

## Динамика оледенения Центральной Азии по материалам дистанционного зондирования

В.Г. Коновалов

*Институт географии РАН, Москва  
119017 Москва, Старомонетный, 29  
E-mail: vladgeo@gmail.com*

Приведены обобщенные и синхронизированные для четырех временных срезов (1961, 1980, 1991, 2000, 2020 годы) сведения об изменении площади ледников Центральной Азии в бассейнах притоков рек Амударьи и Сырдарьи. Данные 1961 и 1980 годов получены на основе Каталога ледников СССР, оценки для 1991 и 2020 годов рассчитаны по методике автора, данные 2000 года определены путем обработки изображений со спутников LANDAST 7 (сканер ETM+) и TERRA (сканер ASTER). За 1961–2000 гг. сокращение площади оледенения на рассматриваемой территории составило от 14% до 33%. К 2020 году ожидается дальнейшее уменьшение размеров ледников. Представлены примеры многолетнего мониторинга площади ледников Центральной Азии по материалам каталогизации ледников в 1955–2000 гг. и дистанционного зондирования после 2000 года.

**Ключевые слова.** Центральная Азия, ледники, спутниковый мониторинг, сокращение площади, Памир, бассейн Аральского моря

### Введение

Данные о многолетнем изменении размеров ледников, необходимы для моделирования и прогнозов стока в многочисленных бассейнах рек расположенных в высокогорных регионах Азии: Тянь-Шань, Памир, Гиндукуш, Куньлунь, Гималаи и др. Общая площадь ледника и его морфологических частей (области аккумуляции и абляции, открытого льда и морены на леднике) служат основными характеристиками для гидрологических расчетов и анализа взаимосвязи между изменением климата и колебаниями размеров ледников (Коновалов, 1985; Кренке, 1982). Современная информация о временной изменчивости площади ледников на региональном уровне является весьма ограниченной. Например, в целом для бассейна Аральского моря такие данные имеются только за один-два временных среза: в конце 50-х и 80-х годах прошлого века. Амударья является крупнейшей рекой в бассейне Аральского моря, которая обеспечивает 64,3 % от общего стока в этом регионе.

### Изменение размеров оледенения

В течение прошедшего столетия площадь ледников в рассматриваемом регионе существенно сократилась. В таблицах 1-2 представлены оценки прошлого и будущего состояния оледенения. Информация получена путем: 1) обобщения и синхронизации опубликованных материалов (Иваньков, 1970; Каталог ледников СССР, 1971–1978; Щетинников, 1997, 1998), 2) обработки автором дистанционных изображений со спутников LANDAST 7 and TERRA, и 3) в результате применения расчетных методов (Агальцева, Коновалов, 2005; Коновалов, Вильямс, 2005; Коновалов, Десинов, 2007).

В качестве примера на рисунке 1 приведено пространственное распределение оледенения в бассейнах-притоках реки Вахш в 2000 г. по материалам спутникового мониторинга.

Таблица 1. Многолетние изменения площади ледников в бассейне Аральского моря

| Бассейн/Район          | Fgl km <sup>2</sup> |       |       |       |       | dFgl km <sup>2</sup> | dFgl %    |
|------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|----------------------|-----------|
|                        | 1961                | 1980  | 1991  | 2000  | 2020  | 1961-2000            | 1961-2000 |
| Западный Тянь-Шань     | 171                 | 147   | 133   | 120   | 107*  | -51                  | -29.8     |
| р. Матча               | 506                 | 438   | 398   | 358   | 318*  | -148                 | -29.3     |
| р. Сырдарья (1)        | 548                 | 450   | 408   | 367   | 326*  | -181                 | -33.0     |
| р. Сырдарья (2)        | 304                 | 205   | 164   | 147   | 130*  | -157                 | -51.6     |
| р. Вахш                | 3779                | 3538  | 3413  | 3243  | 3073* | -536                 | -14.2     |
| р. Пяндж прав. притоки | 3548                | 2905  | 2548  | 2389  | 1998* | -1159                | -32.7     |
| р. Пяндж лев. притоки  | 4270                | 3956  | 3799  | 3642  | 3484* | -629                 | -14.7     |
| р. Пяндж в целом       | 7818                | 6861  | 6347  | 6031  | 5482* | -1787                | -22.9     |
| верховье р. Амударьи   | 11597               | 10399 | 9760  | 9273  | 8555* | -2324                | -20.0     |
| Все бассейны           | 13126               | 11638 | 10863 | 10265 | 9435* | -2860                | -21.8     |

Примечание: район Западный Тянь-Шань включает бассейны рек Пскем и Чаткал, Сырдарья (1) – левые притоки от устья р. Аксу и ниже, Сырдарья (2) – левые притоки между устьями рек Карадарья и Аксу, \* – площадь ледников при среднем увеличении летней температуры воздуха 0.017 °C/год за 2001–2020 годы.

Таблица 2. Многолетние изменения площади ледников в верховье Амударьи (км<sup>2</sup>)

| Речной бассейн           | Площадь ледников, км <sup>2</sup> |               |               |               | dF, км <sup>2</sup> |               |               |                |               |                | dF %         |
|--------------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|--------------|
|                          | 1961                              | 1980          | 1991          | 2000          | 1961-1980           | 1980-1991     | 1991-2000     | 1961-1991      | 1980-2000     | 1961-2000      | 1961-2000    |
| <b>Притоки Вахша</b>     |                                   |               |               |               |                     |               |               |                |               |                |              |
| Обихингоу                | 787.4*                            | 705.1**       | 659.4***      | 608.5▲        | -82.3               | -45.7         | -50.9         | -128.0         | -96.6         | -178.9         | -22.7        |
| Кызылсу Западная         | 535.5*                            | 486.4**       | 468.2***      | 449.7▲        | -49.1               | -18.2         | -18.5         | -67.3          | -36.7         | -85.8          | -16.0        |
| Муксу                    | 2061.7*                           | 1987.5**      | 1946.3***     | 1887.1▲       | -74.2               | -41.2         | -59.2         | -115.4         | -100.4        | -174.6         | -8.5         |
| Сурхоб ПП                | 394.4*                            | 358.8**       | 339.1***      | 297.5***      | -35.6               | -19.8         | -41.6         | -55.4          | -61.3         | -96.9          | -24.6        |
| <b>Вахш (сумма)</b>      | <b>3778.9</b>                     | <b>3537.8</b> | <b>3412.9</b> | <b>3242.8</b> | <b>-241.1</b>       | <b>-124.9</b> | <b>-170.1</b> | <b>-366.0</b>  | <b>-295.0</b> | <b>-536.1</b>  | <b>-14.2</b> |
| <b>Пяндж ПП</b>          |                                   |               |               |               |                     |               |               |                |               |                |              |
| Язгулем                  | 337.9*                            | 262.7**       | 221.0***      | 200.3▲        | -75.2               | -41.8         | -20.7         | -117.0         | -62.4         | -137.6         | -40.7        |
| Ванч                     | 333.2*                            | 291.6**       | 268.4***      | 255.1▲        | -41.6               | -23.1         | -13.3         | -64.8          | -36.5         | -78.1          | -23.4        |
| Гунт                     | 514.6*                            | 441.1**       | 400.2***      | 360.3▲        | -73.5               | -40.9         | -39.9         | -114.4         | -80.8         | -154.3         | -30.0        |
| Шахдара                  | 205.5*                            | 166.7**       | 145.2***      | 136.2***      | -38.8               | -21.5         | -9.0          | -60.3          | -30.5         | -69.3          | -33.7        |
| Бартанг                  | 1701.7*                           | 1382.1**      | 1204.5***     | 1146.0***     | -319.6              | -177.6        | -58.5         | -497.2         | -236.1        | -555.7         | -32.7        |
| Пяндж (1)                | 51.2*                             | 48.1**        | 46.4***       | 39.3***       | -3.1                | -1.7          | -7.1          | -4.8           | -8.8          | -11.9          | -23.2        |
| Пяндж (2)                | 45.0*                             | 44.0**        | 43.0***       | 40.9▲         | -1.0                | -1.0          | -2.1          | -2.0           | -3.1          | -4.1           | -9.1         |
| Пяндж (3)                | 358.8*                            | 268.9**       | 219.0***      | 210.6▲        | -89.9               | -49.9         | -8.4          | -139.8         | -58.3         | -148.2         | -41.3        |
| <b>Пяндж (сумма ПП)</b>  | <b>3547.9</b>                     | <b>2905.2</b> | <b>2547.7</b> | <b>2388.7</b> | <b>-642.7</b>       | <b>-357.5</b> | <b>-159.0</b> | <b>-1000.2</b> | <b>-516.5</b> | <b>-1159.2</b> | <b>-32.7</b> |
| <b>Пяндж ЛП</b>          |                                   |               |               |               |                     |               |               |                |               |                |              |
| Памир                    | 350V                              |               | 338.7***      | 335.5▲        |                     |               | -3.2          | -11.3          |               | -14.5          | -4.1         |
| Вахджир                  | 278V                              |               | 271.2***      | 269.3▲        |                     |               | -1.9          | -6.8           |               | -8.7           | -3.1         |
| Вахандарья               | 757V                              |               | 677.5***      | 651.3▲        |                     |               | -26.2         | -79.5          |               | -105.7         | -14.0        |
| Пяндж (4)                | 1710V                             |               | 1617.0***     | 1586.6▲       |                     |               | -30.4         | -93.0          |               | -123.4         | -7.2         |
| Кокча                    | 838V                              |               | 637.0***      | 569.7***      |                     |               | -67.3         | -201.0         |               | -268.3         | -32.0        |
| Кундуз                   | 337V                              |               | 256.0***      | 229.1***      |                     |               | -26.9         | -81.0          |               | -107.9         | -32.0        |
| <b>Пяндж (сумма ЛП)</b>  | <b>4270</b>                       |               | <b>3797.4</b> | <b>3641.5</b> |                     |               |               |                |               | <b>-628.5</b>  | <b>-14.7</b> |
| <b>Пяндж в целом</b>     | <b>7817.9</b>                     |               | <b>6345.1</b> | <b>6030.2</b> |                     |               |               |                |               | <b>-1787.7</b> | <b>-22.9</b> |
| <b>Верховье Амударьи</b> | <b>11596.8</b>                    |               | <b>9758.0</b> | <b>9273.0</b> |                     |               |               |                |               | <b>-2323.8</b> | <b>-20.0</b> |

Примечание: Сурхоб ПП – правые притоки р. Сурхоб, **Пяндж ПП** – правые притоки Пянджа, Пяндж (1) – правые притоки Пянджа ниже устья реки Ванч, Пяндж (2) – правые притоки Пянджа между устьями рек Язгулем, Бартанг и Гунт, Пяндж (3) – правые притоки Пянджа выше устья Гунта, **Пяндж ЛП** – левые притоки Пянджа, Пяндж (4) – левые притоки Пянджа от слияния рек Памир и Вахандарья до устья реки Кокча, \* – данные Каталога ледников СССР (1971–1978), ∇ – данные Иванькова (1970), \*\* – данные Щетинникова (1997, 1998), \*\*\* – рассчитано автором по методу в работе (Коновалов, Вильямс, 2005), ▲ – определено автором путем обработки изображений со спутников LANDSAT7 ETM+ и and TERRA (ASTER), dF – изменение площади ледников за соответствующий интервал времени.

Значительное сокращение площади оледенения в бассейне Аральского моря в 1961–2000 гг. хорошо согласуется с оценками колебаний ледников в других горных районах Азии (см. Табл. 3). Оценки изменения площади ледников, представленные в таблицах 1–3, характеризуют многолетнюю тенденцию сокращения их размеров. Это заключение относится к регионам и речным бассейнам. При этом отдельные ледники там же могут находиться в стационарном состоянии или наступать с различной скоростью.



Рис. 1. Результаты мониторинга оледенения в бассейнах-притоках реки Вахи по состоянию на 2000 г. По данным обработки дистанционных изображений со спутников LANDSAT 7 и LANDSAT 7 ETM+. Ледники Вахша выделены синим цветом. ▲ и ■ – соответственно пункты гидрологических и метеорологических наблюдений

Таблица 3. Региональное сокращение площади оледенения Высокогорной Азии

| Бассейн/Регион/Страна      | Годы      |           | Fgl км <sup>2</sup> |       | dFgl, км <sup>2</sup> | dFgl, % | Источник данных                    |
|----------------------------|-----------|-----------|---------------------|-------|-----------------------|---------|------------------------------------|
|                            | начало    | конец     | начало              | конец |                       |         |                                    |
| Южная Джунгария            | 1956      | 1990      | 219                 | 131   | -88                   | -40.2   | Вилесов, Морозова, 2005            |
| Заилийский Алатау          | 1955      | 1990      | 287                 | 203   | -84                   | -29.2   | Вилесов, Уваров, 2001              |
| Гиссаро-Алай               | 1957      | 2000      | 2184                | 1841  | -343                  | -27.7   | Глазырин, Щетинников, 2001         |
| р. Чилик/Заилийский Алатау | 1955      | 1990      | 294                 | 223   | -71                   | -24.1   | Северский, Токмагамбетов, 2004     |
| Гималаи/Индия              | 1962      | 2001      | 2077                | 1628  | -449                  | -21.0   | Kulkarni et al, 1999, 2007         |
| Тянь-Шань/Киргизия         | 1950-1960 | 2000      | 8100                | 6500  | -1600                 | -19.8   | Kuzmichenok, 2006                  |
| р. Пумку/Тибет             | 1987      | 2001      | 1556                | 1330  | -226                  | -14.5   | Tao Che, et al manuscript          |
| р. Или/Китай               | 1982      | 1999      | 2027                | 1768  | -259                  | -12.8   | Глазырин, Шестерова, 2001          |
| Зап. 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 |

| Бассейн/Регион/Страна            | Годы      |           | Fgl км² |       | dFgl, км² | dFgl, % | Источник данных                    |
|----------------------------------|-----------|-----------|---------|-------|-----------|---------|------------------------------------|
|                                  | начало    | конец     | начало  | конец |           |         |                                    |
| Горный массив Акшийрак/Тянь-Шань | 1977      | 2003      | 348     | 318   | -30       | -9.0    | Aizen et al, 2007                  |
| Китай в целом (макс)             | 1960      | 2000      | 13254   | 12076 | -1178     | -8.9    | Kang et al, 2004                   |
| Алтай                            | 1952      | 1998      | 805     | 748   | -57       | -7.1    | Нарожный, Никитин 2003             |
| Китай в целом (сред)             | 1960      | 2000      | 59400   | 56152 | -3248     | -5.5    | Kang et al, 2004                   |
| 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 |
| Китай в целом (мин)              | 1960      | 2000      | 19138   | 18685 | -452      | -2.4    | Kang et al, 2004                   |

Примечание: Fgl – площадь ледников, dFgl – изменение площади оледенения.

### Методика оценки изменения площади оледенения

Метод получения результатов в таблицах 1–2 включает следующие компоненты. (а) Приведение разновременных значений площади ледников  $F$  в Каталоге ледников СССР к общим выбранным годам, т.е. 1961 и 1980. Как оказалось разброс лет, к которым относятся определения площади, довольно значителен. В частности для ледников Памира он находится в интервале 1946–1973 гг. К сожалению, эта картина типична для горного оледенения Азии, Европы и Америки. (б) Определение  $F$  за пределами диапазона лет в выборках исходных данных. В данном случае был задан 1991 год. Во-первых, это может быть сделано путем линейной экстраполяции  $F$  и, во-вторых, с помощью уравнений:  $F_{i+1} = F_i - dF/dT \times DT$ , где  $dF/dt = f(I_{Ac}, I_{Ab})$ , или  $dF/dt = f(T_s)$ . Здесь  $DT$  интервал времени,  $I_{Ac}$  и  $I_{Ab}$  индексы годовой аккумуляции и абляции. Вместо,  $I_{Ac}$  была использована (Коновалов, Вильямс, 2005) сумма осадков за характерный сезон и вместо  $I_{Ab}$  – средняя летняя температура воздуха  $T_s$ . Согласно инструкции (Виноградов и др., 1966) границы и размеры морфологических частей ледника в Каталоге ледников СССР (1957–1978) определены на основе обработки аэрофотосъемки в масштабе 1:24 000 и топографических карт 1:100 000. Повторная каталогизация ледников Памиро-Алая (Щетинников, 1997, 1998) основана на совместном использовании данных космической фотосъемки 1978–1980 гг. в масштабе 1:200 000 и топографических карт 1:100 000. Мониторинг состояния ледников в верховьях реки Амударья после 1991 года был продолжен (Коновалов и Десинов, 2007) путем дешифрирования и оцифровки контуров ледников на изображениях, полученных в 2000–2002 годах со спутников LANDAST 7 (сканер ETM+) и TERRA (сканер ASTER). Пространственное разрешение этих изображений составляет от 15 до 30 метров. Комплекс морфометрических параметров для оцифрованных контуров ледников в формате ESRI определен с помощью программных средств ГИС.

### Спутниковый мониторинг размеров оледенения после 2000 года

Основополагающей задачей регионального спутникового мониторинга является одновременная оценка текущего состояния оледенения в пределах территориальных областей (речных бассейнов), ранее выделенных в Глобальном Каталоге WGMS, и сравнение морфометрических параметров ледников с аналогичными предыдущими данными. Достаточно приемлемыми для этого с апреля 1999 г. до мая 2003 г. были изображения со спутника LANDAST7 ETM+, после чего перестал работать корректировщик линейного сканирования. Тем не менее, на изображениях после 2003 г. дешифрирование ледников и определение их геометрических параметров вполне возможно. Японский сканер ASTER на американском спутнике TERRA обеспечивает большую разрешающую спо-

способность и меньший территориальный охват, что приводит к затруднениям при составлении синхронных мозаик изображений для крупных речных бассейнов. Дешифрованные и оцифрованные в формате ESRI изображения ледников Земли, распределенные по территориям государств, доступны в рамках международного проекта GLIMS <http://glims.colorado.edu/glacierdata/> (Global Land Ice Monitoring Survey). Информация об использовании изображений со спутника TERRA для территориальной оценки современного состояния ледников приведена в таблице 4.

Таблица 4. Распределение по территории и годам данных ДЗ оледенения в БД GLIMS

| Годы  | Таджикистан |        | Годы  | Киргизия |        |
|-------|-------------|--------|-------|----------|--------|
|       | Ngl         | Ngl %  |       | Ngl      | Ngl %  |
| 1963  | 16          | 0.72   |       |          |        |
| 1965  | 37          | 1.67   |       |          |        |
| 1975  | 68          | 3.07   |       |          |        |
| 1976  | 3           | 0.14   |       |          |        |
| 1977  | 25          | 1.13   | 2001  | 213      | 8.45   |
| 2001  | 992         | 44.83  | 2002  | 1082     | 42.94  |
| 2003  | 835         | 37.73  | 2003  | 956      | 37.94  |
| 2004  | 237         | 10.71  | 2006  | 269      | 10.67  |
| Всего | 2218        | 100.00 | Всего | 2520     | 100.00 |

Примечание: Ngl – число ледников, обработанных в конкретном году, Ngl % – то же в процентах от общего числа ледников.

Как видно условие синхронности исходной информации выполняется для последующей обработки изображения со спутника TERRA существенно лучше, чем в глобальном Каталоге WGMS. Пока что Глобальный Каталог оледенения по данным ДЗЗ не сделан, как продолжение исторического ряда мониторинга ледников, из-за огромных затрат труда и времени на ручную обработку спутниковых изображений и отсутствия полного набора исходных данных, удовлетворяющих известным заданным критериям. К ним относятся: время съемки в интервале август-сентябрь, отсутствие летнего снега в это время на поверхности областей абляции и аккумуляции, отсутствие или минимум облачности в пределах ледниковых бассейнов, возможность сравнения современной и предшествующей границы ледников. Примером решения задачи многолетнего мониторинга оледенения в бассейнах рек и районах Центральной Азии по данным Каталога ледников (1971–1978) и ДЗЗ после 2000 года служат результаты в таблице 5, а также сведения в таблице 3 для массива Акшийрак.

Таблица 5. Изменение площади оледенения в бассейнах рек Центральной Азии

| Район/Бассейн      | Fgl км² по годам |       |       |      | dFgl/dT в % для интервалов лет |           |           |
|--------------------|------------------|-------|-------|------|--------------------------------|-----------|-----------|
|                    | 1957             | 1980  | 2001  | 2006 | 1957-1980                      | 1980-2001 | 2001-2006 |
| Западный Тянь-Шань | 115.0            | 93.3  | 78.8  | 77.0 | 0.82                           | 0.74      | 0.47      |
| Шахмардан          | 39.5             | 30.1  | 28.2  |      | 1.03                           | 0.31      |           |
| Сох                | 246.3            | 214.6 | 198.3 |      | 0.56                           | 0.36      |           |
| Исфара             | 129.7            | 125.1 | 121.0 |      | 0.16                           | 0.15      |           |

Примечание: район Западный Тянь-Шань включает бассейны рек Пскем и Чаткал, Fgl – площадь ледников, dFgl/dT – скорость изменения площади оледенения. Данные по Западному Тянь-Шаню в 1957, 1980 гг. заимствованы из Каталога ледников СССР, в 2001, 2006 получены автором по данным ДЗЗ (спутники ASTER и LANDSAT 7 ETM+; Данные по бассейнам рек Шахмардан, Сох, Исфара заимствованы из работы Батыров, Яковлев, 2004.

В принципе данные ДЗЗ для рек притоков Амударьи и Сырдарьи имеются вплоть до 2010 года. Однако, пока что они либо не охватывают целиком крупные речные бассейны, либо не удовлетворяют перечисленным выше критериям.

## Выводы

1. Сведения о многолетней изменчивости площади ледников в течение 1961–2000 следует считать довольно надежными, поскольку процент результатов, основанных на использовании крупномасштабных топографических карт, данных аэро-фото съемки и дистанционного зондирования ледников составил по годам: 1961 г. – 100%, 1980 г. – 100%, 2000 г. – 74%. 2. Данные о сокращении ледников в бассейне Аральского моря хорошо координируют с аналогичной информацией в горных районах Азии и Европы. 3. Ожидаемое значение площади ледников к 2020 году, полученное путем линейной экстраполяции  $dF/dt$  в течение 1991–2000 годов, оказалось больше, чем при использовании уравнения тренда за 1961–2000 годы. 4. Влияние пульсаций (быстрых подвижек) на изменения размеров ледников имеет локальное значение и существенно не отражается на фоновых оценках эволюции оледенения в масштабе крупного речного бассейна на Памире. 5. Примеры многолетнего мониторинга площади ледников Центральной Азии по материалам каталогизации ледников в 1955–2000 гг. и дистанционного зондирования после 2000 года характеризуют продолжающееся сокращение площади оледенения.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-05-00661.

## Литература

1. Агальцева Н.А., Коновалов В.Г. Ожидаемые изменения размеров оледенения и стока рек при различных сценариях будущего климата Земли. «Биржа интеллектуальной собственности», 2005. том IV, № 8, с. 37–47.
2. Батыров Р.С., Яковлев А.В. Мониторинг горных ледников некоторых районов Гиссаро-Алая с использованием космических снимков Aster Terra. Труды НИГМИ, вып. 3(248), 2004, с. 22–27.
3. Вилесов Е. Н., Морозова В.И. Деграация оледенения гор Южной Джунгарии во второй половине 20-го века. Москва, МГИ, 2005, №98, с. 201–206.
4. Вилесов Е. Н., Уваров В. Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Изд. «Казак Университет», Алматы, 2001, 252 с.
5. Виноградов О.Н., Кренке А.Н., Огановский П.Н. Руководство по составлению Каталога ледников СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 154 с.
6. Глазырин Г.Е., Шестерова И.Н. Некоторые особенности оледенения китайской части бассейна реки Или. В сб. «Географическая наука в Казахстане: результаты и пути развития». Изд-во «Гылым», Алматы, 2001. с. 303–311.
7. Глазырин Г.Е., Щетинников А.С. Состояние оледенения Гиссаро-Алая в последние десятилетия и возможная его динамика в связи с будущими изменениями климата. Москва, МГИ, 2001, №90, с. 126–129.
8. Десинов Л.В., Коновалов В.Г. Дистанционный мониторинг многолетнего режима оледенения Памира. МГИ. Хроника. Обсуждения. 2007, N 103, с. 129–133.
9. Иванов П. А. Современное оледенение в верховьях и левых притоках р. Амударьи. // Изв. ВГО. Т. 102, № 3. 1970. С. 239–244.
10. Каталог ледников СССР. Том 14, вып. 3, части 1–12. Л.: Гидрометеиздат (1971–1978).
11. Коновалов В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 236 с.
12. Коновалов В.Г., М.В. Вильямс. Многолетние колебания оледенения и стока рек Центральной Азии в современных климатических условиях. «Метеорология и Гидрология». 2005, N 9. с. 69–83.

13. *Кренке А.Н.* Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. Ленинград, Гидрометео-издат, 1982. 287 с.
14. *Нарожный Ю.К., Никитин С.А.* Современное оледенение Алтая на рубеже 21-го века. Москва, МГИ, 2003, №93, с. 93–101.
15. *Северский И.В., Томагамбетов Т.Г.* Современная динамика оледенения Северного Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау. Москва, МГИ, 2005, №98, с. 3–9.
16. *Щетинников А. С.* Морфология оледенения речных бассейнов Памиро-Алая по состоянию на 1980 год (справочник). – Ташкент, 1997. Издательство САНИГМИ. 148 с.
17. *Щетинников А.С.* Морфология и режим ледников Памиро-Алая. Ташкент: Изд-во САНИГМИ, 1998. 219 с.
18. *Aizen, V.B., Kuzmichenok, V.A., Surazakov, A.B., Aizen, E.M.* Glacier changes in the Tien Shan as determined from topographic and remotely sensed data. *Global and Planetary Change*, Volume 56, Issues 3–4, April 2007, pp. 328–340.
19. *Ding Yongjian and Liu Shiyin.* The retreat response of glaciers to recent climate warming in the western China. *Annals of Glaciology*, Volume 43, Number 1, September 2006 , pp. 97–105.
20. *Kang E.-S., Shen Y.-P., Li X., Liu C.-H., Xie Z.,-C., Li P.,-J., Wang J., Che T., Wu L.,-Z.*, Assessment of the Glacier and Snow Water Resources in China. A Report to the Ministry of Water Resources of China. CAREERI/CAS, Lanzhou, 2004, 54 p.
21. *Kulkarni A.V., Bahuguna I.M., Rathore B.P., Singh S.K., Randhawa S.S., Sood R.K. and Dhar S.* Glacial retreat in Himalaya using Indian Remote Sensing satellite data. *Current science*, vol. 92, no. 1, 10 January 2007, pp. 69–74
22. *Kulkarni A.V., Philip G., Thakar V.C., Sood R.K., Randhawa S.S. and Chandra R.* Glaciers Inventory of the Satluj Basin using Remote Sensing Techniques. *Himalayan Geology*, vol. 20(2), 1999, pp. 45–52.
23. *Kuzmichenok V.A.* Monitoring of Water, Snow and Glacial Resources of Kyrgyzstan. Regional Workshop on Assessment of Snow-Glacier and Water Resources in Asia. Almaty, Kazakhstan. 28–30 November, 2006. pp. 125–143.
24. *Shen Yongping.* An Overview of Glaciers, Retreating Glaciers and Their Impact in the Tibetan Plateau. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute (CAREERI) Chinese Academy of Sciences (CAS). Lanzhou, China. 2004, 42 p.
25. *Tao Che, Xin Li, Li Zong Wu, Rui Jin.* Inventory of Glaciers and Glacial Lakes and the Identification of Potential Glacial Lake Outburst Floods (GLOFs) Affected by Global Warm ing in the Mountains of Himalayan Region. <http://www.jamstec.go.jp/jamstec-e/iugg/index.html>

# Dynamics of Central Asian glaciation by remote sensing data

V.G. Konovalov

*Institute of Geography RAS*  
*29, Staromonetny per., 119017 Moscow*  
*vladgeo@gmail.com*

The paper contains information on changes of glacier area in Central Asia, that distributed over the basins of the tributaries of the Amu Darya and Syr Darya rivers. The results were generalized and synchronized to the four time slices (1961, 1980, 1991, 2000, 2020). The data for 1961 and 1980 are derived from the Catalogue of the glaciers of the USSR. The estimates for 1991 and 2020 are calculated by the method of the author, the data in 2000 are identified by processing of image from satellite LANDAST7 (scanner ETM+) and TERRA (scanner ASTER). During the 1961-2000 shrinking of glaciers in the study area ranged from 14% to 33%. By 2020 is expected to further decrease the size of glaciers. Several examples are presented of long-term monitoring of glaciers in Central Asia based on the cataloging of glaciers in the 1955-2000 years and remote sensing since 2000.

**Keywords:** Central Asia, glaciers, remote sensing monitoring, area shrinkage, Pamir, Aral Sea basin.