

**Двадцать вторая международная конференция 11-15 ноября 2024 года, г. Москва ИКИ РАН
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"**

В.Г. Коновалов, Институт географии РАН

«Ледниковый сток в бассейне Азовского моря»

1. В публикации [Бердников и др., 2023] установлено, что подавляющую долю (до 95-100%) материкового притока воды в Азовское море составляет суммарный сток рек Дон и Кубань. Поскольку современное горное оледенение существует только в бассейне Кубани, задачей работы служит расчет ледникового стока V_{gl} в этом бассейне за 1957-2018 годы и оценка влияния V_{gl} на изменение уровня Азовского моря. В качестве источников для гляциологических и гидрологических расчетов использованы: а) данные топографических съемок ледников [Каталог ледников СССР, 1967] и дистанционных измерений горного оледенения [RGI Consortium, 2017; Каталог ледников России, Электронный ресурс] со спутников Ландсат и Сентинел;

б) средние месячные температуры воздуха на метеостанциях в бассейне Кубани и на сопредельной территории [Погода и климат, электронный ресурс]; в) средние месячные расходы воды на гидропостах в бассейнах Дона и Кубани [Bodo, 2000; Dai and Trenberth, электронный ресурс].

2. В общем случае объем ледникового стока V_{gl} с площади оледенения S_{gl} в речном бассейне равен произведению удельного слоя таяния M_{gl} на средней взвешенной высоте z_0 площади оледенения S_{gl} на площадь S_{gl} , т.е. $V_{gl} = M_{gl}(z_0) \cdot S_{gl}$. Удобным вариантом расчета $M_{gl}(z_0)$ является, полученная в [Кренке, 1982] региональная степенная зависимость $M_{gl}(z_0)$ от средней летней температуры воздуха $T_{sum}(z_0)$. Определение таяния на площади S_{gl} , где формируются основные составляющие ледникового стока [Коновалов, 2023], включает ежегодный расчет максимального значения параметра ELA (Equilibrium Line Altitude) как функции годового индекса баланса аккумуляции и абляции (I_B). В качестве I_B для бассейна Кубани были испытаны: а) Региональный баланс массы ледников для Северного Кавказа [Dyurgerov, 2000], б) Локальные балансы массы на условно репрезентативных ледниках Гарабаши и Джанкуат [WGMS, 2020], в) Разность безразмерных аномалий осадков и температуры воздуха за характерные интервалы времени на метеостанции Зеленчукская. Наиболее информативным оказался годовой баланс массы на леднике Джанкуат. Полученные значения ELA необходимы для определения следующих площадей, как составляющих S_{gl} : лед под мореной, открытый лед, старый фирн, зимний и летний снег.

3. Данные каталога [Каталог ледников СССР, 1967], а также результаты дистанционного спутникового зондирования оледенения Кубани [RGI Consortium, 2017; Каталог ледников России, Электронный ресурс] содержат определения индивидуальных параметров S_{gl} , начальной z_{beg} и конечной z_{end} высот ледника, привязанные к 1957, 2000, 2018 годам. В перечисленных источниках принят упрощенный вариант определения средней высоты индивидуальных ледников z_{mean} в виде среднего значения суммы начальной z_{beg} и конечной z_{end} высот ледника, т.е. $z_{mean}=(z_{beg}+z_{end})/2$. Ежегодные значения S_{gl} , z_{beg} , z_{end} и z_0 , необходимые для расчета $M_{gl}(z_0)$ и объема V_{gl} в бассейне Кубани, получены автором путем линейной либо полиномиальной фильтрации трехразовых срезов S_{gl} , z_{beg} , z_{end} и z_0 в интервале 1957-2018 гг. За 1957-2018 гг. S_{gl} уменьшилась от 216.6 км² до 200 км², высота z_{beg} и z_{end} возросла, соответственно от 3470 м до 3793 м и от 2631 м до 2747м. Ежегодные изменения высотно-площадных характеристик оледенения Кубани в течение 1957-2018 гг. иллюстрирует рис 1 а-в. На рисунке 2 показано изменение средней летней температуры воздуха в интервале от z_{end} до ежегодной максимальной высоты сезонной снеговой границы.

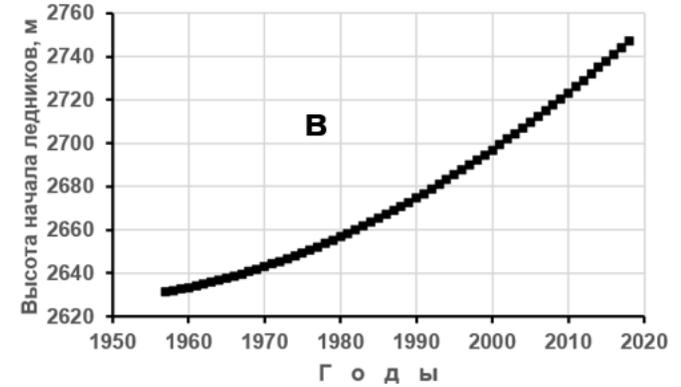
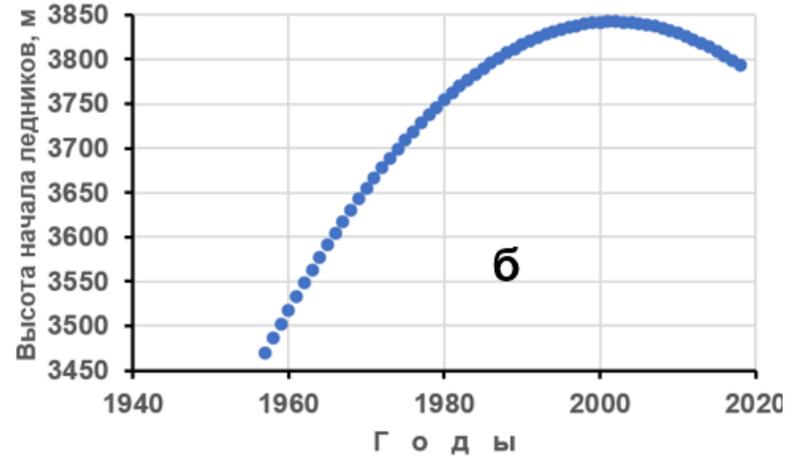
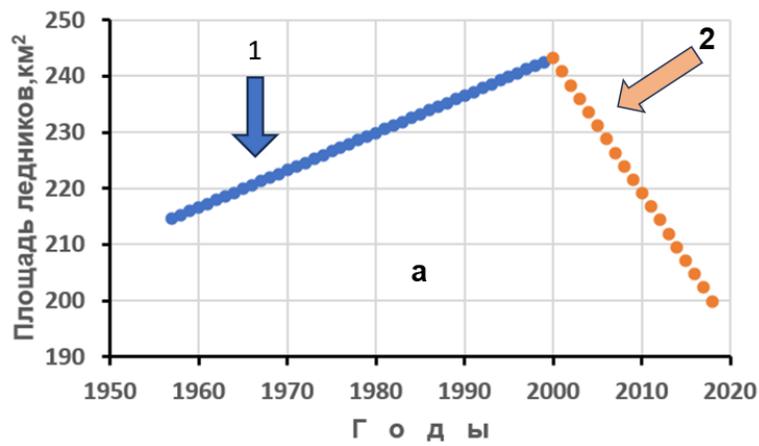


Рис.1 Зависимости, использованные для расчета ледникового стока в бассейне Кубани. а – изменение площади S_{gl} , 1 – за 1957-1999 гг, 2 – за 2000-2018 гг.; б – высота начала ледников $z_{beg} = -0.19 \cdot x^2 + 745.8 \cdot x - 742647$; в – высота конца ледников $z_{end} = 0.0209 \cdot x^2 - 81.176 \cdot x + 81449$. Здесь x – порядковый номер года

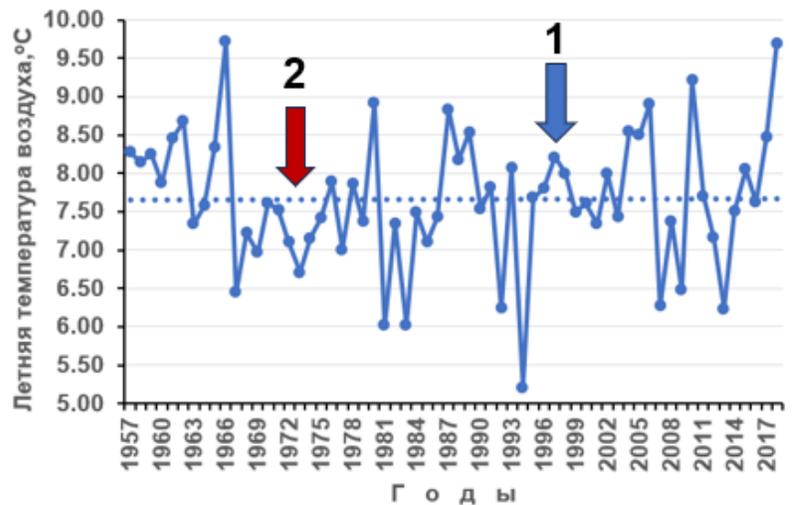


Рис. 2. 1 - Изменение T_{sum} в бассейне Кубани, 2 - тренд T_{sum}

Для расчета $T_{sum}=T(z)$ использованы наблюдения на метеостанциях Красная поляна (566), Владикавказ (703), Зеленчукская (929), Клухорский перевал (2039), Шаджатмаз (2056), Сулак (2923). Здесь после названия метеостанций в скобках дана высота над уровнем моря. Коэффициент корреляции зависимостей $T_{sum}=f(z)$ в течение 1957-2018 гг. изменялся от -0.98 до -1.00. Тренд T_{sum} на средней высоте от z_{end} до Z_{max} равен $0.003 \cdot N_{year} + 7.21$, $Z_{max}=Z_{end}+(Z_{beg}-Z_{end}) \cdot Prob(I_B)$, N_{year} – номер года, $Prob$ – статистическая обеспеченность [Коновалов,2023].

4. Результаты, полученные в пп 2-3, позволили рассчитать годовой объем ледникового питания V_{gl} и его относительный вклад в стоке Кубани (гидропост Тиховский) за июнь-август $Vol(6-8)$, который в 1957-2005 гг. изменялся за лето от 10.4% до 47.1%, а за год от 3.6 до 12.4 %, и в суммарном годовом стоке Дона и Кубани от 1.2 до 4.7 %. Результаты расчета ледникового стока Кубани приведены на рисунке 3.

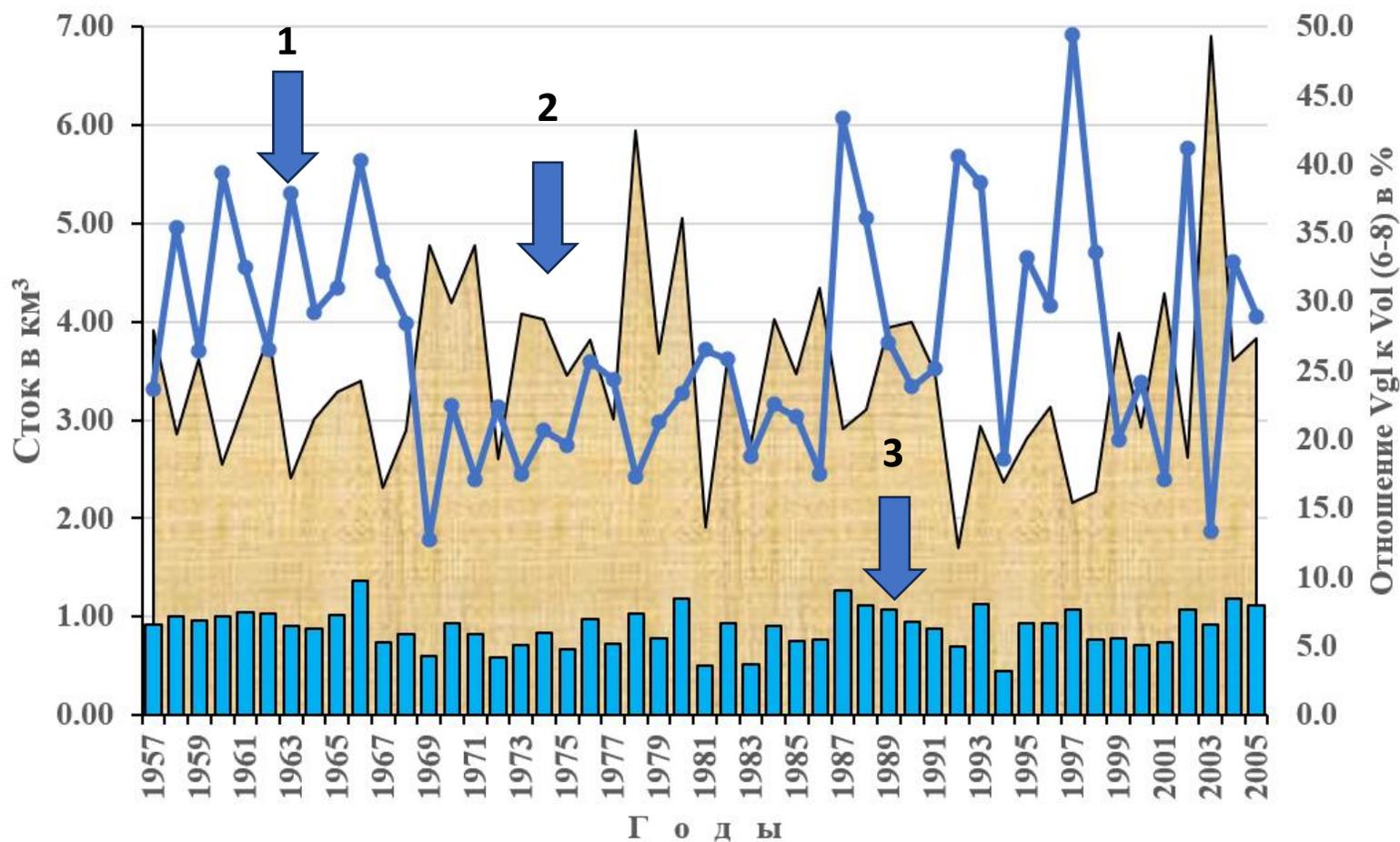


Рис. 3 Многолетние изменения составляющих гидрологического режима р. Кубань (гидропост Тиховский). 1 – Сток за лето (июнь-август), 2 – Отношение ледникового стока к речному (использована правая ось ординат), 3 – ледниковый сток.

Заключение. а) Впервые получен многолетний ряд годовых объемов ледникового стока в бассейне Азовского моря; б) Установлено, что многолетние колебания ледниковой составляющей стока Кубани практически не влияют на изменения объема и уровня Азовского моря. в) Высокая теснота зависимостей $T_{sum}=f(z)$, $T_{aprel}=f(z)$, $T_{sum}=f(T_{aprel})$ служит основанием для разработки метода прогноза ледникового стока Кубани, как это было сделано в работе [Коновалов, 2023] для других речных бассейнов. г) Тренд изменений за 1957-2004 гг. составил: $V_{gl}=-0.0008*N_{year}+0.9067$ и $Vol(6-8)=0.0049*N_{year} +3.7302$. N_{year} – порядковый номер года.

Литература

Бердников С.В., Кулыгин В.В., Дашкевич Л.В. Причины стремительного роста солености воды Азовского моря в XXI веке // Морской гидрофизический журнал. — 2023. — Т. 39. — № 6. — С. 760–778. EDN QPFZZT.

Каталог ледников СССР. Том 8 Северный Кавказ. Части 1-4. Бассейн реки Кубани. Панов В.Д., Кравцова В.И. Гидрометеиздат. Ленинград, 1967. 123 с.

RGI Consortium. 2017. Randolph Glacier Inventory (RGI) - A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0. Technical Report. Global Land Ice Measurements from Space. Boulder. Colorado. USA. Digital Media, 2017. 71 p. <https://doi.org/10.7265/N5 RGI 6.0>.

Каталог ледников России // Электронный ресурс. <https://www.glacrus.ru> (Дата обращения: 05.12.2022).

Погода и Климат // Электронный ресурс. <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (Дата обращения: 05.12.2022).

Bodo B.A. Monthly Discharges for 2400 Rivers and Streams of the former Soviet Union (FSU). Toronto, Canada. 2000.

V. 1.0.

Dai and Trenberth. Global River Flow and Continental Discharge Dataset. d551000.

Электронный ресурс. DOI: 10.5065/D6V69H1T

Кренке А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 287 с.

WGMS 2020. Global Glacier Change Bulletin No. 3 (2016-2017). Zemp, M., Gdrtner-Roer, I., Nussbaumer, S. U., Bannwart, J., Rastner, P., Paul, F., and Hoelzle, M. (eds.),

ISC(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 274 pp. Based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2020-08.

Коновалов В.Г. Расчет и прогноз ледникового питания в речных бассейнах //Лёд и снег. — 2023. — том 63. — № 2. — с. 188–198. DOI:10.31857/S2076673423020102

Dyurgerov M.B. Reanalysis of Glacier Changes: From the IGY to the IPY, 1960-2008 // МГИ. — 2010. — Москва. — ИГРАН. — 116 с.