**Glaciological studies in Kazakhstan: current status, results and development prospects**

By Igor Severskiy Institute of Geography, Kazakhstan

***Hissar-Alay***

***The Pamirs***

**Research Area**

***Tien Shan***

***Dzhunghar Alatau***

**On the basis of the analysis of monitoring data in mountains of Eurasia the system of the calculation methods is developed to determine the distribution of maximum snow-water equivalent for any mountain area, including not studied mountain basin**

**Исходная информация: данные стандартных наблюдений на сети станций гидрометеорологического мониторинга, данные о распределении площади бассейна по абс. высоте, экспозиции склонов, типу растительности.**

3

***Calculation of snow resources***

***Calculation of snow resources***

**Typical dependences of the maximum snow-water-equivalent from absolute height** ∆W **— разность значений средних из максимальных снегозапасов на "нулевом" (600 м) и расчетном уровнях, мм;** Н **— абсолютная высота (расчетный уровень), км.**

**Type of distribution on** absolute height **Calculated**

**equations**

**Calculation error,** σ

**Ограничения по высоте, No Name мм % м абс. 1 Central Tien-Shan** ∆**W=5,2 H2,00 25 600-3400**

**2 Inner Tien Shan** ∆**W=5,0 H2,80 21 600-3200**

**3 Alay** ∆**W=13,0 H1,85 29 23 600-3200 4 Talas** ∆**W=11,7 H2,30 25 20 600-3200 5 Northern Tien Shan** ∆**W=13,6 H2,60 23 14 600-3200 6 Kuramin-Chatkal** ∆**W=25,0 H2,60 28 20 600-2600 7 Fergana** ∆**W=40,83 H2,56 44 19 600-2600 8 Западно-Тяньшаньский** ∆**W=94,5 H2,20 50 15 600-2600**

***Calculation of snow resources***

**Dependence of the height of firn- line** Нf **from the glacier area** F **Расчет снегозапасов в**

**высокогорье выполнен экстраполяцией на величину годовой аккумуляции твердых осадков на высоте приведенной фирновой линии** Нi -**- климатической снеговой границы. Введено понятие** Нi **и предложена методика ее расчета.**

**1–Алтай, Саяны; 2–Джунгарский Алатау; 3–Тянь-Шань; 4–Памиро- Алай; 5–Большой Кавказ; 6-Альпы; 7–сплошное поле точек; 8–зона, где площадь ледника показана внемасштабно (**F**>>20 км2).**

**Distribution of average maximum snow-water equivalent over the territory of Tien-Shan**

W, м3 4000000035000000 W30000000

WeWп 25000000

20000000

15000000

10000000

5000000

1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600 2800 3000 3200 3400 3600 3800 4000 4200 4400 4600

Запас Интервал,

Площадь, снеговой воды, м3 (м ур.м)

км кв.

W Wе Wп 1000-1200 4 240130 175302 175302 0 0 0 0 1200-1400 4 277323 0 0 0 0 0 1 1400-1600 44 3538921 1208679 876389 1 1 4 5 1600-1800 36 3386125 1194298 916408 1 2 3 8 1800-2000 48 5029836 2577587 907126 1 2 4 12 2000-2200 76 9170768 5943037 3195122 3 5 7 19 2200-2400 116 15911504 7679668 5278288 4 9 10 29 2400-2600 160 25026488 14864631 10233575 8 17 14 43 2600-2800 212 36951674 23664251 16847308 14 31 19 61 2800-3000 144 28803329 19431196 17510649 14 45 13 74 3000-3200 96 21768997 17398930 16035487 13 58 8 82 3200-3400 68 17595141 14770987 13903511 11 69 6 88 3400-3600 52 14879957 12031783 11463161 9 79 5 93 3600-3800 36 12088584 10230193 10230193 8 87 3 96 3800-4000 32 11876597 10722191 10435501 8 95 3 99 4000-4200 8 3470225 2944308 2944308 2 98 1 99 4200-4400 8 3687590 3033996 3033996 2 100 1 100 4400-4600 0 0 0 0 0 0 4600-4800 0 0 0 0 0 0 4800-5000 0 0 0 0 0 0 **1000-5000 1144 213703188 147871037 123986321** 100

**Distribution of snow resources in the Turgen River basin** 7

V, %

Объем

Площадь

0

10090

807060504030201001000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400 2600 2800 3000 3200 3400 3600 3800 4000

***Dynamics of glaciation***

**Changes of glaciation in the Balkhash-Alacul basin**

**According to remote sounding the unified glacier inventories of the Ileyskiy-Kungei glacial system are made as of 1955, 1975, 1979, 1990, 2000, 2008 and the similar glacier inventories of the Dzhunghar glacier system as of 1956, 1972, 1990, 2000.**

Данные каталогов – наиболее надежная основа оценки современных и прогнозных изменений оледенения региона

**1.41.2**

**1.269**

**Наибольшие темпы деградации оледенения наблюдались в первой половине 1970-х, в последующий период они устойчиво сокращались.**

**Наибольшие темпы деградации оледенения наблюдались в первой половине 1970-х, в последующий период они устойчиво сокращались.**

**0.80.6**

**0.635 0.562**

**0.4**

**0.2**

**0**

**1960 1970 1980 1990 2000 2010**

**0.816**

**Наибольшие темпы деградации оледенения наблюдались в первой половине 1970-х, в последующий период они устойчиво сокращались.**

**Наибольшие темпы деградации оледенения наблюдались в первой половине 1970-х, в последующий период они устойчиво сокращались.**

**Наибольшие темпы деградации оледенения наблюдались в первой половине 1970-х, в последующий период они устойчиво сокращались.**

**Замедление темпов деградации оледенения с начала 1980-х отмечено на Западном Памире (Глазырин, Кодома) и Гиссаро-Алае(Батыров, Яковлев)**

**1**

**0.936**

**Change of rates of the glaciation area reduction on the Northern slope of Iley Alatau mountains, % a year *Оледенение региона сокращалось со средней интенсивностью около 0,8% в год по площади и около 1% в год по объему льда***

**Наибольшие темпы деградации оледенения наблюдались в первой половине 1970-х, в последующий период они устойчиво сокращались.**

**Наибольшие темпы деградации оледенения наблюдались в первой половине 1970-х, в последующий период они устойчиво сокращались.**

***Changes of the area of an open part of glaciers of northern slope of the Iley Alatau***

**300280**

**260**

**240**

**220**

**200**

y = -2.2228x + 4630.8 **180**

R2 = 0.9926

**160**

**годы 140**

**1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020**

**Если следовать выявленным тенденциям, можно ожидать, что к 2020 г. площадь открытой части оледенения сократится до 140 кв. км, а концу столетия подавляющая часть ледников исчезнет.**

**Change of a share of the area of a buried part of glaciers, %**

**Dzhunghar Alatau**

**4540**y = 0,011x2 - 46,67x + 45709

R2 = 0,978

**353025201510501950 1960 1970 1980 1990 2000 2010**

**Iley Alatau**

**60y = 0.0202x2 - 78.876x + 77223**

**R2 = 1**

**504030201001950 1960 1970 1980 1990 2000**

**The share of the glaciers area of separate basin in the area of glaciation of whole glacial system remains constant**

Dzhunghar Alatau Iley Alatau

**Deviations of the calculated area of a glaciation of glacial system from actual, %.**

***Использованы данные по Алтаю, Памиру, Гиссаро-Алаю, Илейскому и Джунгарскому Алатау.***

**При площади оледенения более 5 кв. км ошибка определения площади оледенения ледниковой системы не превышает ± 10%, а при площади оледенения частного бассейна более 10 кв. км ошибка расчета не более ±5% . *Этот результат открывает возможности для оперативного мониторинга состояния ледниковых систем и их реконструкции за исторический период.***

**Changes in glaciation area (pure ice) of Dzhunghar glacier system during the period from 1956 to 1990.**

**Region, River basin**

**Rate of glacier area reduction, %/year**

**1956-1972 1972-1990 1956-1990**

**The river basins of Southern slope of Dzhunghar Alatau 1,239 1,175 1,082**

**Karatal River basin ( open to west) 1,123 0,846 0,895**

**Biyen, Aksu, Lepsy river basins – Northern slope of Dzhunghar Alatau 1,342 0,603 0,884**

**Tentek and Yrgayty river basins – East periphery of mountain country 0,662 0,859 0,715**

**Dzhunghar glacier system as whole 1,185 0,854 0,924**

***Contemporary dynamics of glaciation***

**Change of the area of an open part of glaciers of Iley-Kungei glacial system**

**Район**

**(бассейн)**

**Glaciation area, km2 Annual rate of reduction, %**

**1955 1975 1979 1990 2008 6-1975 1955/5**

**1975- 1979**

**1979- 1990**

**1990- 2008**

**1955- 2008**

**Chon-Aksu 143,8 109,9 (103.9) (94.0) 84,4 1,179 1.365 0,866 0,567 0,779**

**Kemin Chon-**

**160,1 138,4 (130.6) (118.3) 103,8 0,260 1,409 0,856 0,681 0,664**

**Chemolgan**

**-Turgen - 287,3 240,4 228,2 204,7 172,0 0,816 1,269 0,936 0,887 0,757 Shelek 293,5 259,9 243,3 222,6 204,5 0,572 1,597 0,773 0,452 0,572**

**Total 884,7 748,7 706,0 639.6 564,7 0,769 1,426 0,855 0,650 0,682**

16

**Tuyuksu glacier mass balance**

**Cumulative mass balance Интенсивная**

**деградация началась с первой половины 1970-х Со второй половины 1980-х и по 2005 г. темп деградации ледника замедлился**

**Course of winter mass balance of Tuyuksu glacier for 1955 – 2006**

**Годовой баланс массы ледников решающим образом определяется величиной зимнего баланса массы. Резкое ускорение деградации ледника в 1970-х годах обусловлено преимущественно обвальным (втрое) сокращением зимнего баланса массы**

*Change of glaciation area (Fg) and area of glaciers covered with moraine (Fm) at southern part of Central Asia (Shchetinnikov, 1998 Glazirin, 2006,)*

***Hyssar-Alay***

***The Pamirs***

***Years Fg, km2 Fm, km2 Years Fg, km2 Fm, km2 1961 7360 420 1957 2180 167 1980 6600 640 1980 1840 200 2005 (5770) 2005 (1470) %/year 0.52 %/year 0.81***

***Glaciation in Kazakhstan over the past half-century of decline at a rate of about 0.8/year on the area and about 1% /year on the ice volume***

***Present day shrinkage of glaciers***

**Current and projected changes in glaciation**

**Iley Alatau**

**Dzhunghar Alatau**

***Прогнозы деградации оледенения северного склона Илейского Алатау и Южного Жетысу***

**Projected changes in glaciation**

**Ледниковая система Бассейны рек**

**Расчетная площадь оледенения по**

**состоянию на год Год полного исчезновени 2030 2050 2100 2200 2500 я оледенения Южно-Джунгарская Хоргос, Усек 75,5 34,6 2070**

**Западно-Джунгарская Каратал 112 47,0 2075**

**Северо- Джунгарская**

**Биен, Аксу,**

**Лепсы 131 86 2080 Восточно-Дунгарская Ыргайты Тентек,**

**38 22 2080**

**Джунгарская**

**в целом 297 190 150 54 2080**

**Северо- Илейская**

**Междуречье Узун-Каргалы - Тургень**

**122 77 2085**

**Восточно-Памирская Муксу 1133 1090 983 2620**

**Западно- Памирская Сельдара 658 637 586 2730 Алтайская Обь 750 680 540 120 2580**

2500 2000

1500

1000

5

43210

***Annual precipitation***

***Mean summer air temperature***

***Glaciation area change in transition Basic meteorological station is “Fedchenko Glacier” (H = 4.16 km) (Glazirin, 2006)***

500

340320

300

280

260

240

1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 **Year**

***Total area of glaciers***

**Impact of glaciers degradation on river runoff and water resources**

**В контексте этой задачи важно отметить, что на протяжении последних десятилетий нормы сумм осадков и максимальных снегозапасов в зоне формирования стока главных рек Центральной Азии оставались устойчивыми.**

***Long-term water resources change (G. Glazirin)***

***Несмотря на значительное сокращение ледниковых ресурсов, нормы речного стока большинства главных рек Центральной Азии в течение прошлого столетия, virtually unchanged****.*

35003000

2500

2000

1500

1000

500

0

1900 1920 1940 1960 1980 2000

**Years**

**Relationship of the characteristics of river runoff and annual sums of precipitation**

**River runoff is determined, first of all, by annual sums of precipitation**

**В этом отношении не исключение и сток периода интенсивной деградации ледников – с начала 1970-х.**

млн.м3 500

400

**y = -1.9612x + 312.14**

300

200

100

0

Годы

Прибавка ледникового стока за счет увеличения слоя стаивания льда при глобальном потеплении несоизмеримо мала в сравнении с величиной убыли стока вследствие сокращения площади абляции (эти величины соотносятся как 1 к 150).

**The glacial runoff is reduced proportionally to reduction of the glaciers area.**

**Annual course and trend of the calculated glacial runoff in the Karatal River Basin**

**Changes of an actual glacial runoff in basins of the Southern macroslope of Dzhunghar Alatau Mountains**

**No Бассейн**

**Ледниковый сток, км3**

**1956-1972 1972-1990 1990-2000**

**1956- 2000 1 Коргас 0,4973 0,7549 0,2025 1,4547 2 Шыжын 0,4358 0,1993 0,0421 0,6772 3 Тышкан 0,0907 0,1604 0,1750 0,4261 4 Бурхан 0,0194 0,0203 0,0065 0,0462 5 У. Осек 0,1831 0,2300 0,1733 0,6569 6 О. Осек 0,1004 0,1976 0,1021 0,4001 7 К. Осек 0,1231 0,2309 0,1709 0,5249 5-6 У. и О. Усек 0,2835 0,4276 0,2754 1,0570**

**Changes in share of glacial runoff in Southern Dzungaria**

**Максимальные значения ледникового стока и его доли в суммарном стоке наблюдались в период максимума интенсивности деградации ледников – в 1970-х годах, и в последующем сокращались вследствие сокращения площади абляции ледни**ков.

The share of glacial runoff,% Basin

1956-1972 1972-1990 1990-2000 **Small Osek 3,1 5,2 4,1 Ulken and Orta Osek 3,4 5,8 4,4**

**As the norms of annual precipitation and maximum snow-reserves during the specified period did not change, the stability of runoff can be explained by the presence of a certain compensating mechanism.**

**Dispute of the significant glaciers degradation the volume and intra-annual distribution of the rivers runoff during the last half century remained steady.**

**To the forecast of changes of water resources**

**The role of the compensatory mechanism is carried out by thawed waters of underground ices. The basic volume of a compensatory runoff is formed by thawed waters of buried glaciers and rock glaciers .**

**Change of height of a surface of an open part of Tuyuksu group of glaciers for 40 years (1958-1998)**

**Total reduction of a thickness of ice in the bottom part of a glacier tang was exceeded by 45 m**

**Change of height of a surface of a buried part of Tujuksu group of glaciers (1958-1998)**

Общие потери объема льда погребенной части ледников эквивалентны 20 % суммарнх потерь льда открытой части Туюксуйской группы ледников.

***Conclusion***

**Оледенение региона продолжает сокращаться со средней скоростью 0,8% в год по площади и около 1% в год по объему льда, но темп деградации оледенения с начала 1980-х годов сокращается**

**The glaciers regime is determined mainly by volume of winter mass balance. Changes of a river runoff is determined by annual sums of precipitation and first of all by precipitation during cold period**

ТОО Институт географии 34

**The decrease of the area of the open part of the glaciers does not indicate the equivalent reduction of the glacial resources: по мере деградации все большая часть ледника переходит из состояния открытого в состояние погребенного и в условиях потепления климата продолжает участвовать в формировании стока.**

**Relationship the areas of glaciation of particular basin and glaciation area of corresponding glacial system are steady in the time. The operational monitoring of the state of the glacial systems is possible on this basis**

ТОО Институт географии 36

**Glacial runoff, having reached a maximum in 1970-s, in the subsequent it is reduced proportionally to reduction of glaciers area**

ТОО Институт географии 37

**Additive to the glacier runoff as a result of the global warming composes the first units of percentages of summary drain and it could not substantially change hydrological regime and volume of the river runoff**

ТОО Институт географии 38

***Заключение***

**Despite considerable reduction of glacial resources the runoff of the main rivers in the Central Asia during last half a century, at least, remained steady. It gives the grounds to assume presence of a certain compensatory mechanism. Such mechanism is the increasing (in continue warming climate) participation of thawed waters of underground ices in runoff formation.**

**Taking into account stability of norms of the annual sums of precipitation and maximum snow-reserves in a zone of runoff formation and presence of the compensatory mechanism there are no sufficient bases to be afraid in immediate prospects of considerable reduction of regional water resources and the corresponding economic losses caused by the glaciers degradation**