

Б. МОЛДОБЕКОВ, А. МАНДЫЧЕВ, Р. УСУБАЛИЕВ, А. ШАБУНИН, А. ОСМОНОВ,
Э. АЗИСОВ, О. КАЛАШНИКОВА, Ю. ПОДРЕЗОВА, Н. ШАЙДЫЛДАЕВА

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Бишкек, Кыргызстан

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ КЫРГЫЗСТАНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Рассматривается изменение различных видов водных ресурсов Кыргызстана на фоне климатических изменений, проявляющихся в основном в повышении температуры приземного воздуха. Показано, что в последние десятилетия, с постоянным ростом температуры воздуха происходят устойчивая многолетняя деградация ледников в среднем на $20 \pm 10\%$, снижение речного стока в бассейнах с незначительной степенью оледенения и повышение речного стока там, где степень оледенения большая, в обоих случаях на $10\text{--}30\%$. Озера реагируют на повышение температуры воздуха уменьшением объема. Ресурсы подземных вод межгорных бассейнов наиболее консервативны и незначительно изменяются под влиянием климата.

In article consider of change of different types of water resources of Kyrgyzstan on background of the climatic changes which are shown generally in temperature increase of ground air. It is shown that in the last decades, with permanent growth of air temperature, there is a steady long-term degradation of glaciers on average for $20\% \pm 10\%$, decrease in a river flow in basins to insignificant degree of a freezing and increase of a river flow where freezing degree big, in both cases for $10\text{--}30\%$. Lakes react to air temperature increase by reduction of volume. Resources of underground waters of intermountain basins are most conservative and slightly change under the influence of climatic changes.

На территории Кыргызстана систематические наблюдения за климатическими параметрами выполняются Гидрометеорологической службой включающей порядка 30 метеостанций и 75 гидропостов, из них восемь станций являются корреспондентами ВМО. По отдельным станциям имеются длительные ряды данных начиная с 1883 года. Глобальные изменения климата проявляются на территории Кыргызстана в виде изменения двух основных параметров: температуры приземного воздуха и атмосферных осадков. При этом наиболее явно наблюдается повышение температуры в виде многолетнего увеличения средней годовой температуры воздуха. Эта тенденция многолетнего роста температуры фиксируется большинством метеорологических станций Кыргызстана.

Исследование климата Кыргызстана имеет достаточно длительную историю и проблемой его изучения занимались многие исследователи [1–4]. В последние десятилетия закономерности этих изменений по 2000 г. были оценены в Первом национальном сообщении Кыргызстана и отражены в других публикациях [4–6]. Результаты анализа климатических параметров по данным гидрометеорологической службы Кыргызстана показали, что в среднем для всей территории Кыргызстана с 1885 по 2000 год по 19 длиннорядным (70–120 лет) станциям, расположенным в различных климатических областях на высотах от 0,76 до 3,64 км, линейные тренды средних месячных и годовых температур воздуха были в диапазоне $0,6\text{--}2,4^\circ\text{C}$ при среднем повышении по Кыргызстану на $1,6^\circ\text{C}$ за 100 лет, что значительно выше, чем глобальное повышение средней годовой температуры. Годовые суммы осадков в среднем по территории республики за этот период изменились незначительно (увеличение 23 мм, или 6%). При этом наблюдается их рост от 1–2 до 20–30% во всех климатических областях Кыргызстана, кроме Внутреннего Тянь-Шаня. Здесь, в высокогорной зоне, осадки местами значительно сократились (на 41–47%).

Во втором Национальном сообщении, подготовленном через 5 лет после первого, изменения климата были оценены для территории Кыргызстана в целом и по одному параметру – температуре [7]. Согласно полученной оценке за весь период инструментальных наблюдений с 1883 по 2005 г. средний температурный тренд в целом по территории Кыргызстана составил $0,79^\circ\text{C}$ на 100 лет.

Эта тенденция сохраняется и в последнее десятилетие. Так, во внутреннем Тянь-Шане по данным метеостанции Тянь-Шань с 1930 по 2015 год среднегодовая температура воздуха повысилась на $1,8^\circ\text{C}$, а годовые суммы атмосферных осадков уменьшились на 31%.

Пример аналогичного процесса изменения температуры воздуха по длинному ряду наблюдений с 1882 г. по настоящее время на метеостанции г. Нарына, показан на рисунке 1. На этом рисунке видно, что в изменении температуры имеется длиннопериодная, порядка сотни лет, составляющая неравномерных периодических колебаний и на их восходящей фазе с конца сороковых годов XX века происходит устойчивое повышение температуры приземного воздуха. На этом графике градиенты линейных трендов увеличиваются по мере роста ряда наблюдений. По этой метеостанции с 1915 по 2015 год средняя годовая температура по линейному тренду повысилась за 100 лет на 1°C. Такая же тенденция изменения температуры (рисунок 2) наблюдается по другим метеостанциям, находящимся в разных климатических областях Кыргызстана. Атмосферные осадки (рисунок 3) по этим же станциям до 2015 года имеют тенденцию в основном к повышению, за исключением метеостанции Тянь-Шань.

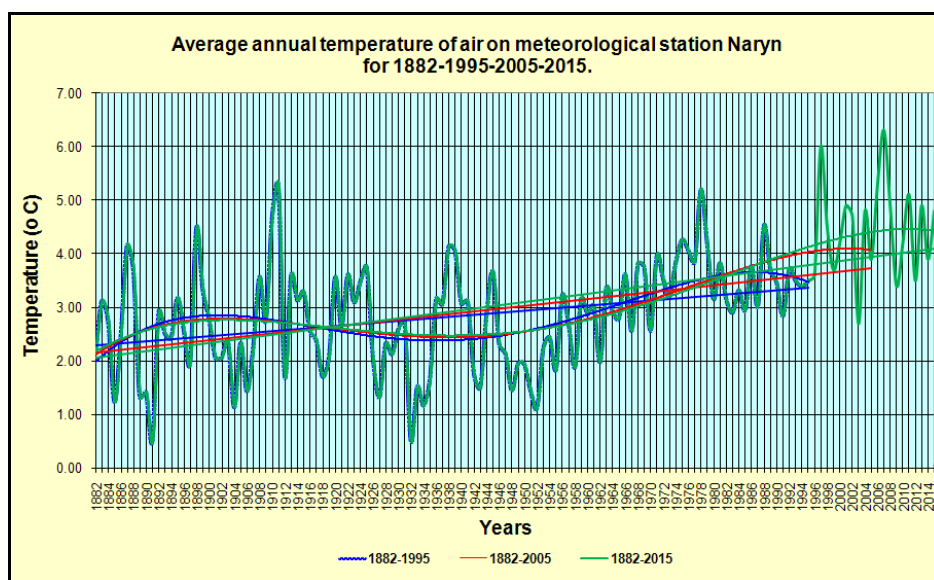


Рисунок 1 – Тенденция повышения средней годовой температуры приземного воздуха по данным метеостанции г. Нарына с 1882 по 2015 год

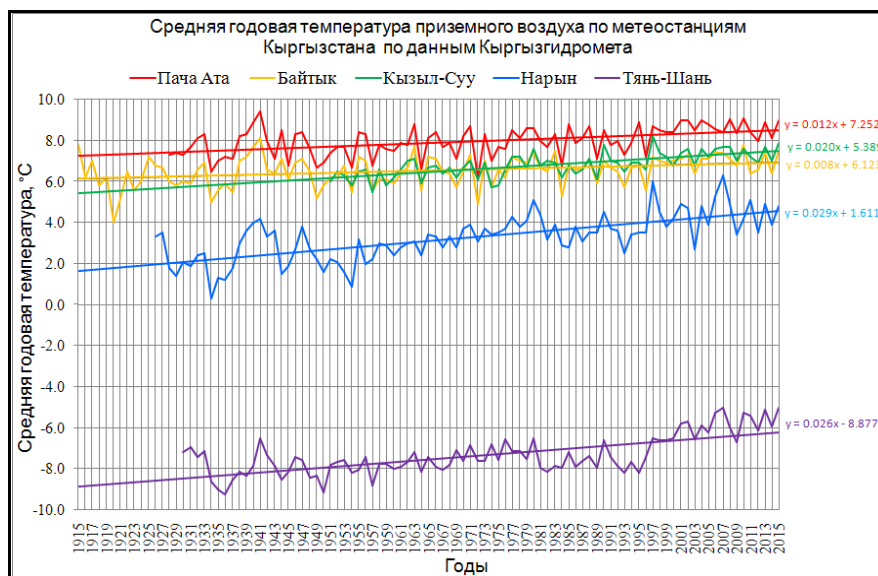


Рисунок 2 – Изменение средней годовой температуры приземного воздуха по метеостанциям «Пача-Ата», «Байтык», «Кызыл-Суу», «Нарын», «Тянь-Шань»



Рисунок 3 – Изменение годовых сумм атмосферных осадков по метеостанциям «Пача-Ата», «Байтык», «Кызыл-Суу», «Нарын», «Тянь-Шань»

Так как климатические факторы являются основными в формировании водных ресурсов, то, безусловно, их изменение непосредственно влияет на все виды водных ресурсов, представленных гляциальными, речными, озерными и подземными водами. В этом аспекте проблемой является определение степени климатического влияния на изменение водных ресурсов, которое оно вызывает.

Гляциальные водные ресурсы сосредоточены в ледниках, представляющих собой водохранилища пресной воды, находящейся в твердой фазе. Эта особенность обуславливает регулируемую роль ледников в процессе формирования речного стока. На территории Кыргызстана зарегистрировано около 5237 ледников. Их общая площадь составляет порядка 6321 км². Это около 4% территории Кыргызстана. Запасы пресной воды, аккумулированной в ледниках, оцениваются в 495 км³.

Характерной чертой ледников Кыргызстан является их преобладающая деградация, проявляющаяся в уменьшения их площади и объема. Эта тенденция в развитии ледников изучалась многими исследователями [8–12]. По результатам многочисленных исследований сокращение площади ледников Тянь-Шаня с середины девятнадцатого века по настоящее время находится около среднего значения $20 \pm 10\%$, что с учетом периода наблюдений порядка 150 лет дает скорость изменения порядка 0,07–0,2% /год. В частности, об этом свидетельствуют данные наблюдений на леднике Абрамова начиная с 1850 года (рисунок 4), включающие современные результаты изучения ледника путем анализа космических снимков и полевых исследований. Изучение репрезентативного ледника Абрамова показало, что с 1850 г. по настоящее время его площадь уменьшилась на 13,8%. Средняя скоростью сокращения площади ледника за весь рассматриваемый период около 0,02 км²/год. За этот же отрезок времени длина ледника уменьшилась приблизительно на 2950 м со средней скоростью порядка 18 м/год. Для этого ледника выявлено сходство скорости изменения площади в начальный и конечный периоды наблюдений, то есть не наблюдается монотонной тенденции увеличения скорости изменения, которая должна была быть за счет постоянного усиления антропогенного воздействия. Это может свидетельствовать о преобладании естественных факторов в характере изменения ледника и наличии как минимум 164-летнего полупериода фазы деградации ледника в его неравномерных по величине периодах циклических изменений.

Инвентаризация ледников Кыргызстана, выполненная на основе дешифрирования космических снимков спутников Landsat 8, Sentinel 2 и других, свидетельствует о продолжении процесса деградации ледников на всей территории республики. В бассейне озера Иссык-Куль за период времени от создания каталога ледников СССР, с 1976 по 2015 год, общая площадь

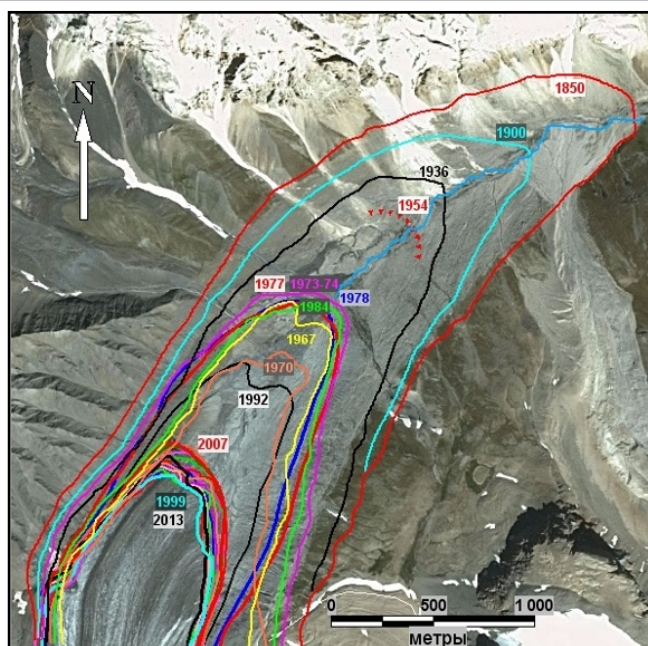


Рисунок4 – Границы ледника Абрамова с 1850 по 2013 год

ледников уменьшилась на 13,8%. Аналогичное изучение состояния ледников в бассейне реки Атбаши, во Внутреннем Тянь-Шане, показало, что с 1974 по 2015 год их площадь уменьшилась на 26%, а в бассейне рек Талас и Асса с 1968 по 2015 год произошло значительное сокращение площади ледников – на 46,6% (таблица 1). При этом во всех случаях количество ледников увеличилось за счет распада крупных ледников на более мелкие.

Таблица 1 – Изменение количества и площади ледников в бассейнах рек Талас и Асса с 1968 по 2015 год

Данные	Всего ледников в бассейнах рек Асса и Талас		Ледники размером > 0,1 км ²		Ледники размером < 0,1 км ²	
	Количество	Площадь, км ²	Количество	Площадь, км ²	Количество	Площадь, км ²
По каталогу 1968 г.	281	164,7	210	159,3	71	5,4
По Landsat 8 2015 г.	323	87,9	138	79,5	185	8,4
	+13%	-46,6%	-34,3%	-50,1%	+61,6%	+35,7

Таким образом, многолетний рост температуры воздуха, несмотря на увеличение атмосферных осадков, способствует уменьшению объема гляциальной составляющей водных ресурсов, но масштабы этого процесса в настоящее время незначительны.

Речной сток представляет основную, наиболее значимую в практической деятельности составляющую водных ресурсов. Его формирование представляет собой интегральный процесс и складывается в условиях Кыргызстана в основном из атмосферных осадков, меньше ледникового и еще меньше подземного стока. На территории Кыргызстана формируются порядка 2044 рек длиной более 10 км. Общий объем стока рек 50–57 км³/год. Доля ледникового стока в годовом стоке составляет в среднем от 3–10 до 30–70% в зависимости от близости к области питания и водности года. Отток за пределы республики составляет около 45 км³/год, или 78%. При этом из общего объема потребления пресной воды в республике расходуется на орошение почти 89%, в промышленности – около 6%, коммунально-бытовом секторе – около 3% и остальная часть – в других видах хозяйственной деятельности.

Изучение речного стока Кыргызстана также имеет свою историю [3, 13–15]. Достаточно полно, с учетом современных данных, анализ изменения речного стока, в зависимости от климатических изменений на территории Кыргызстана, представлен в работе [15]. Эти исследования показывают, что почти на всех реках Кыргызстана, имеющих ледниково-снеговое и снегово-ледниковое питание, происходит увеличение летних расходов воды за счет потеп-

ления климата, повлекшего усиление таяния ледников. В то же время наблюдается сокращение годового стока на реках, относящихся к бассейнам, имеющим относительно небольшую абсолютную высоту и степень оледенения не более 1%. Здесь происходит сокращение оледенения за счет потепления, уменьшается доля ледникового стока и соответственно снижается годовой сток. В бассейнах рек со значительным оледенением речной сток на современном этапе увеличивается за счет более интенсивного таяния. Например, за 1935–2000 гг. в Иссык-Кульском бассейне речной сток возрос на 6–15%, в Чуйском – на 6%. В то же время в Карадарьинском бассейне по разным рекам наблюдается как увеличение стока на 6–11%, так и уменьшение на 10–20%. По Таримскому бассейну, по разным рекам наблюдается также как увеличение стока на 17%, так и уменьшение на 27%.

Изменение среднего годового многолетнего с 1939 по 2015 год речного стока по одной и крупнейших рек Кыргызстана – реке Нарын показано на рисунке 5.

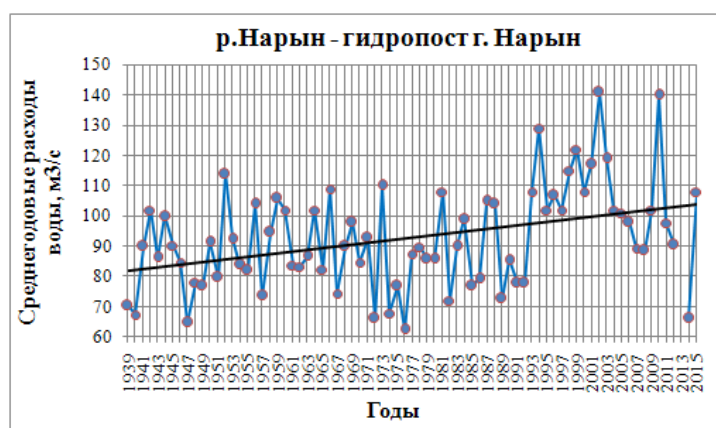


Рисунок 5 – Среднегодовые многолетние расходы реки Нарын

На рисунке 6 по результатам анализа цикличности стока с использованием метода построения разностно-интегральной кривой показано существенное изменение стока на реке Нарын в сторону увеличения с 1992 года по настоящее время (по данным гидропоста г. Нарына).

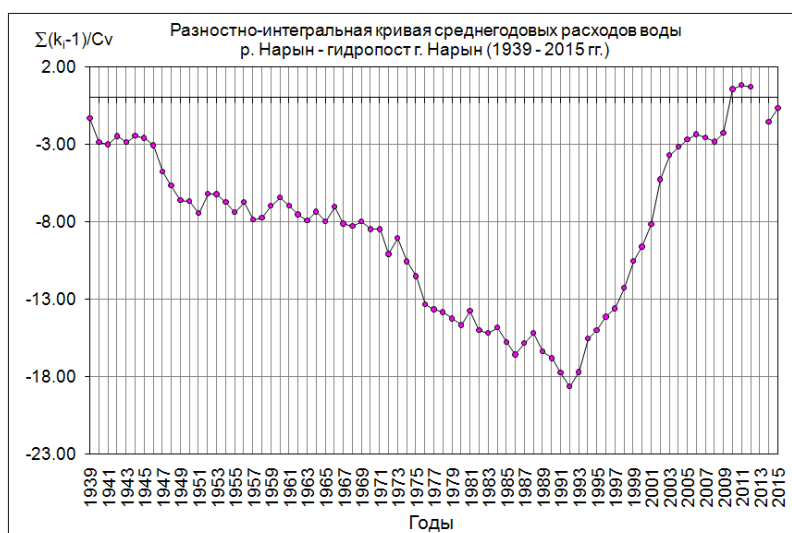


Рисунок 6 – Дифференциальная интегральная кривая стока реки Нарын – гидропост г. Нарына (1939 – 2015 гг.)

Особенности режима формирования стока, наблюдаемые на реках Кыргызстана, показаны на рисунке 7, где видно, что с 1993 по 2014 год на реке Чон-Джаргылчак в Иссык-Кульском бассейне роль ледникового стока в образовании годового стока снижается в июле и августе, а роль атмосферных осадков в весенний и осенний период возрастает.

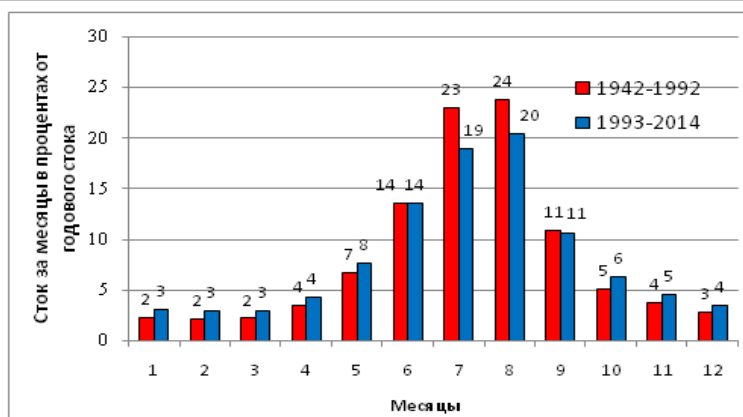


Рисунок 7 – Внутригодовое изменение стока реки Чон-Джаргылчак в процентах от годового стока за 1942–1992 и 1993–2014 гг.

Увеличение годового стока по основным трансграничным бассейнам Кыргызстана иллюстрирует таблица 2.

Таблица 2– Изменение расходов рек Нарын, Талас, Ала-Арча с1939,1957по 2015 год

Периоды	Р. Нарын	Периоды	Р. Талас	Периоды	Р. Ала-Арча (бассейн р. Чу)
1939-1992 гг.	87 м/с	1957-1997 гг.	7,57 м/с	1957-1997 гг.	4,44 м/с
1993-2015 гг.	107 м/с	1998-2015 гг.	10,1 м/с	1998-2015 гг.	5,63 м/с
	123%		133%		127%

Таким образом, в последнее десятилетие речной сток увеличивается по большинству рек Кыргызстана.

Озера Кыргызстана имеют незначительный объем и составляют небольшую часть водных ресурсов, кроме этого многие из них расположены в труднодоступных и малонаселенных горных районах и по этой причине не имеют водохозяйственного значения. Всего насчитывается около 1923 озера с площадью зеркала более 0,1 км², из них около 100 озер имеют площадь более 1км². Объем пресной воды в озерах составляет 6,2 км³. Изменение этих озер под влиянием климатических факторов недостаточно изучено. Крупнейшее озеро Иссык-Куль объемом 1739 км³ содержит солоноватую воду с минерализацией до 6 г/л, непригодную для непосредственного орошения и водоснабжения. Однако это озеро является индикатором климатических изменений и режим его уровня отражает водный баланс бассейна. С 1927 по 2005 год он был преимущественно отрицательным, однако с 2005 года по настоящее время наблюдается период стабилизации уровня (рисунок 8).

На примере озера Иссык-Куль по абсолютной высоте и возрасту его древних береговых линий и террас, по наличию на дне остатков древесных стволов и русел затопленных долин мы видим, что в прошлом объем этого озера был как намного меньше, так и намного больше современного [15, 16], то есть диапазон современных климатических изменений, влияющих на озеро, не является исключительным и находится внутри диапазона прошлых изменений.

Подземные воды Кыргызстана изучены достаточно детально [3, 15, 17]. Общая величина естественных возобновляемых ресурсов пресных подземных вод в бассейнах подземных вод республики в четвертичном водоносном комплексе оценивается в 11,04 км³/год. Они совместно с искусственными и привлекаемыми ресурсами образуют эксплуатационные ресурсы в размере около 13,88 км³/год. Помимо этого, в толще четвертичных водовмещающих пород содержится 650 км³ емкостных запасов подземных вод. В целом в настоящее время как возобновляемые ресурсы, так и емкостные запасы подземных вод находятся в относительно стабильном состоянии без заметных тенденций к истощению и загрязнению. В то же время на отдельных территориях крупных городов эти локальные тенденции проявляются за счет антропогенного воздействия и требуют предотвращения. Общий эксплуатационный водоотбор подземных вод по республике из 5,6 тыс. водозаборных скважин – порядка 1,9 км³/год, из них 0,73 – на хозяйст-

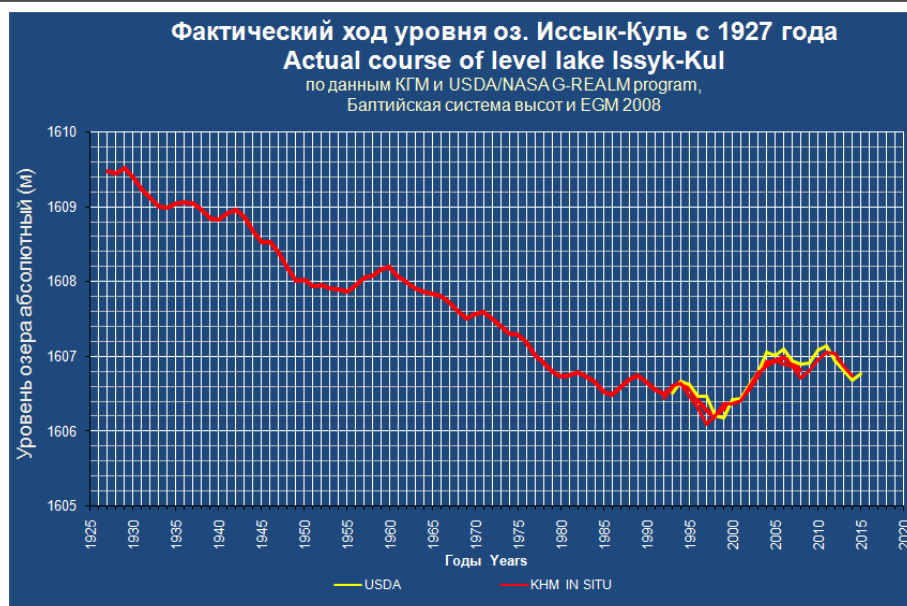


Рисунок 8 – Многолетний ход уровня озера Иссык-Куль по данным Кыргызгидромета и программы G-REALM департамента агрокультуры и НАСА США

венно-питьевое потребление, 0,84 – на орошение земель, 0,29 – на производственно-техническое потребление, 0,036 – для обводнения пастбищ. Водоснабжение города Бишкека и других крупных городов Кыргызстана почти полностью обеспечивается за счет подземных вод. Город Бишкек обеспечивают водой 278 скважин, расположенных на 30 водозаборах. Он потребляет порядка 80 млн м³ воды в год (0,08 км³/год).

По результатам анализа [15] хода среднегодовых уровней подземных вод в наиболее продуктивном четвертичном водоносном комплексе за многолетний период по рядам наблюдений с длительностью 30–60 лет на всей территории Кыргызстана происходит колебание уровня подземных вод с неравномерными периодами от нескольких лет до нескольких десятков лет. Среднегодовая амплитуда этих колебаний составляет максимум несколько метров (рисунок 9). Короткопериодные колебания уровня подземных вод аналогичны цикличности многоводных и маловодных лет в речном стоке. При этом не наблюдается преобладания восхо-

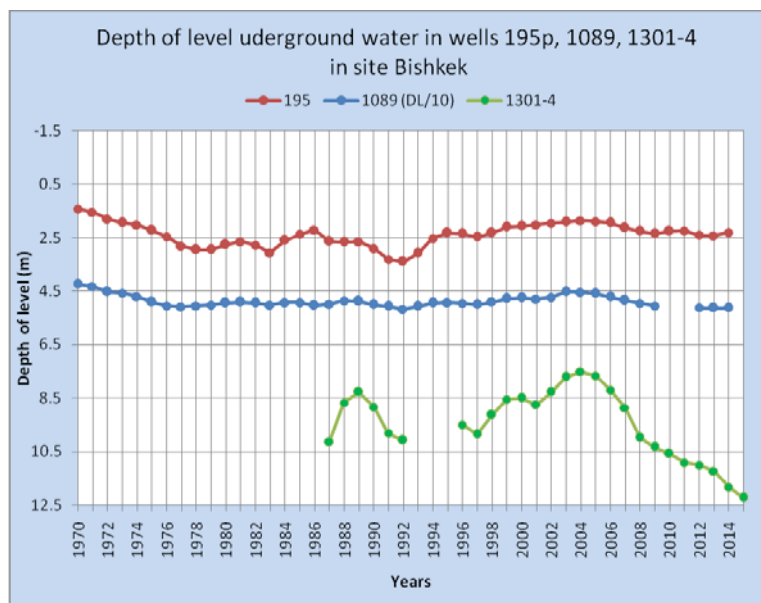


Рисунок 9 – Ход уровня подземных вод в районе г. Бишкека по скважинам режимной сети Кыргызской комплексной гидрогеологической экспедиции и Центрально-Азиатского института исследования Земли

дующего или нисходящего многолетнего тренда по скважинам режимной сети. Это позволяет заключить, что нет определенной тенденции в изменении емкостных запасов подземных вод четвертичного водоносного комплекса и в многолетнем разрезе они относительно постоянны. Климатические изменения еще существенно не повлияли на основные источники питания подземных вод в виде речного и ирригационного стока.

Таким образом, на территории Кыргызстана, как и во всем мире, наблюдаются климатические изменения, проявляющиеся в повышении температуры приземного слоя воздуха. Сопутствующие изменения атмосферных осадков не имеют такого однозначного тренда и характер их изменения зависит от орографических особенностей различных областей республики. Воздействие климатических изменений на водные ресурсы проявляется в постоянном уменьшении объема их гляциальной составляющей за последние десятилетия в среднем на $20 \pm 10\%$. При этом происходит, в основном увеличение речного годового стока на $10\text{--}30\%$, как за счет усиления таяния ледников, так и увеличения роли в формировании стока атмосферных осадков в весенние и осенние периоды. В этом же диапазоне происходит уменьшение стока по бассейнам рек, имеющим незначительное оледенение. Озера так же реагируют на повышение температуры воздуха уменьшением объема. Подземные воды межгорных бассейнов Кыргызстана наиболее консервативны и в настоящее время практически не реагируют на климатические изменения.

Таким образом, водные ресурсы Кыргызстана в настоящее время не испытывают драматических изменений под влиянием климатических факторов, которые могут существенно повлиять на социально-экономические условия. Очевидно, что развитие последних, повышение их уровня является основной задачей, решение которой позволит уменьшить негативное воздействие климатических изменений.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Климат Киргизской ССР / Под ред. З. А. Рязанцевой. – Фрунзе: Илим, 1965. – 291 с.
- [2] Пономаренко П.Н. Атмосферные осадки Киргизии / П.Н.Пономаренко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 134 с.
- [3] Атлас Киргизской ССР. – М.: Изд. ГУГК, 1987. – Т. 1. – 157 с.
- [4] Подрезов О.А. Современный климат Кыргызстана и сценарии его изменений в 21 веке / О.А. Подрезов, К.Б. Бакиров, А.А. Закурдаев, И.А. Маяцкая // Вестник КРСУ. – 2002. – № 4.
- [5] Первое национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной конвенции ООН об изменении климата / Составители: Ш.А. Ильясов, О.А. Подрезов, Е.М. Родина. – Бишкек, 2003. – 97 с.
- [6] Подрезов О.А. Изменение средних характеристик климата Кыргызстана за два смежных тридцатилетия 1931–1960 и 1961–1990 гг. / О.А. Подрезов // Метеорология и гидрология в Кыргызстане. – Бишкек, 2010. – Вып. 7. – С. 5-14.
- [7] Второе национальное сообщение Кыргызской Республики по Рамочной конвенции ООН об изменении климата / Составители: Ш.А. Ильясов, В.М. Якимов. – Бишкек, 2008. – 216 с.
- [8] Kuzmichyenko V.A. Fluctuations of glaciers of the Ak-Shyrak ridge from 1943 to 1977. Glaciers-Ocean-Atmosphere interactions / V.A. Kuzmichyenko // International Association of Hydrological Sciences Publication. – Wallingford, 1991. – N 208. – P. 507-513.
- [9] Диких А.Н. Водно-ледовые ресурсы Иссык-Кульской котловины и прогноз их изменения к 2000–2025 гг. / А.Н. Диких, Л.Л. Диких, Р.Усубалиев // Изв. АН КР. Проблемы геологии и географии в Кыргызстане. – Бишкек: Илим, 1999. – С. 80-84.
- [10] Подрезов О.А. Изменчивость климатических условий и оледенения Тянь-Шаня за последние 100 лет / О.А. Подрезов, А.Н. Диких, К.Б. Бакиров // Вестн. Кыргызско-Российского славянск. ун-та. – 2001. – Т. 1, № 3. – С. 33-40.
- [11] Solomina O. The retreat of Tien Shan glaciers (Kyrgyzstan) since the Little Ice Age estimated from aerial photographs, lichenometric and historical data / O. Solomina, R. Barry, M. Bodnya // Geogr. Ann. – 2004. – 86A (2). – P. 205-215.
- [12] Aizen V.B. Glacier changes in the central and northern Tien Shan during the last 140 years based on surface and remote-sensing data / V.B. Aizen, V.A. Kuzmichenok, A.B. Surazakov, E.M. Aizen // Annals of Glaciology. – 2006. – Vol. 43. – P. 202-213.
- [13] Большаков М.Н. Водные ресурсы рек советского Тянь-Шаня и методы их расчета / М.Н. Большаков. – Фрунзе: Илим, 1974. – 306 с.
- [14] Аламанов С.К. Исследование формирования и долгосрочный прогноз стока рек северо-запада Киргизии / С.К. Аламанов: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. – М., 1977. – 28 с.
- [15] Маматканов Д.М. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе / Д.М. Маматканов, Л.И. Бажанова, В.В. Романовский. – Бишкек: Илим, 2006. – 267 с.
- [16] Климат, ледники и озера Тянь-Шаня: путешествие в прошлое: Сб. / Под ред. В. В. Романовский. – Бишкек: Илим, 2007. – 168 с.
- [17] Гидрогеология СССР. Киргизская ССР. – М.: Недра, 1971. – Т. 40. – 87 с.