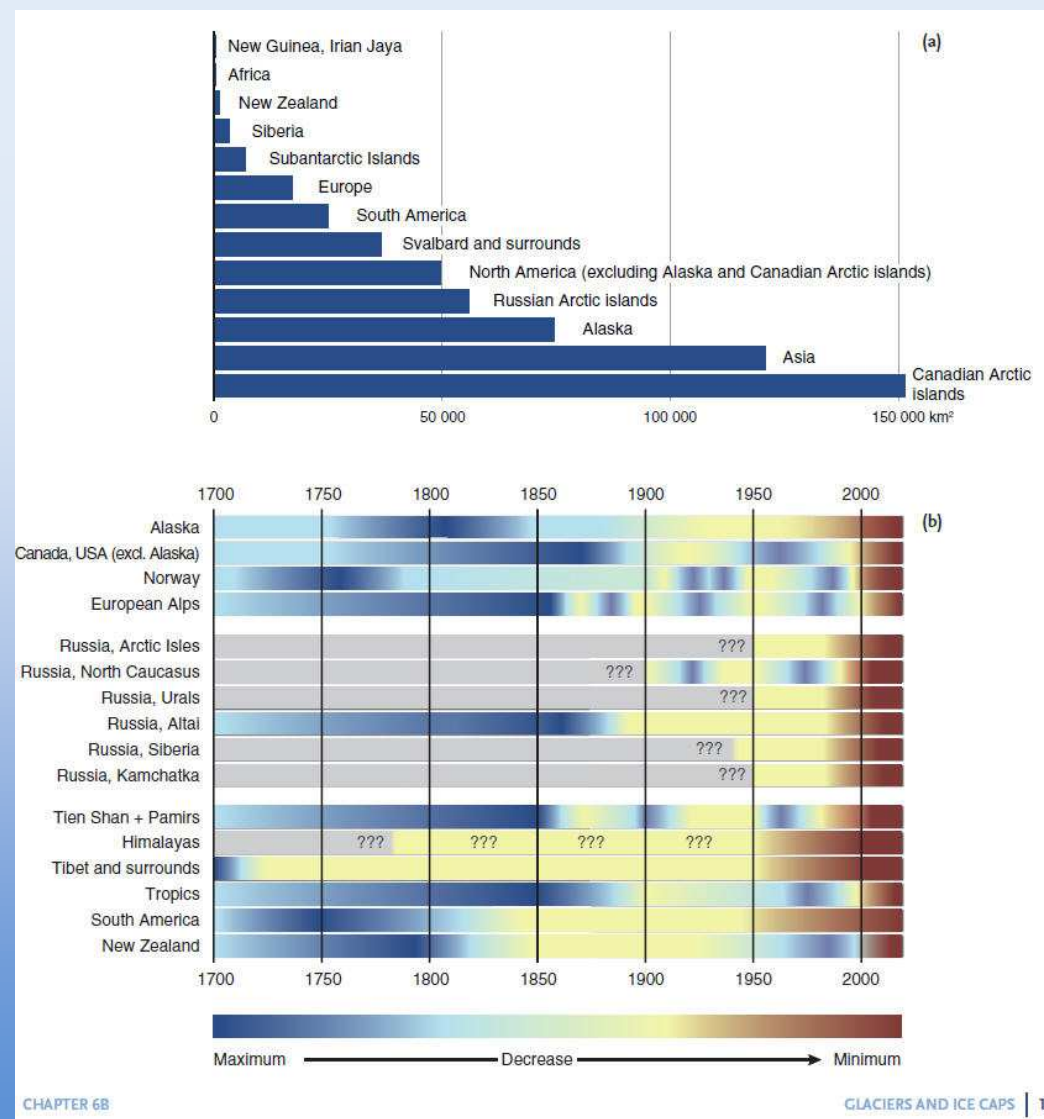
Каталогизация горных ледников по материалам дистанционного зондирования

В.Г. Коновалов

(Институт географии РАН, Москва)

Распределение ледников на Земле

Регион	Площадь ×10 ³ км ²
Европа	17.29
Азия	120.51
Арктические острова	320.019
Гренландия	1700.00
Северная Америка	124.66
Северное полушарие	2282.479
Новая Зеландия	1.16
Южная Америка	25.00
Острова в Субантарктике	7.00
Антарктика, ice caps	169.00
Антарктика, ice sheets	12300.00
Шельфовые ледники	1500.00
Южное полушарие	14002.16
Всего на Земле	16284.639



По неполным данным оледенение Земли состоит из >131000 ледников. Служба Глобального Мониторинга Ледников (WGMS) публикует многолетние данные о динамике конца ледников ΔL (723-812 объектов), годовом и сезонном балансе массы **МВ** (228-318 объектов). Анализ распределения объектов, полноты рядов, синхронности наблюдений и качества данных о ΔL и **МВ** показал их недостаточность для глобальных выводов о состоянии оледенения.

Athabasca Glacier, Canada 1919



Athabasca Glacier, Canada 2005

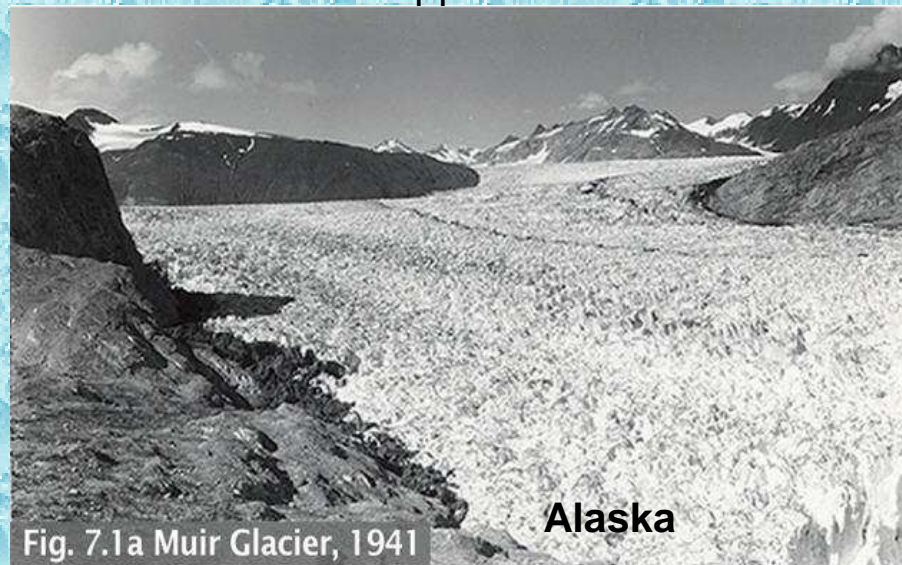


Fig. 7.1a Muir Glacier, 1941

Alaska

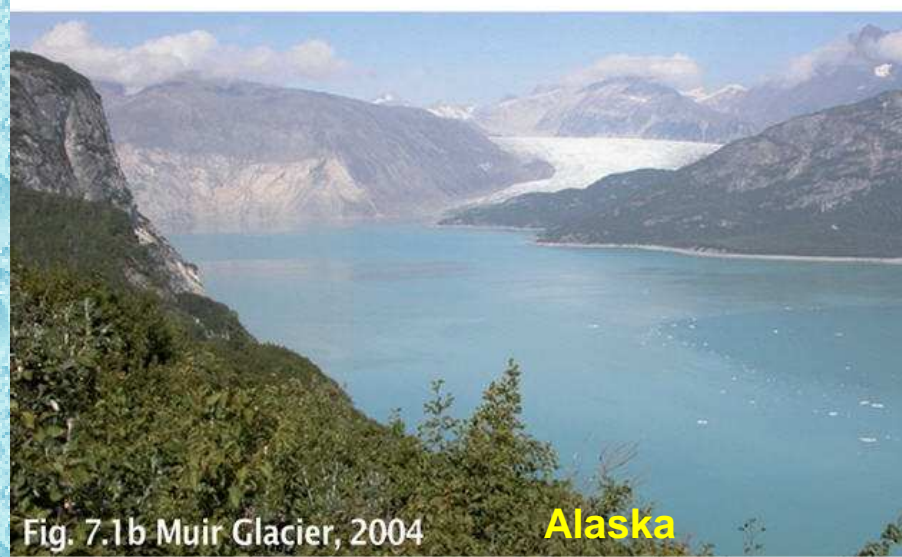


Fig. 7.1b Muir Glacier, 2004

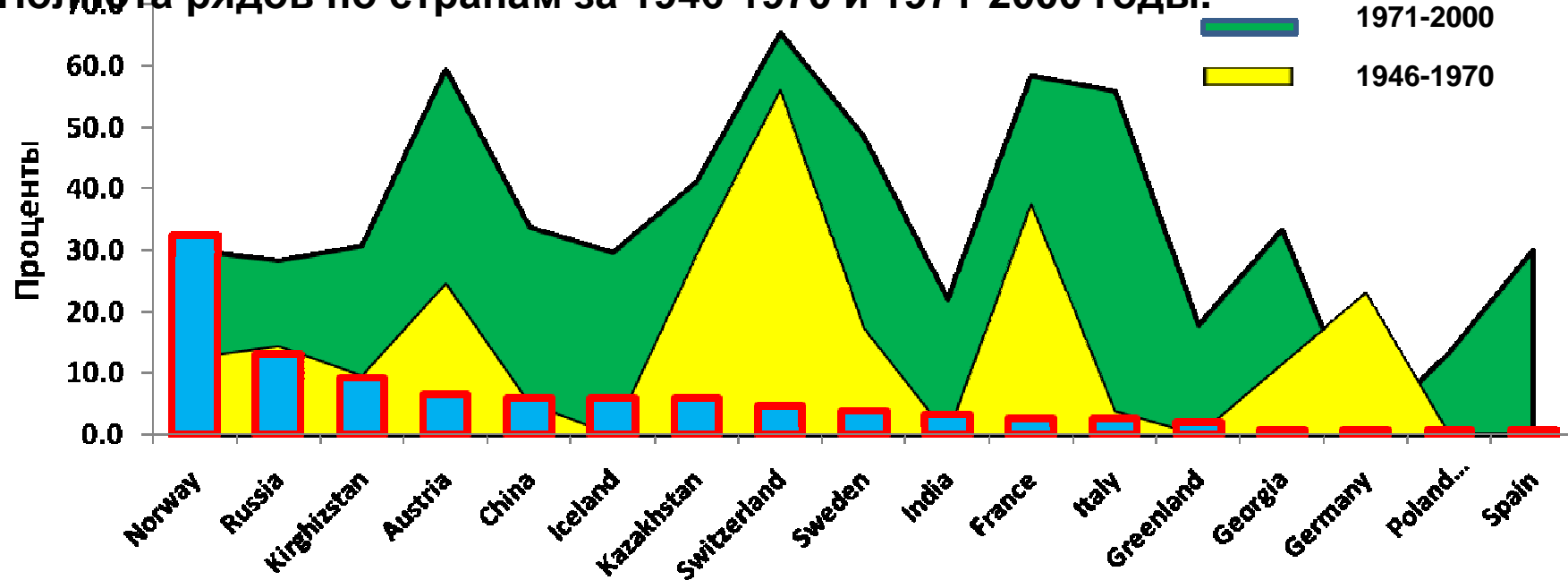
Alaska

Региональное сокращение площади ледников в Северном полушарии. (dFgl – изменение площади оледенения)

Бассейн/Регион/Страна	Интервал времени, годы		Площадь, Fgl км ²		dFgl, км ²	dFgl, %	Источник
	начало	конец	начало	конец			
Южная Джунгария	1956	1990	219	131	- 88	- 40.2	Вилесов, Морозова, 2005
р. Сырдарья/Гиссаро-Алай	1961	2000	852	514	- 338	- 39.7	Konovalov, 2007
Западный Тянь-Шань	1961	2000	171	120	- 51	- 29.8	Konovalov, 2007
р. Матча/Гиссаро-Алай	1961	2000	506	358	- 148	- 29.3	Konovalov, 2007
Заилийский Алатау	1955	1990	287	203	- 84	- 29.2	Вилесов, Уваров, 2001
р. Чилик/Заилийский Алатау	1955	1990	294	223	- 71	- 24.1	Северский, Токмагамбетов, 2004
все Альпы	1973	1999	3010	2335	- 675	- 22.0	Paul et al, 2004
Гималаи/Индия	1962	2001	2077	1628	- 449	- 21.0	Kulkarni et al, 2007
Тянь-Шань/Кыргызстан	1950-1960	2000	8100	6500	- 1600	- 19.8	Kuzmichenok, 2006
Альпы/Австрия	1969	1998	470	390	- 80	- 17.1	Lambrecht and Kuhn, manuscript
р. Пяндж/Памир, Гиндукуш	1961	2000	7818	6031	- 1787	- 14.7	Konovalov, 2007
р. Пумку/Тибет	1987	2001	1556	1330	- 226	- 14.5	Tao Che, et al manuscript
р. Вахш/Памир	1961	2000	3779	3243	- 536	- 14.2	Konovalov, 2007
р. Или/Китай	1982	1999	2027	1768	- 259	- 12.8	Глазырин, Шестерова, 2001
Западный Наншань/Тибет	1956	1990	1229	1105	- 124	- 10.3	Shen Yongping, 2004
Восточный Памир	1960	1975-1999	1890	1702	- 188	- 10.0	Ding Yongjian and Liu Shiyin, 2006
Итальянские Альпы	1961	1989	525	482	- 43	- 8.2	D'Agata C., et al manuscript
Алтай	1952	1998	805	748	- 57	- 7.1	Нарожный, Никитин, 2003
Эльбрус/Кавказ	1957	1997	132	125	- 7	- 5.3	Золотарев и др., 2005
Китайский Тянь-Шань	1962-1964	1989-2000	2383	2272	- 111	- 4.9	Ding Yongjian and Liu Shiyin, 2006
Каракорум	1968	1999	2707	2596	- 111	- 4.1	Ding Yongjian and Liu Shiyin, 2006

1. Вклад стран Евразии в измерения баланса массы (общее число ледников =154).

2. Полнота рядов по странам за 1946-1970 и 1971-2000 годы.



Распределение ледников и измерений баланса массы (МВ)

Index	WGI 11/19/2007			Количество ледников		Площадь ледников		Данные МВ в 1971-2000 гг.		
	Глобальный каталог			N ₁	P ₁ %	Fgl(МВ) км ²	P ₂ %	N _{MAX}	N _F	P ₃ %
	N _O	Fgl км ²	Vol км ³							
Азия** - А	67339	105383	8790	35	23	1949	2	1050	304	19
Европа** - Е	11498	77612	10968	119	77	5952	8	2070	1338	81
Евразия** - ЕА	78837	182995	19758	154	100	7901	4	3120	1642	100

Примечание: ** – островные ледники включены; WGI – Глобальный Каталог Ледников; N_O, N₁, Fgl и Vol – число, площадь и объем, соответственно; МВ – измерения годового баланса массы; P₁ – N₁/N_{ЕА} в %; Fgl(МВ) – площадь оледенения с измерениями МВ; P₂ – Fgl(МВ)/Fgl в %; N_{MAX} – максимально возможное и N_F – фактическое число измерений МВ; P₃ – N_{MAX}/N_F в %.

Постановка проблемы в целом.

Современная стратегия и система измерений ΔL и MV создавалась с целью глобального мониторинга размеров и баланса массы поверхностного оледенения Земли. Выполненная выше оценка методов и результатов измерений ΔL и MV приводит к необходимости пересмотра этой стратегии и решения следующих основных задач.

1. Разработка новой концепции глобального и регионального мониторинга оледенения Земли, исключая произвольный выбор «репрезентативных» ледников. Информационной основой новой концепции должна быть сплошная каталогизация оледенения путем обработки дистанционных цифровых изображений ледников со спутников ЛАНДСАТ 7, ТЕРРА и других аппаратов. Выборочная каталогизация для специальных целей: экспериментальные работы, быстрые

подвижки ледников, ледниковые сели и другие опасные явления ледникового генезиса.

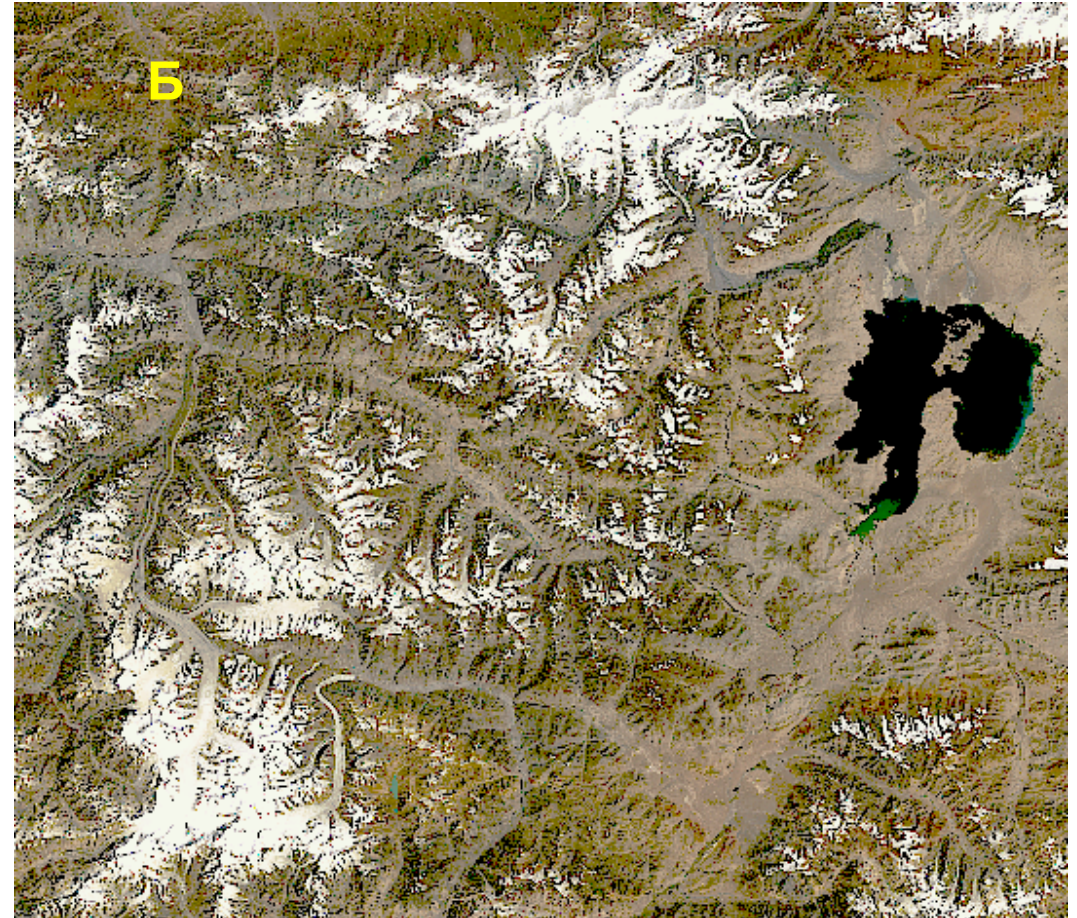
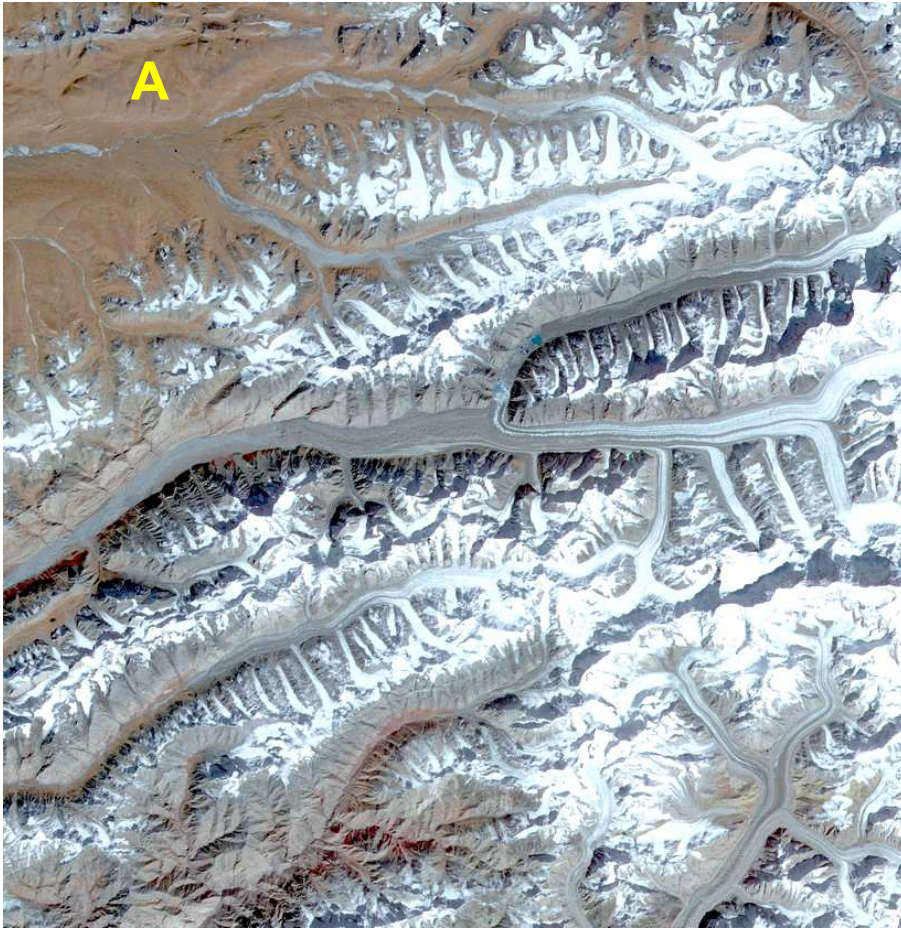
2. Методика и особенности дешифрирования границ ледников на дистанционных цифровых изображениях. Получение и контроль географических координат бассейна ледника и его морфологических частей.

3. Применение технологий ГИС для определения комплекса высотно-площадных и динамических характеристик ледников. Создание глобальной и региональных баз данных.

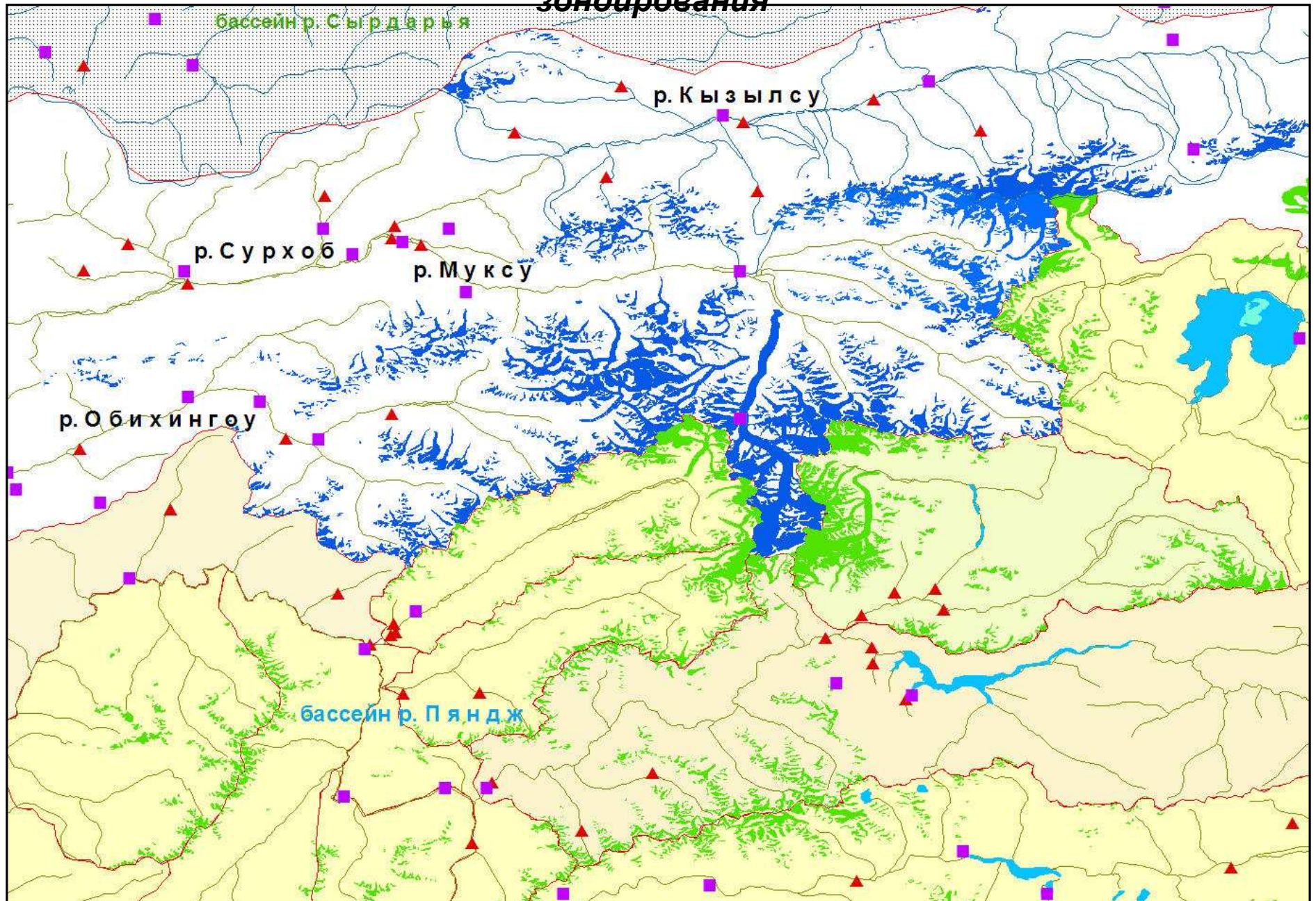
4. Использование предшествующих результатов мониторинга оледенения в глобальной и региональных базах данных.

5. Подготовка и реализация предложений по совершенствованию способов хранения и распространения первичной и обработанной информации о состоянии оледенения Земли.

Примеры дистанционных изображений ледниковых областей Тянь-Шаня (А) и Памиро-Алая (Б), полученных со спутников Ландсат 7 (сенсор ЕТМ+) и Терра (сенсор АСТЕР). Изображение со спутника Ландсат 7 включает 8 спектральных диапазонов. Разрешающая способность 1 пиксела от 15 до 60 метров. Изображение охватывает территорию 170 × 183 км. Сенсор АСТЕР передает изображение Земли в 14 спектральных диапазонах с разрешением от 15 до 90 м.



Современное оледенение в верховье р. Амударьи по данным дистанционного зондирования



Районирование генеральной совокупности ледников:

a) 8 ориентаций (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW);

b) 23 интервала площади

$>0.1 \div \leq 0.$		Интервалы площади No 1 – 8 в км ²				$>0.6 \div \leq 0.$	$>0.7 \div \leq 0.$
$>0 \div \leq 0.1$	2	$>0.2 \div \leq 0.3$	$>0.3 \div \leq 0.4$	$>0.4 \div \leq 0.5$	$>0.5 \div \leq 0.6$	7	8
$>0.8 \div \leq 0.$		$>0.9 \div \leq 1.$		Интервалы площади No 9 - 16 в км ²			
9	0	$>1.0 \div \leq 1.5$	$>1.5 \div \leq 2.0$	$>2.0 \div \leq 2.5$	$>2.5 \div \leq 3.0$	$>3.0 \div \leq 4.$	$>4.0 \div \leq 5.$
$>5.0 \div \leq 6.$		$>6.0 \div \leq 8.$		Интервалы площади No 17-23 в км ²		0	0
0	0	$>8.0 \div \leq 10.$	$>10.0 \div \leq 40.$	0	$>70.0 \div \leq 10$	>100	
		0	0		0		

Набор площадных и высотных параметров для каждой группы ледни

1	2	3	4	5	6	7
Ориентация	Интервал площади	No группы	Число ледников	Min Z – миним. высота	Max Z – максим. высота	Average Z – средняя высота
8	9	10	11	12	13	14
Sample_S	X coord	Y coord	sum_Fgl	mean_Fgl	F(Zaver)	dZ=(maxZ-minZ)/10

D

Распределение площади оледенения в группе по 10 интервалам высоты

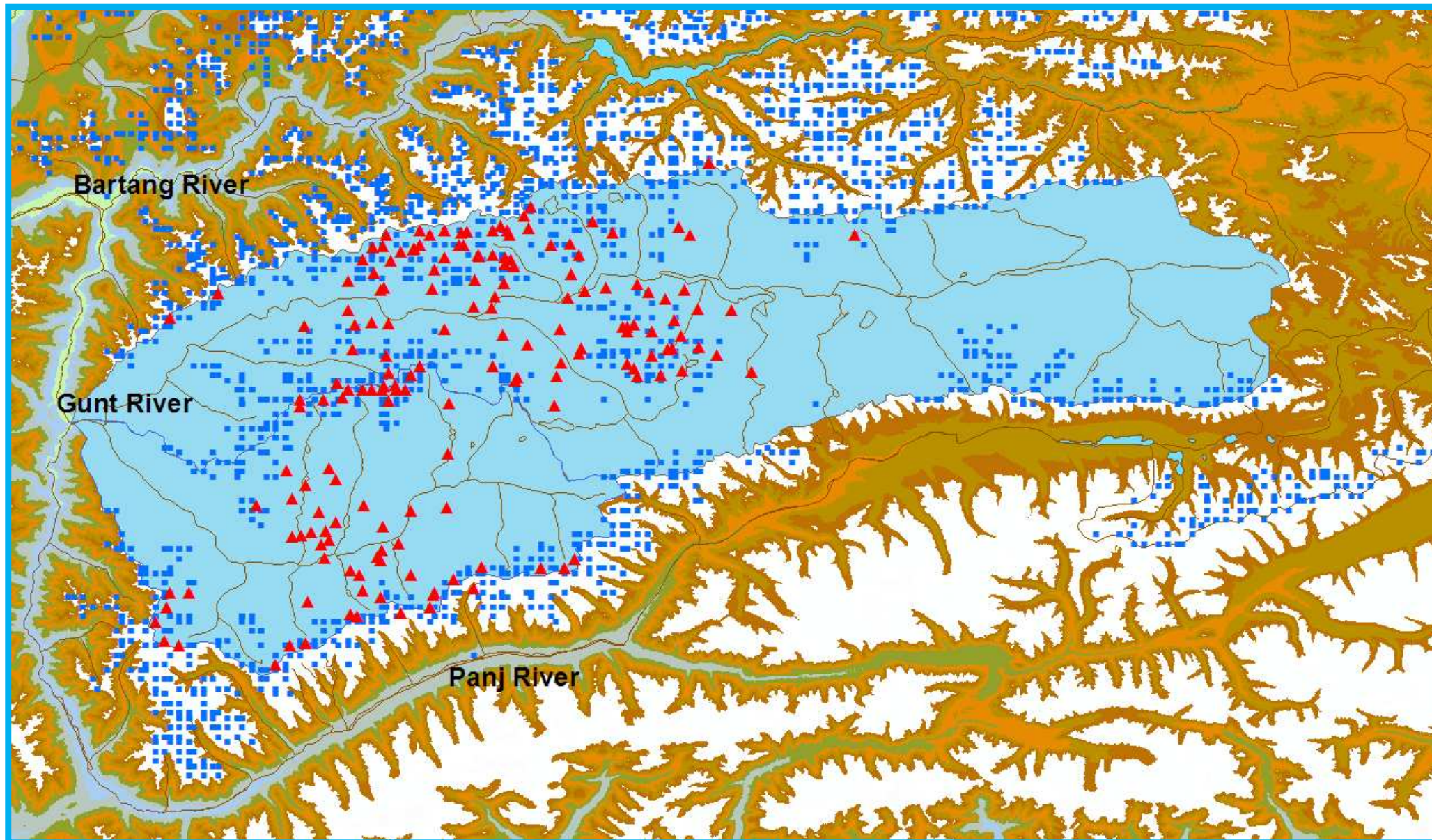
$F(Z)_{\min} =$	$F(Z_1)$	$F(Z_2)$	$F(Z_3)$	$F(Z_4)$	$F(Z_5)$	$F(Z_6)$	$F(Z_7)$	$F(Z_8)$	$F(Z_9)$	$F(Z_{\max})$
0										

В набор могут быть добавлены: объем ледников, площадные и высотные параметры морены на поверхности ледников и другие расчетные характеристики.

Пример районирования совокупности ледников в бассейне р. Гунт (Памир)

Голубые квадраты представляют отдельные ледники ($N_{gl} = 916$);

Красные треугольники показывают расположение групп ледников ($N_{gr} = 173$).



Наличие векторных файлов ледников для катапогизации

Бассейн/Страна/Источник данных	NN	Fgl км ²	P %
Или /(GLIMS BD)	374	854	0.96
Бутан /(ICIMOD, Katmandu, Nepal)	678	1316	1.48
Индия /(ICIMOD, Katmandu, Nepal)	2183	3412	3.84
Сырдарья, Сарыджас /(GLIMS BD)	2942	4987	5.61
Непал /(ICIMOD, Katmandu, Nepal)	3253	5323	5.99
Верховье р. Амударьи /(В.Г.Коновалов)	4555	6272	7.06
Пакистан /(ICIMOD, Katmandu, Nepal)	2809	7223	8.13
Китай /(GLIMS BD)	46404	59500	66.94
Всего	63198	88887	100

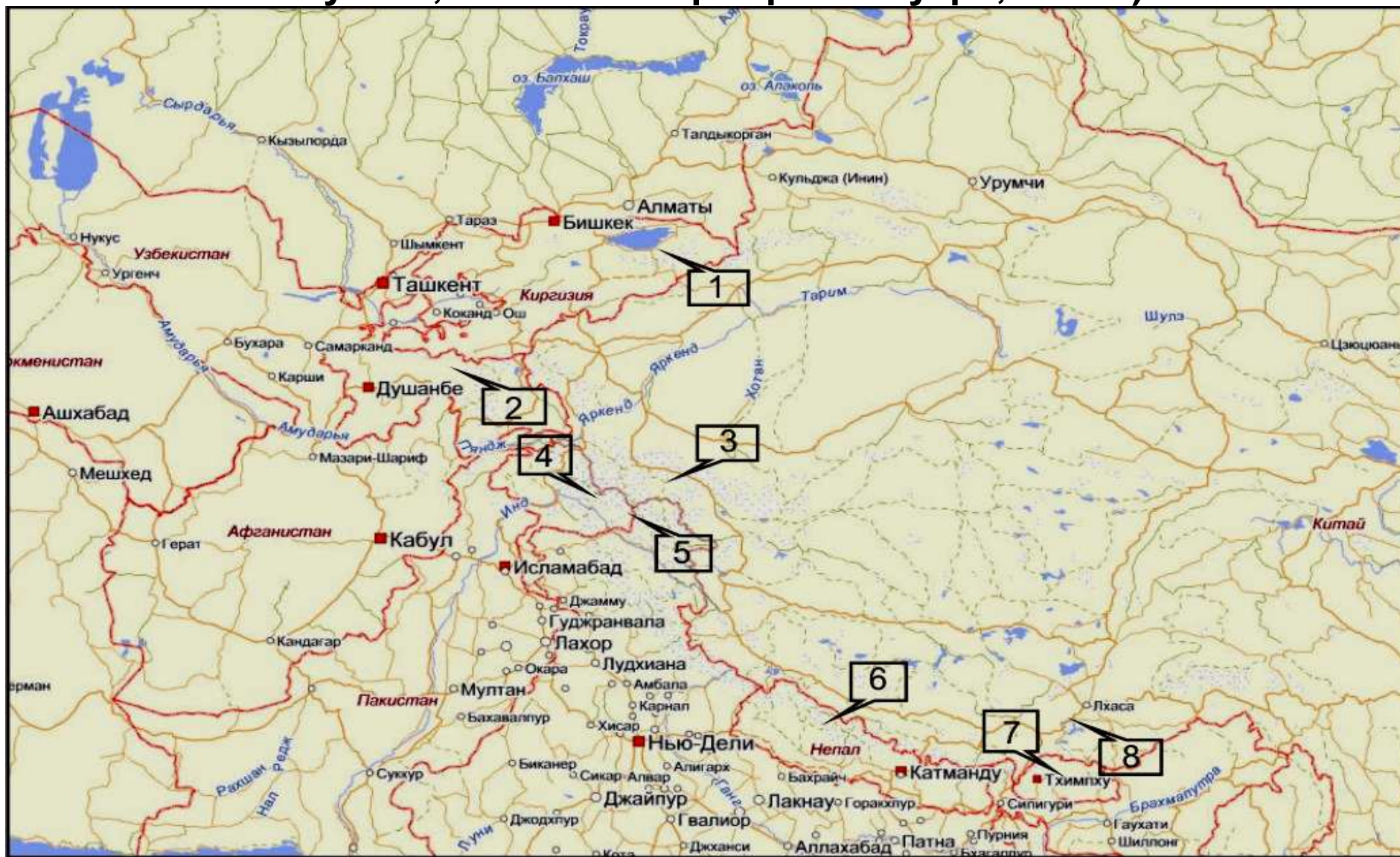
Примечание: NN – число ледников, Fgl – площадь оледенения, P – доля площади в общей сумме, GLIMS BD – база данных проекта GLIMS

<http://glims.colorado.edu/glacierdata/>

Общая площадь ледников в векторных файлах составляет 84.4% от оледенения Азии по данным Каталога WGMS (WGI 11/19/2007)

Схема основной части региона Высокогорная Азия.

Выноски показывают расположение характерных гляциологических районов. 1 – верховье р. Нарын (составляющая р. Сырдарьи), 2 – бассейн р. Вахш, 3 – бассейн р. Юрункаш (приток р. Тарим), 4 – 5 притоки Инда на территории Пакистана и Индии, 6 – 7 притоки Ганга на территориях Непала, и Бутана, 8 – бассейн р. Брахмапутра, Китай).



Распределение площади и числа ледников в зависимости от их ориентации

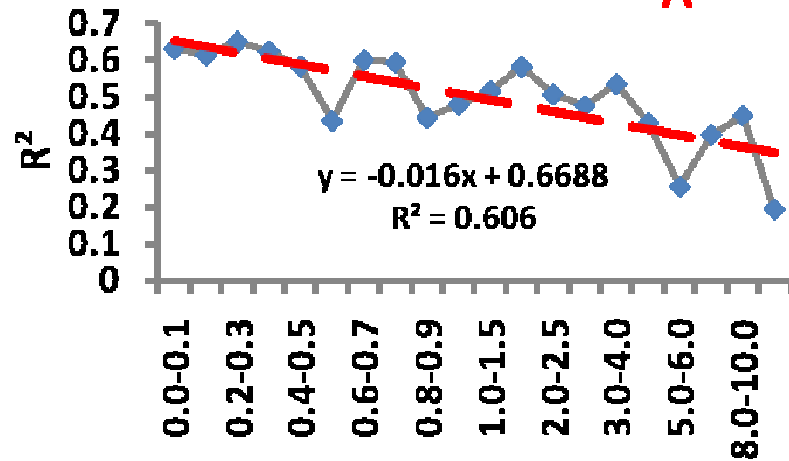
Fgl km² – площадь оледенения, **N gl** – количество ледников, **N,NE,NW** – группа «северных» ориентаций, **S,SE,SW** – группа «южных» ориентаций. В графе Район:

(1) – притоки р. Инд на территории Пакистана, (2) – ледники на территории Непала, (3) – ледники на территории Бутана, (4) – притоки р. Инд на территории Индии,
 (5) – бассейн р. Вахш, (6) – верховье р. Нарын, (7) – бассейн р. Юрункаш

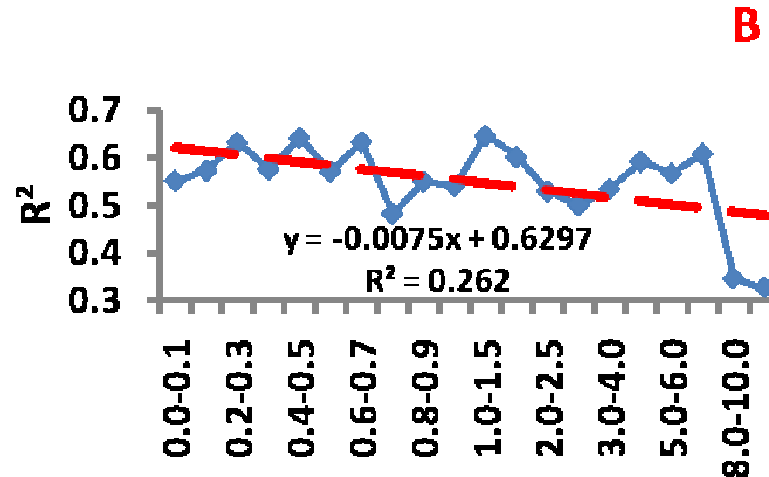
Район (Китай)	Fgl km ²	N gl	N,NE,NW		S,SE,SW		N,NE,NW		S,SE,SW	
			Fgl km ²	N gl	Fgl km ²	N gl	Fgl %	N gl %	Fgl %	N gl %
(1)	2881.8	954	865.4	553	1579.2	265	30.0	58.0	54.8	27.8
(2)	5318.6	3235	1851.4	1365	2806.9	1409	34.8	42.2	52.8	43.5
(3)	1316.5	677	544.2	266	649.5	312	41.4	39.6	49.4	46.4
(4)	3793.4	2110	2013.6	1012	1165.5	758	53.1	48.0	30.7	35.9
(5)	3413.0	2414	2171.2	1493	641.7	466	63.6	61.9	18.8	19.3
(6)	2493.5	3278	1907.7	2632	329.6	302	76.5	80.3	13.2	9.2
(7)	2958.3	1331	2690.2	1022	206.7	223	90.9	76.8	7.0	16.8

Изменение R^2 связи $Z_{min}=f(\lambda)$ по долготе (λ) для азимутов: N,NE,NW
(A);

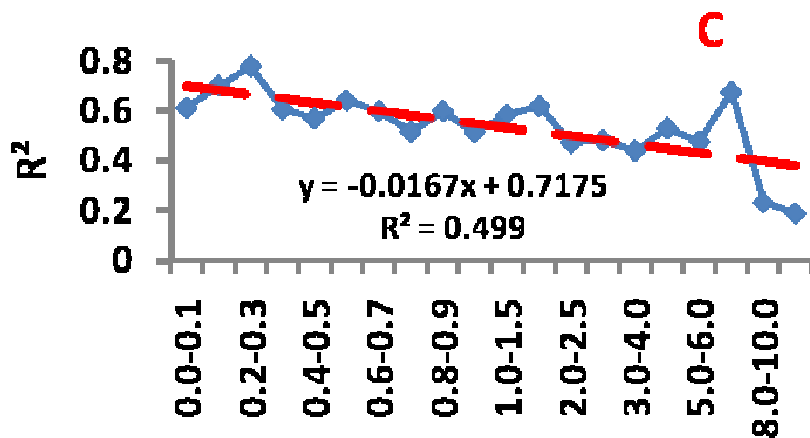
S,SE,SW (B); E,W (C) и площадей ледников



Интервалы площади км²



Интервалы площади км²



Интервалы площади км²

Вывод: Чем больше ледник, тем слабее региональные связи его морфометрических параметров с пространственными координатами (широта, долгота).

Заключение

- Предложенный метод идентификации репрезентативных групп и определения их параметров делает ненужным формальное понятие «репрезентативных ледников». Ошибочные региональные и глобальные выводы, основанные на использовании этого понятия и, как показал опыт, нерепрезентативных выборок **ΔL** и **MB**, должны быть пересмотрены.
- Представленный метод каталогизации совокупностей ледников и примеры его применения в бассейнах рек Высокогорной Азии открывают новые возможности для объективного описания пространственного распределения высотно-площадных параметров оледенения и использования этой информации в статистически обоснованных гляциологических и гидрологических расчетах.

Thank you for attention and best wishes to everyone!

В.Г. Коновалов
(Институт географии РАН, Москва. vladgeo@gmail.com)

Ронский ледник, нижняя часть. 1795 год



1910 год



2003 год

