

УДК 551.32(03): 551.5 (03)

А.Ф. Финаев

Природные условия формирования водных ресурсов

(Представлено академиком АН Республики Таджикистан Р.Н. Баратовым
30.03.2002)

Вступление

Рельеф и климат являются двумя основными факторами, определяющими формирование природных условий и водных ресурсов Таджикистана. Рельеф создает условия для аккумуляции влаги, образования и сохранения ледников и водных объектов, а климатические процессы доставляют влагу в этот регион и создают температурные условия для формирования оледенения. Подчиняясь закономерностям глобальной атмосферной циркуляции, воздушные массы поступают на территорию Таджикистана в основном с западных направлений. Но в отличие от равнинных пустынь, находящихся к западу от Таджикистана, горный рельеф заставляет атмосферу отдавать влагу, а затем аккумулирует ее в жидком и твердом виде. Однако рельеф в небольшом временном интервале относительно стабилен, в то время как метеорологические условия меняются в различных интервалах времени. Поэтому основную роль в естественном формировании и изменении водных ресурсов играет климат. Его периодические изменения непосредственно сказываются на изменении водного баланса гидрологических бассейнов.

Климат

Таджикистан расположен в самой северной части субтропической зоны земного шара и характеризуется большими суточными и сезонными колебаниями температуры воздуха, интенсивной солнечной радиацией, сухостью воздуха и малой облачностью.

Рассмотрим только две основные характеристики климата, которые влияют на условия формирования водных ресурсов – температуру воздуха и осадки. Сложность рельефа и разнообразие высот обуславливают большие климатические различия отдельных районов. Горные районы, открытые влажным западным воздушным массам, перехватывают большую часть осадков. Восточные районы, отгороженные от этих воздушных масс высокими горами, получают меньше влаги.

Таджикистан расположен в небольшом широтном интервале, поэтому температурный режим в основном зависит от высоты поверхности над уровнем моря. Вертикальный градиент температуры воздуха в среднем за год составляет 0,61°C на 100 м. Среднегодовая температура воздуха меняется от +17°C на юге до -7°C в горах Памира.

Распределение осадков более разнообразно, т.к. оно зависит не только от высоты местности, но и от расположения горных хребтов, их форм и экспозиции склонов. Поэтому всю территорию можно разделить на четыре области по режиму увлажнения.

Первая - низкогорная область охватывает южные, юго-западные и северные долины Таджикистана и характеризуется небольшим количеством осадков (до 400 мм в

год). Второй район охватывает предгорья и горные хребты Памиро-Алая, которые являются барьером для поступающих с запада воздушных масс. В результате вынужденного подъема воздуха образуются и выпадают осадки от 400 до 1200 мм в год. Наиболее высокие части Гиссарского хребта и Центрального Памира можно отнести к третьему климатическому району, т.к. на этих территориях осадков выпадает более 1200 мм в год. К четвертому району относится территория Восточного Памира. Преодолев третий район и отдав там влагу, сухой воздух поступает на территорию Восточного Памира. Поэтому здесь выпадает только до 200 мм осадков в год.

Конечно, такое распределение условно, но оно дает представление об условиях климата и рельефа, влияющих на формирование водных ресурсов.

Последние исследования в различных странах фиксируют значительные климатические изменения в 20 веке. Многие исследователи интерпретируют эти данные, как серьезное потепление климата под влиянием загрязняющих веществ. Другие ученые высказывают мнение о том, что это связано с естественными изменениями природных процессов. Несомненно, имеют место и те, и другие. Но вклад этих процессов в изменение климата не совсем ясен. Направление изменения климата в различных районах Земли также не однозначно. Если в одних местах наблюдается потепление, то в других зафиксировано похолодание. Реакция ледников на климатические изменения может быть различной. Если в начале периода потепления речной сток может увеличиться за счет таяния ледников, то в дальнейшем может произойти значительное уменьшение стока за счет сокращения площади оледенения и увеличения высоты снеговой линии.

Известны изменения климата с периодичностью в 12-15 лет, около 30 лет, 70-ти летние, вековые и многовековые циклы. Изменение оледенения подчинено таким же закономерностям. Часть ледников, подверженных таким колебаниям, называют пульсирующими. Периодичность пульсаций зависит не только от колебаний климата, но и от пространственного расположения ледника, формы его ложа и многих других причин. Например, самый большой ледник Федченко можно отнести к такому типу [1]. Периодически в верховьях ледника накапливается большая масса снега и льда. Под действием гравитации эта огромная масса начинает двигаться вниз, образуя ледяную волну. Ледник удлиняется. Затем происходит таяние, и размеры ледника сокращаются.

Основными метеорологическими параметрами, ответственными за формирование водных ресурсов, являются температура воздуха и атмосферные осадки. Увеличение температуры на один градус ведет к повышению высоты нулевой изотермы на 130 – 150 м, что приводит к отступлению границы выпадения твердых осадков на 260 – 300 м вверх по склону гор, если считать угол наклона склона 30°. Следствием этого является уменьшение площади со снежным покровом. Особенно сильно такое влияние температуры сказывается в Таджикистане, т.к. в холодный период температура воздуха в долинах колеблется около нуля. Поэтому незначительное потепление или похолодание сразу меняет тип осадков (жидкие или твердые), а значит, влияет на наличие снежного покрова и режим аккумуляции влаги.

По данным Агентства по охране окружающей среды США [2], глобальные средние температуры поверхности с конца 19-го столетия увеличились на 0.5 - 1.0°F, а 10 самых теплых лет 20-го века наблюдались в течение последних 15 лет XX века. Из них, 1998 год был самым теплым.

Хотя имеются неопровержимые свидетельства о том, что среднегодовая температура поверхности повысилась, некоторые ученые еще не убеждены, что

атмосфера также нагревается. Информация, полученная с искусственных спутников земли, не показывает тенденцию к нагреванию. Однако эти наблюдения велись только с 1979 по 1997 год, и ряды данных слишком коротки, чтобы показать тенденцию изменения температуры атмосферы. Данные воздушных шаров также показывают отсутствие нагревания в течение этого периода (1979–1997 гг.), но они отмечают существенную тенденцию к нагреванию с 1958 г. по 1997 г. Ошибки измерения, связанные с новой технологией и циклическими изменениями температуры, могут также быть причиной отсутствия выявленной тенденции нагрева. Однако такая неоднозначность данных о тенденции увеличения температуры говорит о том, что еще очень много внимания необходимо уделять исследованиям глобального климата.

Глобальные климатические изменения, несомненно, влияют на климатические параметры в Центральной Азии и в Таджикистане. Доказательством этого является сравнение изменения температуры воздуха на равнинной станции Душанбе (803 м над ур. м.) и высокогорной станции л. Федченко (4129 м над ур. м.) с изменением глобальной температуры, которое показывает подобие и синхронность колебаний (Рис. 1).

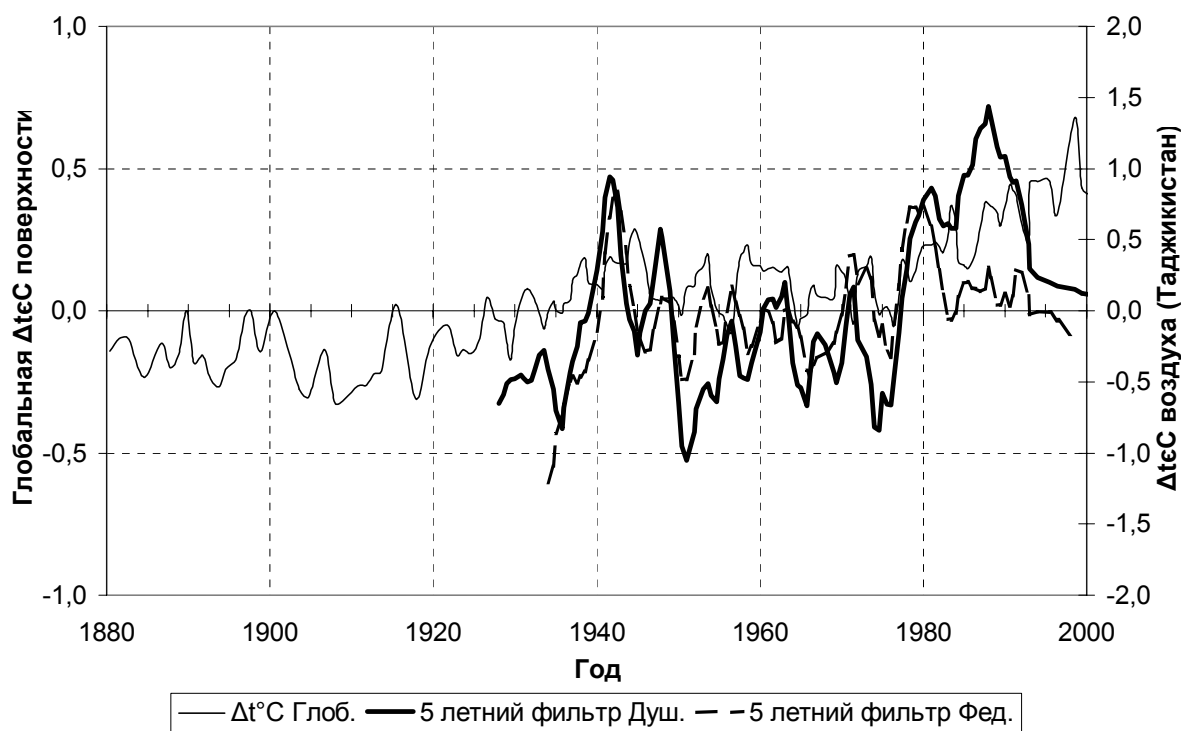


Рис. 1. Отклонение от нормы средней температуры поверхности Земного шара и температуры воздуха по данным двух станций Таджикистана.

Хронологический ряд годовой суммы осадков имеет более значительные колебания, чем данные температуры. С увеличением высоты станции межгодовые колебания увеличиваются. Однако можно заметить, что межгодовые колебания осадков так же синхронны на разных высотах. На каждой высоте выявлена их положительная тенденция. Однако анализ хронологического ряда годовой суммы осадков на разных высотах региона говорит о большем их увеличении в горных районах, чем в долинах. В

южных долинах Таджикистана осадки увеличились на 1,6% за 100 лет. Годовые осадки в Душанбе увеличились на 10,2%, а на станции Харамкуль – на 14,2%. Особенно значительный их рост зафиксирован на леднике Федченко (52,2%). Такое возрастание осадков нельзя относить ко всему периоду. Наибольший их рост произошел на высокогорной станции с 1926 по 1953 год. Затем, с 1954 по 1961 год осадки в среднем снижались. С 1962 года по 1993 год их количество увеличивалось, но не так сильно, как до 1953 года. Такой ход изменения осадков в Таджикистане хорошо согласуется с результатами анализа изменения интенсивных осадков в США, который составляет примерно 14%.

Оледенение

Горные ледники являются одним из основных аккумуляторов пресной воды, так как талые воды ледников и фирновых полей составляют 25% объема стока рек Таджикистана. Особенностью ледников является их способность регулировать речной сток как внутри года, перемещая паводок на июль и август, так и в течение многих лет. В результате этого в сухие и жаркие годы доля ледникового стока достигает 50% и более. Таким образом, ледники сглаживают колебания стока рек между сухими и дождливыми периодами. В то же время, всякое изменение климата влечет за собой нарушение равновесия между приходом и расходом вещества ледника и вызывает такое изменение размеров и формы ледника, при котором восстанавливается уравновешенный с климатом баланс ледника. При этом водоотдача ледника может измениться.

По имеющимся в настоящее время сведениям, в Таджикистане насчитывается 8492 ледника общей площадью 8476,2 км², или около 6% всей территории республики [3]. Запасы пресной воды в ледниках почти в восемь раз превышают годовой сток рек Таджикистана [4].

Основной узел оледенения находится в районе соединения наиболее высоких хребтов: Академии наук, Дарвазского, Петра I, Ванчского, Язгулемского. На этой территории наблюдаются наиболее благоприятные условия для существования ледников: значительная высота окружающих хребтов и достаточное количество выпадающих осадков. В бассейнах рек, берущих начало из этого района, сосредоточено более 5 тыс. км² площади оледенения, т. е. более двух третей общей площади. Здесь берет начало крупнейший ледник Средней Азии – Федченко. В него вливаются около 50 притоков, некоторые из которых также являются крупнейшими ледниками Средней Азии (ледники Бивачный, Наливкина, Витковского, Академии наук СССР). Площадь ледника Федченко со всеми притоками составляет 651,7 км², а наибольшая длина 77 км. Верховья притоков ледника достигают высоты 7480 м, а конец его языка опускается до 2910 м. Толщина льда ледника в некоторых местах превышает 800 м, а объем льда составляет около 130 км³. Два других наиболее крупных ледника Памира также находятся в этом районе. Это ледник Грумм-Гржимайло площадью 142,9 км² и ледник Гармо, площадь которого составляет 114,6 км².

Второй по величине узел оледенения находится на сочленении хребтов Заалайского и Зулумарт, где расположен пик Ленина. Здесь находятся три крупных ледника: Октябрьский, Большой Саукдара и Уйюу, относящиеся к различным бассейнам. Ледник Октябрьский площадью 88,2 км², наиболее крупный из них, отдает свой сток в оз. Каракуль. Ледник Большой Саукдара (53,0 км²) находится в бассейне р. Муксу, а воды ледника Уйсу (49,9 км²) питают р. Маркансу.

Окраинные районы, расположенные к западу и востоку от основных центров, имеют незначительное оледенение. Западные районы, несмотря на большое количество выпадающих осадков, не имеют достаточно высоких хребтов, а значит и низких температур. Районы Восточного Памира имеют неразвитое оледенение из-за незначительного количества выпадающих осадков.

Площадь «среднего» ледника на территории Таджикистана равна примерно 1 км^2 . Фактически ледники площадью до 1 км^2 составляют около 80% всего количества ледников, а ледники размерами более 1 км^2 - около 20%. Однако основную долю площади оледенения составляют ледники размером более 1 км^2 (около 85%), а малые ледники, несмотря на их большое количество, занимают площадь только 15%.

Очень сильно на распределение ледников по территории влияет экспозиция склонов. Северные склоны, принимающие меньшее количество солнечной радиации, имеют лучшие условия для развития и существования оледенения. Во всех бассейнах количество ледников на склонах северных направлений (север, северо-восток, северо-запад) составляет 65—70% от числа всех ледников. На склонах южных направлений доля ледников составляет только 15—20%. Такое же соотношение наблюдается и в площади оледенения.

Расположение ледников по высоте различно. Основной причиной этого являются условия рельефа и распределение осадков. Если в бассейне р. Сурхоб ледники нередко опускаются до 2300 - 2400 м над ур. м., то в районе оз. Каракуль и в верховьях р. Мургаб нет ледников ниже 4400 м над ур. м. В среднем, расположение нижних границ ледников имеет тенденцию к повышению с запада на восток от 3650 м в бассейне р. Кафирниган до 4860 м в районе оз. Каракуль. Экспозиция склонов также влияет на положение нижних границ ледников. Обычно, на северных склонах ледники расположены на 200-300 м ниже, чем на южных. Высота верхней границы ледников зависит от высоты окружающих хребтов и вершин. Ледники, берущие начало на склонах пика Сомони, достигают высоты 7400 м, а в бассейнах рек Сурхоб и Кафирниган редко превышают 4500—5000 м.

Изменение климата и оледенения

Одной из важнейших задач гляциологии является оценка возможных изменений оледенения горных районов в связи с прогнозом весьма значительных изменений климата. Такая оценка выполнена для трех речных бассейнов Западного Таджикистана [5].

Как известно, к настоящему времени имеется достаточно большое количество сценариев изменения климата, которые дают сильно отличающиеся прогнозируемые величины. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) предложила Национальной Таджикской Гидрометеорологической службе использовать программный пакет MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change, 2000) (модель для оценки воздействий парниковых газов и изменения климата) [6] для оценки региональных изменений климата на период до 2050 года. Для условий Таджикистана наиболее оптимальным было признано использовать четыре климатические модели из пакета MAGICC для сценария IS92a с удвоением CO_2 : модель Канадского Климатического Центра CCC-EQ; модель метеорологического офиса Великобритании UK-TR; модель Лаборатории геофизической гидродинамики США GFDL-TR и модель Хадлей центра Великобритании Had CM2. В качестве прогностических климатических данных для прогноза оледенения использовались результаты расчетов по указанным моделям, полученные Национальной

Гидрометеорологической службой Таджикистана при подготовке «Первого Национального сообщения Республики Таджикистан по изменению климата» для десяти репрезентативных метеорологических станций.

В расчетах по этим моделям используются фактические данные наблюдений с 1961 по 1990 годы, за тридцатилетний период интенсивного технологического развития стран. Этот хронологический интервал охватывает не все имеющиеся данные.

Используя результаты исследования изменений климата за весь период измерений, проведенных в Таджикистане (с 1926 по 1996 годы) [7], был сделан спектральный анализ всех данных температуры и осадков. На основе такой оценки рассчитан прогноз изменений климата до 2050 года. Эта модель не учитывает возможные прогнозируемые данные по изменению содержания парниковых газов. Однако такой подход интегрирует все причины климатических изменений, которые произошли за период наблюдений более чем 70 лет, и имеет право на существование. В качестве примера приведем результаты расчетов по всем моделям и фактические данные по метеостанции Душанбе, имеющей наиболее полный ряд наблюдений (Рис. 2, 3) и л. Федченко (Рис. 3).

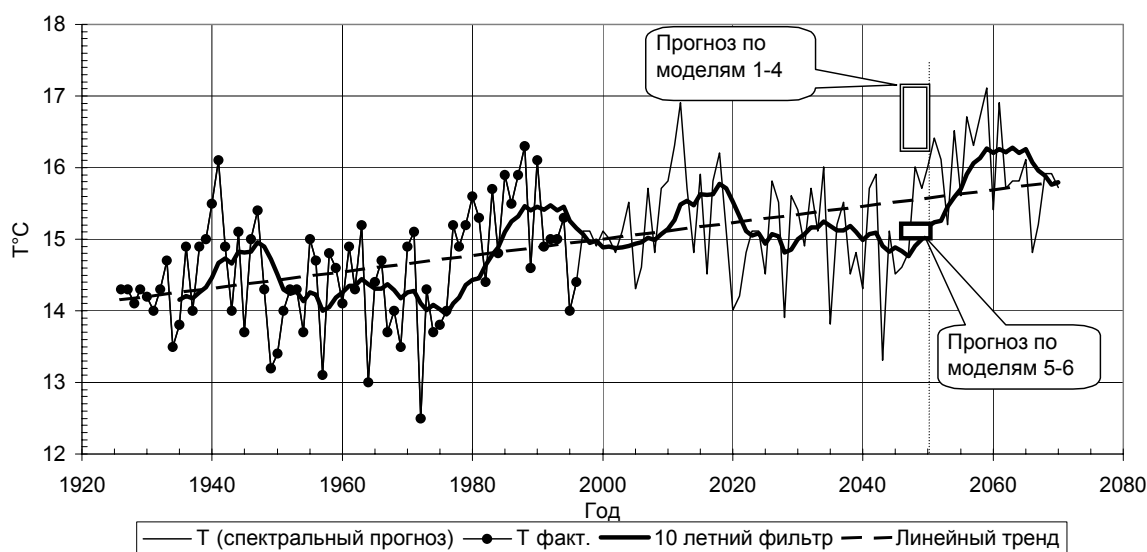


Рис. 2. Сравнение хронологического хода фактической среднегодовой температуры воздуха, прогностических данных по климатическим моделям пакета MAGICC (модели 1 – 4) и спектральному анализу для Душанбе (модели 5 – 6). Показан линейный и 10-летний скользящий тренды спектральной прогностической оценки.

На наш взгляд, климатические модели пакета MAGICC дают несколько завышенные данные, так как используют фактические климатические данные за короткий период времени на восходящем участке многолетних температурных флуктуаций (Рис. 2). Однако именно этот период рекомендован Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО), т.к. он оценивает влияние антропогенного пресса на климат.

Результаты расчетов, выполненные по методике Г. Глазырина [8], показали неоднозначность реакции оледенения на потепление. Все результаты, полученные на основе климатических моделей пакета MAGICC, показывают значительное уменьшение оледенения. Максимальное уменьшение дает модель CCC-EQ: высота фирновой линии увеличивается на 260-330 м. При этом площадь оледенения уменьшается от 50% в бассейне р. Зеравшан до 62% в бассейнах рек Варзоб и Фандарья.

Наименьшая деградация оледенения отмечается при климатическом сценарии модели Had CM2. В этом случае воздействия летней температуры и осадков направлены в разные стороны. Высота фирновой границы меняется от 30 до 220 метров в зависимости от модели. Площадь оледенения уменьшается от 35% в бассейне р. Зеравшан до 42% в бассейнах рек Варзоб и Фандарья. Объем ледникового питания, полученный по данным моделей пакета MAGICC, снижается с 49% в бассейне р. Варзоб (Had CM2) и до 75% в бассейне р. Фандарья (CCC-EG).

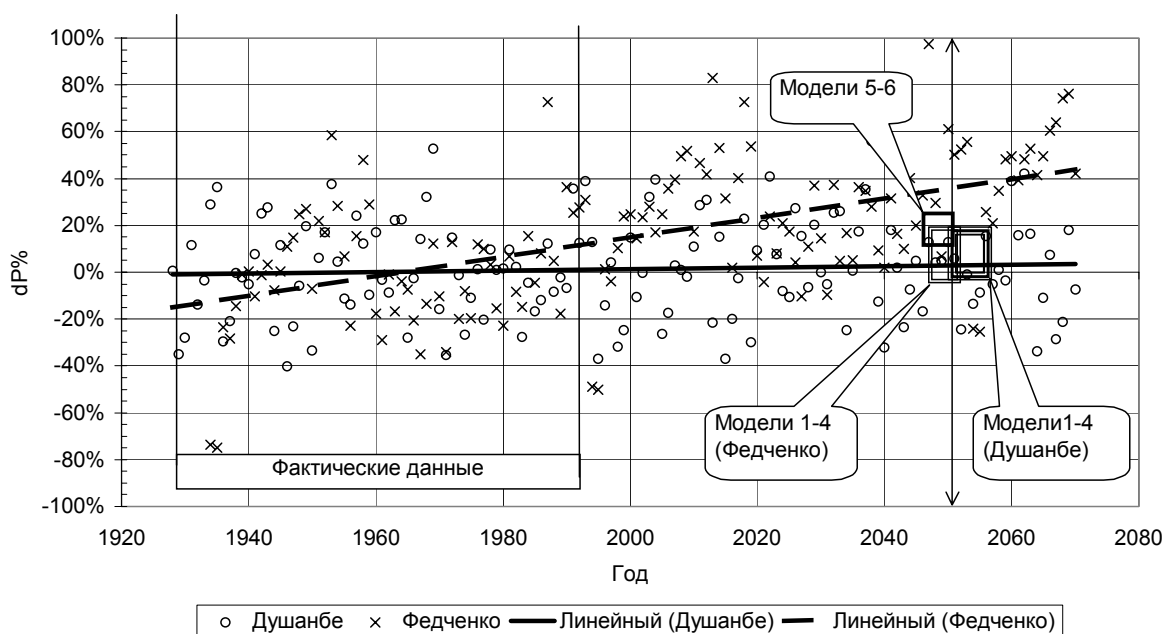


Рис. 3. Сравнение хронологического хода фактической суммы годовых осадков, прогностических данных по климатическим моделям пакета MAGICC (модели 1 – 4) и спектральному анализу для Душанбе и л. Федченко (модели 5 – 6). Показан линейный тренд спектральной прогностической оценки.

Результаты расчетов оледенения, полученные на основе климатических данных спектральной прогностической модели, дают несколько иную картину. В этом случае незначительное повышение температуры и значительное увеличение осадков приводят к снижению высоты фирновой границы от 10 до 50 м и росту площади оледенения от 4% в бассейне р. Варзоб до 12% в бассейне р. Фандарья. При этом объем ледникового питания увеличивается на 6-19% соответственно.

Рекомендуемые ВМО сценарии изменения климата используют фактические данные за тридцатилетний период бурного индустриального развития промышленных

стран, когда происходили интенсивные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Естественно, что прогноз на 50 лет, основанный на этих данных, полученных по четырем сценариям для трех бассейнов Гиссарского хребта, показывает потепление на $+1,6^{\circ}\text{C}$ – $+2,7^{\circ}\text{C}$ и изменения осадков от -5% до $+14\%$. Применение результатов этих моделей в расчетах приводит к значительному снижению площади оледенения и ледникового стока. Расчет оледенения с использованием данных спектрального анализа всего имеющегося климатического ряда показывает небольшое увеличение оледенения, которое происходит за счет прогнозируемого роста годового количества осадков, несмотря на потепление.

Выводы

Потепление климата, особенно в зимний период может привести к следующим последствиям изменения водных ресурсов на территории Таджикистана:

- уменьшатся снежные зимние запасы, сократится многолетняя площадь оледенения, а значит, сократятся водные ресурсы;
- уменьшится водный сток из снежных зимних запасов. Летний сток ледникового таяния в начальный период может увеличиться, но в последующие годы уменьшится [9];
- усилится вертикальное перемешивание атмосферы, в результате чего атмосферные загрязнения будут интенсивнее рассеиваться, хотя произойдет увеличение количества пыльных бурь и концентрации аэрозоля в воздухе;
- изменится распределение высотных растительных поясов, а значит и поясов почвообразования [10];
- в то же время, увеличение осадков в горах может привести к увеличению водных запасов в более высокогорных районах, и это компенсирует уменьшение снежных запасов низкогорных территорий.

Неоднозначность оценок изменения оледенения свидетельствует о том, что проблема далека от окончательного решения. Нужно отметить, что это относится к прогнозам не только изменения оледенения, но и режима снежного покрова, стока горных рек, лавинной активности и т.д. Очевидно, неотложной является задача повышения точности прогноза будущих изменений климата, что должно привести к увеличению надежности прогноза изменения оледенения и других компонентов среды горной территории Таджикистана.

Литература

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. Российская академия наук. Институт географии. М.: 1997, 392 с.
2. Агентство по охране окружающей Среды США. <<http://www.epa.gov/>>.
3. Каталог ледников СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1969 – 1980. Т. 14, вып. 1 – 3.
4. Лихачева Л. И., Бассин Н. С., Глазырин Г. Е., Щетинников Ф. С. К вопросу об определении объема ледников и доле малых ледников в горном оледенении. – Тр. САННИГМИ, 1975. вып. 14 (95). Л.: Гидрометеиздат.
5. Глазырин Г.Е., Финаев А.Ф. Прогноз изменения оледенения гор Западного Таджикистана. Будущее гляциосферы в условиях меняющегося климата. Симпозиум гляциологической ассоциации. Пущино, Московской обл., 17-21 мая 2002 г. Материалы гляциологических исследований. М.: 2003, (в печати).
6. MAGICC (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change). Version 2.4; January 2000. Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich, UK.

7. Finaev A.F. Climatic Changes in the Mountain Glacier Area of Pamir. In NATO ASI Series I, Vol. 56. Ice Physics in the Natural Environment. (Eds. Wettlaufer/ Dash/ Untersteiner). Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 1999, p. 289-294.
 8. Глазырин Г.Е. Горные ледниковые системы, их структура и эволюция. - Л.: Гидрометеиздат. 1991, 109 с.
 9. Braun L., Glazirin G. and Finaev A. Evaluation of long-term changes in climate and water yield of high mountain regions in Tajikistan. In Book: Pamir and Tian Shan: Glacier and Climate Fluctuations during the Pleistocene and Holocene. International Workshop. July 22-23, 2000. Bayreuth.
 10. Finaev A.F. Sosin P.M. Soils with Mediterranean Type of Climate: East Part of Central Asia. 6th International Meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate. 4-9 July 1999. Barcelona. (Ed. J. Bech). University of Barcelona. 1999, 415-417.
-

Природные условия формирования водных ресурсов

А.Ф. Финаев

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии АН Республики Таджикистан

02.06.2003

В статье дается описание природных факторов, формирующих водные ресурсы Таджикистана, климата и оледенения. Рассматриваются варианты изменения оледенения в связи с изменением климата.

The natural factors of water resources forming

A.F. Finaev

Institute of water problem, hydro-power engineering and ecology

E-mail: <foker@list.ru>

The article describes the natural factors forming water resources of Tajikistan, the climate and the glaciation. It also considers glaciation change alternatives connected to climate changes.