

УДК 551.524.34(574)

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
БАСЕЙНОВ ОЗЕРА БАЛХАШ И АРАЛЬСКОГО МОРЯ**

Канд. техн. наук	С.П. Шиварёва
Канд. геогр. наук	С.А. Долгих
Доктор геогр. наук	Б.С. Степанов
Канд. геогр. наук	Р.К. Яфязова
Канд. техн. наук	В.И. Ли
Канд. геогр. наук	В.В. Голубцов
Канд. геогр. наук	В.П. Попова
	Б.О. Баймагамбетов
	Е.Е. Петрова

Представлены изменения гидрологического цикла, выпадения осадков, температуры воздуха, оледенения и селевой активности в бассейнах озера Балхаш и Аральского моря. Сделан анализ современных моделей климата и речного стока, наиболее подходящих к региону. Исследованы перспективные изменения основных климатообразующих факторов и водных ресурсов. Выработаны предложения по эффективному использованию водных ресурсов региона.

Глобальное изменение климата за последние десятилетия заняло прочное место в ряду главных экологических проблем, стоящих перед мировым сообществом. Особенно остро стоит вопрос влияния изменения климата на водные ресурсы в бассейне озера Балхаш и Аральского моря. Более 90 % водных ресурсов бассейна Аральского моря используется орошаемым земледелием, которое даёт около 30 % ВВП и обеспечивает занятость более 60 % населения региона. Поэтому любые изменения, влияющие на водные ресурсы, немедленно отразятся на многих аспектах жизнедеятельности в регионе. Важным фактором также является трансграничный характер использования водных ресурсов бассейна Аральского моря. Таджикистан и Кыргызстан, где формируется основной сток (более чем 80 %), заинтересованы в использовании имеющихся водных ресурсов для выработки гидроэлектроэнергии, а страны низовий – Казахстан, Туркменистан и Узбекистан, намерены продолжать использовать эти же ресурсы в целях ирригации. При этом страны верховий заинтересованы в максимальном сбросе воды в зимнее время, когда потребности в электроэнер-

гии очень высоки, а страны низовий нуждаются в максимальном сбросе воды в летний период для орошения земель.

Ситуация усугубляется ростом водопотребления, который связан с приростом населения и интенсивным развитием экономики стран региона. Ожидаемое сокращение стока на ближайшую перспективу вследствие изменения климата делает эту проблему еще острее.

Таяние ледников создаст дополнительные риски для устойчивого развития и региональной продовольственной безопасности. Отступление ледников угрожает краткосрочными затоплениями, а в долгосрочной перспективе – снижением водообеспеченности бассейна озера Балхаш.

Основной целью проделанной работы являлась оценка современного состояния водных ресурсов региона на фоне происходящих климатических изменений и определение тенденции развития процесса. Представленные результаты могут быть использованы для достижения устойчивого управления водными ресурсами в Центральной Азии, что значительно сокращает риск возникновения возможных конфликтных ситуаций в этой сфере.

В качестве исходных данных были использованы многолетние ряды данных наблюдений, имеющихся в Казгидромете, а также результаты исследований, проведенные при подготовке национальных сообщений по изменению климата.

Анализ изменений гидрологического цикла в бассейнах озера Балхаш и Аральского моря

Бассейн р. Сырдарья расположен на территории 4 государств: Кыргызстана, Узбекистана, Таджикистана и Казахстана. Водные ресурсы р. Сырдарья формируются, в основном, за пределами Казахстана: свыше 74 % приходится на Кыргызстан (р. Нарын); около 14 % на Узбекистан, около 3 % на Таджикистан, на долю Казахстана приходится 9 % (реки Арысь и Келес). Сырдарья относится к рекам снеголедникового питания. Основным источником питания являются талые воды снежного покрова, вечных снегов, ледников и жидкие осадки. В зимний период (декабрь – февраль) расходы воды в естественных условиях колеблются в пределах 200...400 м³/с.

В период весенне-летнего половодья расходы воды достигают 2100 м³/с, при этом река в низовьях разливается на десятки километров.

Ранее среднемноголетний сток р. Сырдарья (выше устья р. Келес) на границе с Узбекистаном составлял 730 м³/с или около 23 км³ в год, в маловодные годы 300 м³/с, (около 10 км³ в год), в многоводные – свыше 1500 м³/с (до 50 км³ в год).

На р. Сырдарье в период с 1965 по 1985 гг. построен каскад водохранилищ многолетнего и сезонного регулирования – Токтогульское, Шардаринское, Кайраккумское, Чарвакское и Андижанское.

В результате этих мероприятий сток Сырдарьи оказался полностью зарегулирован. В нижнем течении реки, вследствие повышенного водозабора, сток резко уменьшился, что привело к катастрофической ситуации в районе Аральского моря. Среднеголетний сток р. Сырдарьи (выше устья р. Келес) в последние годы составляет $14,5 \text{ км}^3$ в год. Естественный режим реки на территории Казахстана полностью нарушен.

Токтогульское водохранилище до 1990 г. работало в ирригационном режиме. Сбросы воды из водохранилища производились, в основном, в весенне-летний период и составляли около 75 % общего расхода. В середине 90-х годов прошлого столетия режим попусков воды из Токтогульского водохранилища резко изменился. В последнее десятилетие для выработки необходимой для Кыргызстана электроэнергии основные попуски воды осуществляются в зимние месяцы, в течение которых сбрасывается около 60 % общего расхода. В результате резко изменилось внутригодовое распределение стока р. Сырдарьи: вместо относительно низкого зимнего стока проходят значительные зимние паводки. Особенно большие попуски из Токтогульского водохранилища осуществлялись в начале 2000-х годов.

Средний многолетний сток рек Арало-Сырдарьинского водохозяйственного бассейна (общие поверхностные водные ресурсы в естественных условиях) составляет $26,1 \text{ км}^3$ в год, в том числе: формирующийся на территории республики – $3,5 \text{ км}^3$ в год, остальная часть – $22,6 \text{ км}^3$ в год – поступает со смежных территорий сопредельных государств: Узбекистана, Кыргызстана. В условиях устойчивого водопотребления приток воды по р. Сырдарье на территорию Казахстана составляет $14,5 \text{ км}^3$ в год, а общие ресурсы соответственно $18,0 \text{ км}^3$ в год. Таким образом, в условиях устойчивого водопотребления поступление воды по р. Сырдарьи на территорию РК сократилось более чем на 8 км^3 в год.

Озеро Балхаш является одним из крупнейших внутриконтинентальных водоемов земного шара. Оно состоит из двух частей – Западного и Восточного Балхаша, соединяющихся проливом Узун-Арал. Эти части различаются по глубине, объему и минерализации воды. Площадь Балхаша при отметке 342,5 м составляет 19224 км^2 . В западную часть озера впадает р. Иле, имеющая много рукавную дельту, в восточную часть – реки Каратал, Лепсы и Аксу, а также ряд небольших равнинных рек. Доля

вклада р. Иле в суммарный приток составляет около 80 %. Это создает уникальные условия существования пресноводной Западной части озера.

Балхаш-Алакольский водохозяйственный бассейн расположен в юго-восточной части Казахстана. Его площадь составляет 353 тыс. км². С востока к нему примыкает расположенная в пределах СУАР КНР верхняя часть бассейна р. Иле, площадью 60 тыс. км². Водные ресурсы Балхаш-Алакольского водохозяйственного бассейна составляют 16,2 км³. Из них 5,8 км³ формируется в бассейне р. Иле. Кроме этого, в пределы водохозяйственного бассейна в естественном состоянии поступает из верхней части бассейна р. Иле около 12,0 км³ воды в средний по водности год. Изменение водных ресурсов в отдельных частях рассматриваемого бассейна характеризуется, в основном, достаточно синхронными колебаниями, преимущественно длительностью от 3...5 до 7 лет.

Для оценки влияния уменьшения стока р. Иле, поступающего в Республику Казахстан (РК) из КНР, было промоделировано изменение уровня оз. Балхаш за период 1937...2007 гг.. Полученные результаты показали, что при сокращении стока р. Иле из СУАР КНР на 3,5 км³ в год уровень озера может опуститься ниже критической отметки – 341,0 м в 70 % лет, а ниже 340,5 м – в 20 % лет. При сокращении поступления стока р. Или на 5,0 км³ в год уровень озера может опуститься ниже критической отметки 341,0 м в 90 % лет, и ниже 340,5 м также в 90 % лет. Для обоих вариантов моделирования уровень озера может опускаться даже ниже 340,0 м в отдельные короткие периоды. Результаты моделирования также показывают, что при достигнутом уровне водопотребления 3,5...4,0 км³ в СУАР КНР и возможном его увеличении до 5,0 км³, особенно в случае существенного снижения деградации горного оледенения, уровень оз. Балхаш может снизиться до критической отметки 341,0 м уже через 5...7 лет.

Таким образом, во второй половине 20 – начале 21 века существенных изменений естественного стока рассматриваемых бассейнов под влиянием изменения климата не произошло [11]. Исключение составляют только реки бассейна озера Балхаш, где сток за вторую половину рассматриваемого периода оказался несколько выше. По имеющимся данным он увеличился на 8...10 %, в основном за счет дополнительного поступления талых вод, образовавшихся в результате деградации горного оледенения. Отмеченные выше изменения речного стока вызваны в основном антропогенным фактором.

Анализ изменения температуры воздуха и атмосферных осадков

По данным метеорологических станций (М) исследуемого региона, имеющих период наблюдений 1936...2005 гг., были оценены линейные тенденции в рядах среднемесячной температуры приземного воздуха и

месячных сумм осадков. Кроме того, на основе значений суточной температуры приземного воздуха и суточного количества осадков с помощью программного обеспечения «RClimDex» выполнены расчеты 27 основных климатических индексов, предложенных Группой экспертов Комиссии по климатологии Всемирной метеорологической организации (ВМО). Единые формулы для каждого индекса позволяют сравнивать результаты анализа изменений в экстремумах, полученные не только для разных регионов Казахстана, но и для других регионов Земного шара.

Проведенные исследования показали, что климат значительно потеплел за исследованный период. Повышение температуры наблюдалось практически повсеместно и во все сезоны года за исключением некоторых локальных районов. Наибольшими темпами повышалась температура воздуха в зимний период, особенно в районах южнее оз. Балхаш (местами на $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$) и в районе Аральского моря (на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$). Наименьший рост температуры наблюдался в летний период, особенно в горных районах юго-востока (в среднем на $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет), однако в крайних южных районах Казахстана рост температуры местами превышал $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, что является наибольшим темпом для территории всего Казахстана. В районе Аральского моря тенденция составляла около $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Среднегодовая температура воздуха возрастала на большей части исследуемой территории каждые 10 лет на $0,1\text{...}0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, в районе Аральского моря и на крайнем юге тенденции были более значительные – $0,2\text{...}0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$.

Анализ индексов изменения климата, рассчитанных на основе процентилей периода 1936...2005 гг., показал, что изменения в термическом режиме характеризуются следующим:

- на большей части исследуемого региона наблюдался более значительный рост ночных температур в сравнении с ростом дневных температур. В результате годовое количество экстремальных теплых ночей увеличивалось на 1...2 каждые 10 лет, в то время как количество экстремальных теплых дней возрастало примерно в два раза меньшими темпами. Также значительно уменьшалась суточная амплитуда температуры воздуха (в среднем на $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$);
- практически повсеместно значительно сократилось число дней с морозом, когда суточный минимум температуры $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. На большей части территории это сокращение составляло около 3 дней за 10 лет;
- увеличивалось количество жарких дней, когда суточный максимум температуры $> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. В районе Аральского моря повторяемость таких

дней возрастала наиболее существенно – на 3...4 дня каждые 10 лет. Но по данным крайних южных станций количество жарких дней даже несколько уменьшалось;

- на большей части территории (местами на 2...3 дня каждые 10 лет) увеличивалась продолжительность волн тепла, когда в течение не менее 6 дней подряд наблюдалась экстремально высокая температура воздуха. Одновременно значительно (местами на 3...4 дня каждые 10 лет) сокращалась продолжительность волн холода, когда в течение не менее 6 дней подряд наблюдалась экстремально низкая температура воздуха;
- на большей части территории на 2...3 дня каждые 10 лет увеличивался вегетационный период – период между первой датой, когда дневная температура пятидневки ≥ 5 °С, и последней даты, когда дневная температура пятидневки ≤ 5 °С.

Режим осадков менялся неоднозначно по исследуемой территории и по сезонам года. В предгорьях и горах юга Казахстана количество осадков как в летний период, так и в зимний увеличивалось. В зимний период в районе Аральского моря и юго-западнее оз. Балхаш наблюдалось уменьшение сумм осадков. На всей остальной равнинной территории отмечена очень слабая тенденция к увеличению сумм осадков. В летний период юго-западнее оз. Балхаш тенденция к уменьшению сумм осадков сохраняется.

Изменение режима осадков на территории Казахстана за период 1936...2005 гг. характеризуется следующим:

- в горных районах Тянь-Шаня наблюдалось существенное увеличение доли годовых сумм осадков, которая приходится на экстремальное суточное количество осадков (когда осадки превышают 95-ую процентиль периода 1961...1990 гг.). Наиболее значительна доля экстремальных суточных сумм осадков в районах Арала с прилегающими равнинами и пустынями, где она оставляет от 25 до 31 %. Однако именно эти районы получают минимальное количество атмосферной влаги;
- практически на всей территории наблюдалось некоторое уменьшение максимальной продолжительности бездождного периода (местами на 3...4 дня). Максимальная продолжительность периода с осадками не изменилась.

С помощью коэффициента увлажнения, который рассчитывался как отношение количества осадков к испаряемости были оценены изменения условий увлажнения за период 1936...2005 гг. Результаты показали, что основной характеристикой изменения увлажнения исследуемой территории является усиление засушливости климата в равнинных районах пустынь и полу-

пустынь Казахстана, а также в близлежащих к ним районах. В горных районах юга и юго-востока республики за счет более существенного, по сравнению с другими территориями, увеличения количества осадков, а также за счет менее значительного повышения температуры воздуха, изменение условий увлажнения имело положительную тенденцию.

Вследствие усиления эрозии почв для исследованных районов, как равнинных, так и горных, отмечается возросшая неравномерность выпадения осадков во времени. Кроме того, в летний период такие осадки не приносят необходимого увлажнения почвы, так как при ливневых осадках почва не способна быстро впитать влагу, часть которой просто стекает по поверхности, а высокая температура воздуха способствует ее быстрому испарению. Анализ неблагоприятных агрометеорологических явлений и пострадавших фермерских хозяйств в 2005...2007 гг. показал, что основными неблагоприятными явлениями в Казахстане являлись: атмосферная (60 % случаев) и почвенная (20 %) засуха, ливневый дождь и град (14 %).

Анализ состояния оледенения в основных горных узлах

Основными реками бассейна оз. Балхаш являются реки Иле, Каратал, Лепсы, и Аксу. В верхней части бассейна реки Иле (КНР) ее притоками являются Хоргос, Каш, Кюнес, Коксу, Текес. Ледники, расположенные в бассейнах этих рек, приурочены к горным хребтам: Кетмень, Нарат, Аврал Ула, Арашань, Эндыру-Улу, Боро-Хоро, Эрен-Хабырга, Бержинтау. В средней части бассейна р. Иле основными притоками являются: Шилик, Шарын, Усек. Ледники, расположенные в бассейнах этих рек, приурочены к горным системам: Илейский Алатау, Кюнгей Алатау, Терской Алатау и Джунгарский Алатау. В бассейнах рек Каратал, Лепсы и Аксу ледники приурочены к северо-западным и северным склонам Джунгарского Алатау.

По бассейну р. Иле сокращение оледенения составило 1254 км^2 (36,6 %) и в среднем за год – $25,1 \text{ км}^2$ (0,73 %). В целом по бассейну оз. Балхаш сокращение составило 1498 км^2 (36,9 %) или в среднем за год – 30 км^2 (0,74 %). Расчеты показали, что за счет сокращения многолетних запасов льда и запасов воды в ледниках, в реки бассейна оз. Балхаш поступает дополнительно 10 % воды.

По мнению ученых гляциологов, основанному на результатах определения деградации оледенения во второй половине 20-го века, ледники практически исчезнут к концу 21-го века. Проведенные исследования показали, что в результате деградации оледенения сток р. Иле уменьшится на $2,26 \text{ км}^3$ (11,6 %) в год, в бассейне оз. Балхаш на $2,54 \text{ км}^3$ (10,5 %) в год [7, 8].

Ежегодное уменьшение речного стока при деградации горного оледенения происходит пропорционально его сокращению в бассейне реки Иле и озера Балхаш. Одновременно наблюдается его некоторая компенсация за счет поступления воды в процессе таяния многолетних запасов льда. Общее уменьшение речного стока формируется в результате количественного баланса этих двух процессов: увеличения потерь речного стока за счет сокращения площади оледенения и поступления воды от таяния вековых запасов льда, сокращающихся с уменьшением площади оледенения. Оценка изменения стока за счет деградации горного оледенения произведена путем сопоставления стока с ледниковой и не ледниковой поверхности водосбора.

Вследствие деградации горного оледенения произойдет уменьшение стока маловодных лет (на 25,4...27,9 %) и его увеличение в многоводные годы (на 31,4...42,4 %), также существенно изменится внутригодовое распределение стока рек. Почти в два раза уменьшится сток за июль, август, сентябрь и увеличится почти в два раза сток за апрель, май и июнь.

В результате проведенных исследований, впервые удалось разработать методику оценки изменений характеристик речного стока за счет деградации горного оледенения и определить количественные показатели этих изменений. Полученные характеристики являются необходимой основой для проектирования и разработки схемы использования водных ресурсов при глобальном изменении климата нашей планеты на ближайшую и более отдаленную перспективу. Они также необходимы для осуществления строительного проектирования гидротехнических сооружений при решении задач адаптации водного хозяйства к неблагоприятным последствиям изменения климата.

Произведенные расчеты показали, что глобальное повышение температуры воздуха нашей планеты и продолжение деградации горного оледенения приведет к повышению напряженности при использовании стока в бассейне оз. Балхаш. Для компенсации этой напряженности необходимо проектирование и строительство на горных реках водохранилищ, в основном сезонного регулирования, а также противопаводковых и селевых гидротехнических сооружений.

Влияние изменения климата на селевую активность

Горные и предгорные районы, занимающие 15 % территории Казахстана, подвержены разрушительному воздействию селей. По селевой активности Илейский Алатау занимает одно из первых мест в СНГ. По данным

Казселезащиты, сели угрожают 156 населенным пунктам (в том числе г. Алматы) и более 6000 объектам хозяйственной деятельности [1]. Сели формируются в результате прорыва поверхностных и подземных водоемов моренно-ледниковых комплексов, выпадения интенсивных и продолжительных жидких осадков, при сильных землетрясениях, нерациональной хозяйственной деятельности. Менее чем за 100 последних лет отмечено около 1000 случаев образования селей различного происхождения, многие из которых имели характер катастроф, сопровождавшихся человеческими жертвами.

Сели представляют собой потоки смеси воды и рыхлообломочных пород природного или антропогенного происхождения. В зависимости от соотношения и плотности твердой и жидкой составляющих, объемный вес селевой массы может изменяться в больших пределах и достигать 2400 кг/м^3 и даже более. Расход селей может превышать тысячи кубометров в секунду, а объем – десятки миллионов кубометров. В зависимости от глубины потока, уклона пути его движения и реологических свойств селевой массы скорость селя может изменяться в больших пределах: от долей до ста и более метров в секунду. Из-за большой плотности селевой массы и наличия в ней глыб, вес которых может достигать нескольких десятков тонн, при скорости движения даже первые метры в секунду сели обладают громадной разрушающей способностью.

Главными факторами селеформирования являются: геоморфологический, геологический и климатический. Поскольку геоморфологические характеристики хребтов Тянь-Шаня (уклоны и длины склонов, протяженность долин, их наклоны и т.д.) заметным образом изменяются лишь спустя многие тысячи лет, их значения могут считаться неизменными на протяжении десятков и даже сотен тысяч лет. По нашим оценкам, если скорость горообразования и интенсивность денудации на северном склоне Илейского Алатау сохраняют значения, типичные для последнего миллиона лет, геоморфологический фактор, способствующий формированию мощных грязекаменных селей, будет поддерживаться еще около 4 млн. лет. Главным источником твердой составляющей при селеформировании в обсуждаемом регионе являются морены. Их объемы только на северном склоне Илейского Алатау составляют несколько миллиардов кубометров, поэтому геологический фактор на столетнюю перспективу также может считаться неизменным. Следовательно, главным фактором, определяющим селевую активность на северном склоне Илейского Алатау, является климатический [14].

Данные изотопного отношения кислорода δO^{18} в колонке глубоководных осадков из Тихого океана, результаты изучения ледяных кернов,

полученных при бурении скважин на ледниках Антарктиды и Гренландии, позволили получить достоверные данные об изменении температуры за последние 900 тыс. лет в Южном и Северном полушариях [20]. Этот период включает конец рисской эпохи оледенения, эпоху рисс-вюрмского межледниковья, эпоху вюрмского оледенения и голоцен. Анализ положения конечных морен рисского и вюрмского оледенений Северного Тянь-Шаня показал, что изменения температур в эти эпохи в изучаемом регионе были близки к изменениям температур (в соответствующие периоды времени) в Антарктиде. Известно, что климат Антарктиды определяется глобальным климатом, следовательно, и климат Казахстана будет изменяться синхронно с изменением глобального климата.

Наличие лессовых прослоев в конусах выноса позволяет дифференцировать отложения по возрастному признаку. Геологический разрез Аксайского карьера (рис. 1) позволяет уверенно судить о селевой активности на северном склоне Илейского Алатау.

Мощность отложений рисс-вюрмского межледниковья на конусе выноса р. Аксай достигает 30 м. Отсутствие почвенных прослоев между отложениями селей большой плотности, обладающими, как известно, малой эродирующей способностью, свидетельствует о залповом характере выброса селей, т.е. очень высокой селевой активности. Температура воздуха в Казахстане, судя по данным о климате Антарктиды в период рисс-вюрмского межледниковья, превышала современные значения на 2...3 °С. При такой температуре оледенение Илейского Алатау практически полностью деградирует и осадки, на высотах менее 4000 м над уровнем моря, будут выпадать только в жидком виде.

В эпоху вюрмского оледенения селевая активность снизилась практически до нуля и на поверхности селевых отложений рисс-вюрмского межледниковья образовался лессовый покров, мощностью 20...30 м.

Потепление в голоцене, начало которого относят к 12...10 тыс. лет назад, привело к некоторому оживлению селевой активности на северном склоне Илейского Алатау. Однако это не привело к существенным отложениям селей на конусах выноса вплоть до настоящего времени.

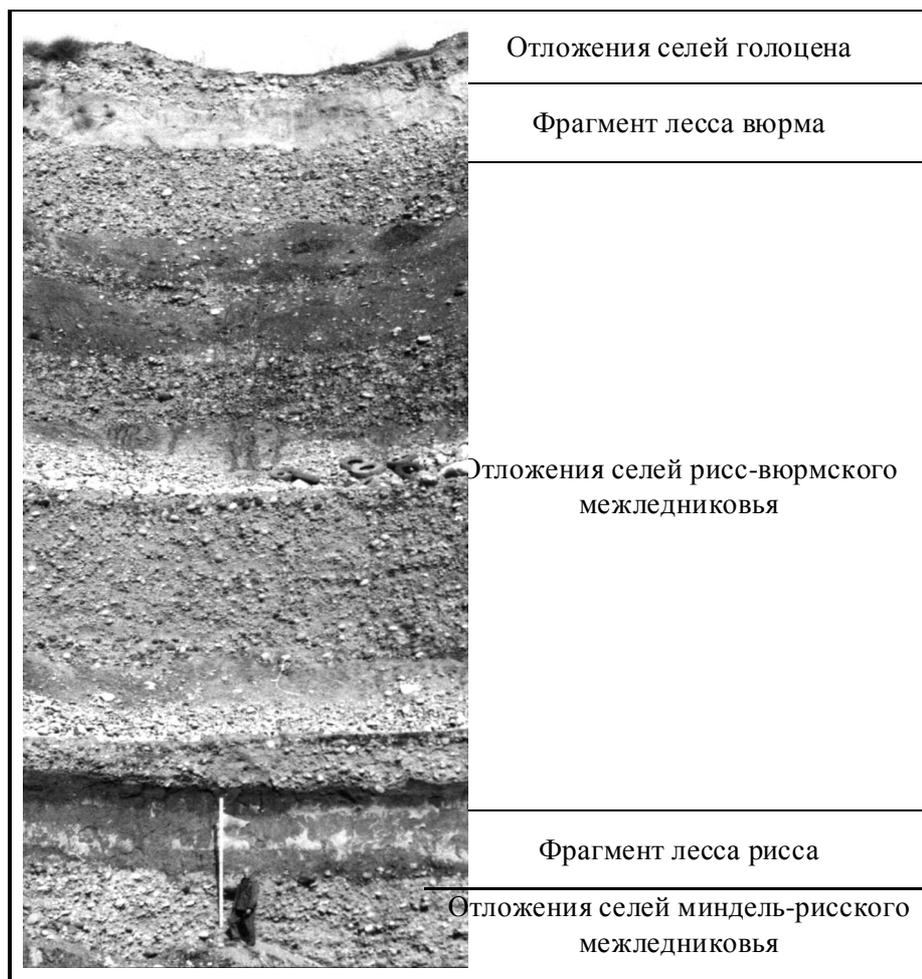


Рис. 1. Строение конуса выноса р. Аксай (хр. Илейский Алатау).

Обследование поверхностного слоя отложений (2...11 м) на конусах выноса рек Киши и Улькен Алматы, на которых расположен г. Алматы, показало, что около 80 % территории в настоящее время перекрыто лессовым покровом. На поверхности покрова и в его толще фрагментов селевых отложений не обнаружено. Лессовый покров отсутствует и замещен селевыми отложениями лишь на относительно узких полосах вдоль русел упомянутых рек. Мощность этих отложений, за редким исключением, не превышает одного метра. Принимая во внимание, что мощность селевых отложений рисс-вюрмского межледниковья на конусе выноса р. Киши Алматы в районе пересечения улиц Казыбек би и Фурманова, по данным геологической службы Алматинского метростроя, близка к 30 м, можно сделать вывод, что селевая активность в голоцене была крайне не-

значительной по сравнению с предшествовавшей межледниковой эпохой [23, 24]. Причиной тому – относительно низкая температура воздуха в летний период в южном Казахстане.

Современное глобальное потепление климата, начало которого относят к середине 19 века (концу Малого ледникового периода), привело, за последнее столетие, к увеличению температуры воздуха в среднем на 1 °С. Темпы потепления климата в Казахстане более чем в два раза превышают темпы глобального потепления. Анализ сценариев изменения климата в Казахстане в первой половине 21 века свидетельствует о том, что к 2050 г. следует ожидать увеличения температуры приземного воздуха на 1,5...4,5 °С, осадки при этом изменятся очень незначительно: на 10...15 %, причем знак изменения величины осадков имеет очень большую степень неопределенности [9]. Следовательно, при оценке изменения селевой активности в результате глобального потепления допустимо принятие гипотезы о неизменности величины осадков.

Потепление климата привело к быстрой деградации оледенения Тянь-Шаня, в ходе которого на моренно-ледниковых комплексах формировались поверхностные и подземные водоемы. Их прорыв приводил к формированию катастрофических селей, в том числе и на северном склоне Илейского Алатау. Эти сели нанесли большой материальный ущерб и стали причиной гибели сотен человек [18].

Наиболее крупные сели формировались: в бассейне р. Есик в результате прорыва приледникового озера на леднике Жарсай в 1958 и 1963 гг.; в бассейне р. Киши Алматы в 1956 и 1973 гг. при прорыве внутриледникового водоема и селеопасного озера №2 на леднике Туюксу; в бассейне р. Улькен Алматы в 1977 г. при прорыве озера №13 на леднике Советов [19].

Катастрофические сели дождевого генезиса в рассматриваемом регионе формируются при выпадении ливневых осадков, охватывающих все высотные зоны речных бассейнов. Необходимым условием возникновения катастрофических селей дождевого генезиса в Илейском Алатау является выпадение интенсивных и продолжительных осадков в высокогорной зоне в жидком виде, последнее возможно лишь на фоне относительно высоких температур воздуха. Наивысшие отметки селеобразующих водосборов в условиях климата 20 века были близки к 3600 м.

На рис. 2 приведена типичная картина высокогорной зоны Илейского Алатау после выпадения осадков в летний период времени. На переднем плане справа вюрмская морена ледника Маншук Маметовой. На заднем

плане стартовые зоны селей дождевого генезиса и их водосборы. В условиях современного климата, как это хорошо видно на фотоснимке, крупные осадки в интервале высот 3400 м и более в подавляющем числе случаев выпадают в виде снега, крупы или града. Вследствие этого водосборы стартовых зон селей дождевого генезиса имеют относительно малые площади. При потеплении климата на 2...3 °С практически на всей видимой части снимка осадки будут выпадать в виде дождей. Характеристики стока возрастут не только за счет увеличения площадей водосбора, но и за счет увеличения коэффициента стока, обусловленного участием в стокообразовании скальных поверхностей.



Рис. 2. Морены рисского и вюрмского оледенений (на переднем плане справа) – основные поставщики рыхлообломочных пород в ходе селевых процессов.

Сделав допущение о том, что к 2050 г. температура воздуха увеличится на 2,8 °С, а ее изменение будет происходить во времени по линейному закону, приняв за величину селеформирующих осадков слой, равный 60 мм, считая, что селеформирующая водосборная площадь в 20 веке располагалась в интервале высот 3200...3500 м, расходы селеформирующих паводков, а также расходы и объемы селей будут возрастать в соответствии с увеличением площадей высокогорной зоны, вовлекаемых в процессы селеформирования вследствие потепления, нетрудно рассчитать, как будет изменяться селевая активность во времени в интервале 2000...2050 гг. (рис. 3).

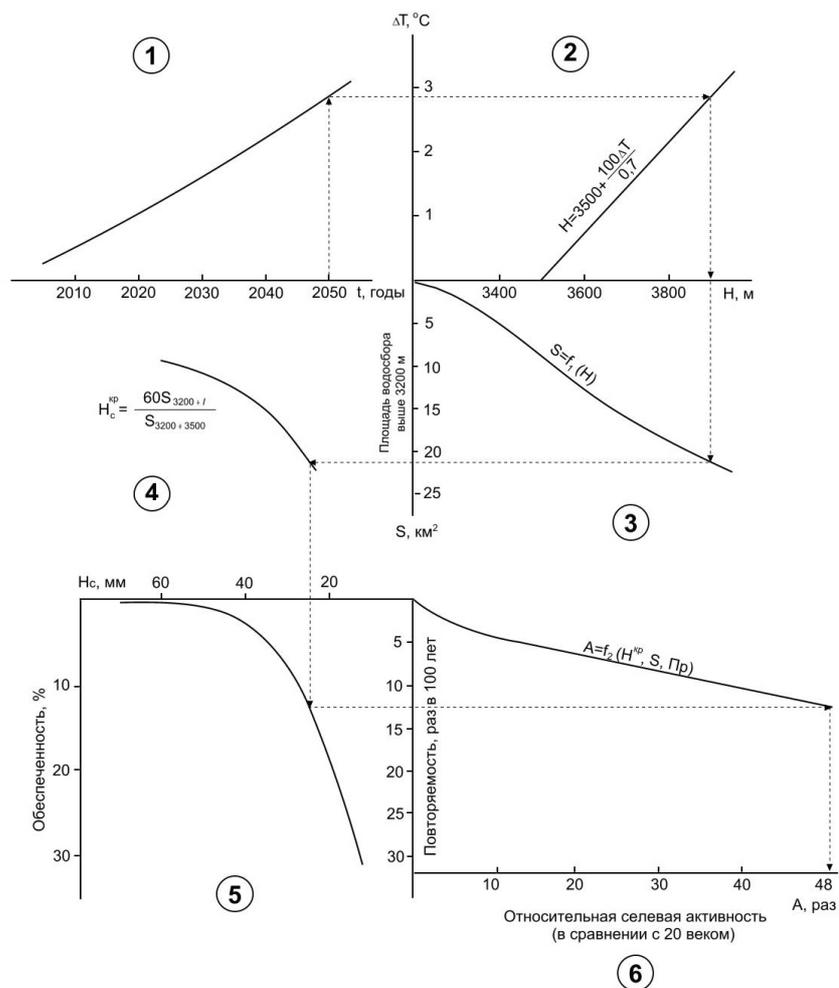


Рис. 3. Изменение относительной селявой активности (по сравнению с 20 веком), обусловленной выпадением жидких осадков в высокогорной зоне для бассейна р. Киши Алматы при различных сценариях потепления климата.

Первая номограмма на рис. 3 позволяет оценить изменение температуры воздуха в первой половине 21 века в зависимости от приращения температуры, которое произойдет к 2050 г. (1,0; 2,0 и 2,8 $^\circ\text{C}$). Вторая номограмма предназначена для определения высоты верхней границы выпадения селеформирующих осадков. Третья номограмма используется для оценки площадей водосборов, расположенных в различных высотных интервалах. С помощью четвертой номограммы определяется величина критического слоя селеформирующих осадков. Пятая номограмма позволяет определить повторяемость селеформирующих осадков. И, наконец, шестая номограмма использу-

ется для оценки возрастания селевой активности по сравнению с 2000 г. Отсюда следует, что если значение селевой активности в бассейне р. Киши Алматы в 2000 г. принять за единицу, то в условиях климата 2050 г. (при увеличении температуры воздуха на 2,8 °С) она возрастет в 48 раз.

При потеплении климата на 2...3 °С степной климат предгорной ступени Илейского Алатау трансформируется в климат пустыни. Лессовый покров полностью исчезнет, поросшие в настоящее время травянисто-кустарниковой растительностью прилавки превратятся в бедленды (рис. 4) [17].

Практически все жидкие осадки будут приводить к формированию селей, отложения которых на предгорной равнине перекроют наиболее продуктивные в настоящее время земли. Резкое увеличение твердого стока рек, впадающих в р. Иле, создаст условия для быстрого заиления Капшагайского водохранилища, изменения режима дельты р. Иле и озера Балхаш в целом. Возникнут серьезные проблемы с поливом сельскохозяйственных культур из-за непригодности воды для орошения и заиления систем орошения аномальным твердым стоком [15].

Концепция защиты от селевых потоков г. Алматы и других населенных пунктов основывалась на представлении о том, что катастрофические сели – чрезвычайно редкое явление. Катастрофические сели второй половины 20 века – свидетельство ошибочности этих представлений. Многократное увеличение селевой активности уже в первой половине 21 века свидетельствует о необходимости разработки новой стратегии защиты от селей [16].

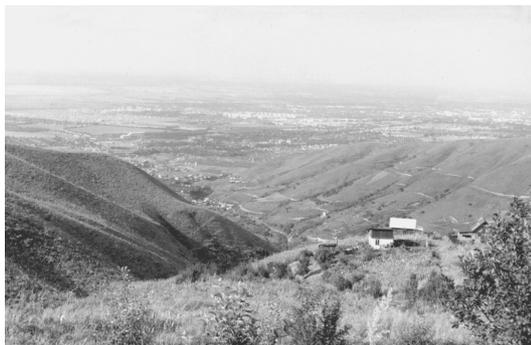


Рис. 4. Увалисто-холмистый рельеф верхней предгорной ступени Илейского Алатау.

Резкое увеличение селевой активности следует ожидать и в горных районах Центральной Азии, несущих в настоящее время оледенение. Устойчивое развитие этого региона в 21 веке в значительной мере будет зависеть от того, насколько своевременно и адекватно будут проведены мероприятия по предотвращению селей или уменьшению ущерба, наносимого ими.

Сценарии вероятного изменения климата Казахстана

При разработке сценариев вероятного изменения климата Казахстана были использованы результаты пяти сдвоенных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО, бокс 1) и 4 сценария изменения концентрации парниковых газов в атмосфере, представленных в Специальном докладе по сценариям выбросов (СДСВ) Межправительственной группы экспертов (МГЭИК) и их медиана (бокс 2). С целью уменьшения неопределенности климатических сценариев было проведено осреднение выходных данных пяти МОЦАО. Расчеты выполнены с использованием версии 4.1 программного комплекса MAGICC/SCENGEN с учетом охлаждающего эффекта сульфатных аэрозолей для трех временных периодов: 2016...2045, 2036...2065, 2071...2100 годы, которые характеризуют возможное изменение климата Казахстана к 2030, 2050 и 2085 годам относительно базового периода 1961...1990 гг.

Бокс 1 Сдвоенные модели общей циркуляции атмосферы и океана, использованные для сценариев изменения климата Казахстана

- модель CERF98 Европейского центра CERFACS;
- модель CSI296 Австралийской научно-индустриальной Организации (CSIRO);
- модель ECH498 института Макса Планка, Германия (MPI);
- модель CSM_98 Национального центра атмосферных исследований, США (NCAR);
- модель HAD300 Центра Гадлея по исследованию и прогнозированию климата, Великобритания (Hadley Center).

Бокс 2 Сценарии эмиссии парниковых газов СДСВ, использованные при оценке вероятного изменения климата Казахстана

- A1F1 – экстремально высокий сценарий эмиссии парниковых газов;
- A2 – «средневысокий» сценарий эмиссии парниковых газов;
- P50 – медиана сценариев СДСВ;
- B2 – «средненизкий» сценарий эмиссии парниковых газов;
- B1 – экстремально низкий сценарий эмиссии парниковых газов.

Сценарии СДСВ построены без учета дополнительных инициатив, связанных с изменением климата, и без указания степени вероятности наступления тех или иных событий.

Используя средний сценарий увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере (P-50) и средние по 5-ти моделям изменения температуры воздуха и осадков (среднее по моделям), был получен усредненный сценарий изменения регионального климата относительно базового

периода 1961...1990 гг.. Согласно сценарию P-50 в среднем по территории Казахстана ожидаемое изменение среднегодовой температуры составит: +1,4 °С к 2030 г.; +2,7 °С к 2050 г.; и +4,6 °С к 2085 г (рис. 5).

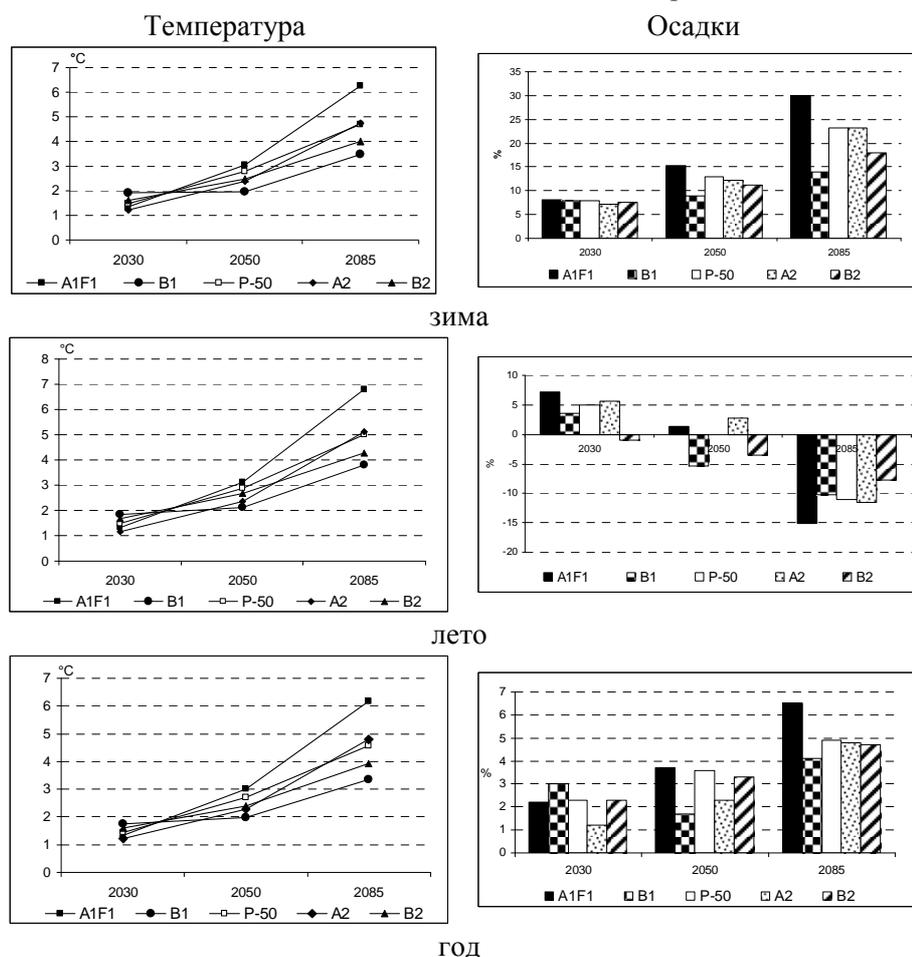


Рис. 5. Среднее по МОЦАО (Бокс 1) изменение температуры приземного воздуха (°С) и количества атмосферных осадков (%) в целом по Республике Казахстан при различных сценариях изменения концентрации парниковых газов (Бокс 2).

Годовое количество осадков будет незначительно увеличиваться: на 2 % к 2030 г., на 4 % к 2050 г. и на 5 % к 2085 г. Так как внутригодовое распределение осадков имеет большое практическое значение, были рассчитаны ожидаемые изменения сезонного количества осадков. Так, в зимний период, до конца текущего столетия по сценарию P-50 ожидается увеличение осадков по всем рассмотренным моделям: к 2030 г. в среднем по моделям на 8 %; к 2050 г. – на 13 %; к 2085 г. – на 24 %. Для летнего пе-

риода по сценарию R-50 к 2030 г. осадков будет больше на 5 %, но уже с середины текущего столетия только две модели предсказывают увеличение осадков, и в среднем по моделям к 2050 г. количество осадков может оказаться на уровне современного периода. К концу столетия в среднем по моделям можно ожидать уменьшения количества осадков на 11 %. Существующая неопределенность в сценариях изменения климата, вытекает из неопределенности сценариев изменения концентрации и несовершенства моделей. Наибольшая неопределенность касается осадков.

По сценарию A1F1, который является самым «жестким» из всех рассмотренных, к 2030 году изменение среднегодовой температуры приземного воздуха в Казахстане составит по разным моделям 1,2...1,9 °C (1,3 °C в среднем по моделям), к 2050 году – 2,5...4,0 °C (3,0 °C в среднем по моделям), а к 2085 году – 5,7 до 8,0 °C (6,2 °C в среднем по моделям). Изменение осадков для трех указанных периодов лежит в пределах от минус 2 до плюс 8 % (2,2 % в среднем по моделям), от минус 4 до плюс 15 % (3,7 % в среднем по моделям) и от 8 до 28 % (6,5 % в среднем по моделям), соответственно.

По сценарию B1, который является наиболее мягким сценарием, к 2030 году изменение среднегодовой температуры приземного воздуха в Казахстане составит по данным использованных моделей 1,5...2,2 °C (1,7 °C в среднем по моделям), к 2050 году – 1,6...2,6 °C (2,0 °C в среднем по моделям), к 2085 году – 3,1...3,4 °C (3,3 °C в среднем по моделям), что значительно ниже, чем с учетом сценария A1F1. Изменение осадков лежит в пределах 0...8 % (3,0 % в среднем по моделям), от минус 3 до плюс 9 % (1,7 % в среднем по моделям) и от минус 2 до плюс 13 % (4,1 % в среднем по моделям), соответственно к 2030, 2050 и к 2085 году.

Анализ чувствительности условий увлажнения территории Казахстана к различному изменению количества осадков при ожидаемом повышении температуры воздуха показал, что увеличение количества осадков даже на 20...25 % может не сыграть положительной роли для экосистем, сельского хозяйства и водных ресурсов. Комплексное воздействие ожидаемых изменений температуры приземного воздуха и количества осадков может привести к смещению границ зон увлажнения к северу. Условия увлажнения характеризовались коэффициентом увлажнения (бюджет 1), который показывает соотношение тепла и влаги, поступающей на данный участок суши.

Наихудшие условия увлажнения ожидаются по сценарию A1F1, в соответствии с которым к 2085 году зоны увлажнения могут сместиться к северу в среднем на 250...300 км. В этом случае все северные районы Казахстана ока-

жутся в полузасушливой зоне, а засушливая зона будет занимать более обширную территорию. По результатам моделирования с учетом остальных сценариев концентрации парниковых газов (бюкс 2) также будет происходить смещение зон увлажнения к северу, но менее значительное.

Исследование изменения водных ресурсов

Для исследования возможной уязвимости водных ресурсов Казахстана вследствие антропогенных изменений климата в качестве методической основы использована усовершенствованная концептуальная математическая модель формирования стока, разработанная в РГП «Казгидромет» [2-6, 10, 12, 13, 21, 22].

Основными входными данными для моделирования гидрографа стока являются суточные суммы осадков и средние суточные температуры воздуха на метеорологических станциях, расположенных в пределах бассейна или вблизи от него. В рамках данной работы проведена адаптация модели для оценки уязвимости водных ресурсов с использованием сценариев потенциального антропогенного изменения климата.

Антропогенные изменения климата были приняты по сценариям А2 и В2. Для построения, которых применялась версия 4.1 программного комплекса MAGICC/SCENGEN (Model of the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change / Scenario Generator), разработанного по заданию МГЭИК, в том числе и для проведения работ по оценке уязвимости.

Из 17 моделей комплекса для построения сценариев климата Казахстана было выбрано 5 моделей. Просчитано изменение приземной температуры воздуха и осадков к 2030 и 2050 году при двух сценариях изменения концентрации парниковых газов А2 и В2 в среднем по 5 моделям.

По мнению климатологов РГП «Казгидромет», для условий Казахстана в определенной мере следует ориентироваться на оба сценария изменения климата. Поэтому, вероятно, можно полагать, что под влиянием антропогенного изменения климата произойдет небольшое увеличение водных ресурсов горных районов и их уменьшение в равнинных районах Казахстана [11, 12]. В результате проведенных исследований получены следующие выводы:

1. Если антропогенные изменения климата вследствие выделения в земную атмосферу парниковых газов на перспективу 30 лет будут происходить в соответствии со сценарием А2, то водные ресурсы в горных бассейнах Казахстана увеличатся, в среднем от 0,8...4,5 % до 14,0...22,5 %. В равнинных же бассейнах рек они уменьшатся соответственно на 7,0...10,3 %.

2. Согласно сценарию В2 на перспективу до 30 лет увеличение стока в горных районах будет меньше и будет изменяться в пределах от 2,5 % до 9,3...12,3 %. В бассейне р. Арысь он также уменьшится, но на незначительную величину – 2,0 %. Сценарий В2 более «жесткий» для горных районов, а для равнинных бассейнов он более «мягкий», так в бассейнах равнинных рек уменьшение ресурсов будет составлять 6,0...6,8 %.
3. Если изменения климата на перспективу 50 лет будут происходить в соответствии со сценарием А2, то водные ресурсы в горных бассейнах Казахстана увеличатся, в среднем от 1,3 % до 12,7 %. В равнинных же бассейнах рек уменьшатся на 4,4...7,8 %.
4. На перспективу до 50 лет сценарий В2 более «жесткий». Согласно этому сценарию увеличения стока в горных районах не будет, он уменьшится в пределах от 7,2 % до 19,5 %, только в бассейнах рек Уба и Ульба сток незначительно увеличится на 3,2 %. Сценарий В2 более «жесткий» и для равнинных бассейнов, так в этих бассейнах уменьшение ресурсов будет изменяться от 8,0 % до 8,5 %.
5. В разные по водности годы результаты оценки уязвимости водных ресурсов показывают, что независимо от водности года изменение водных ресурсов имеет ту же тенденцию, что и в среднем за весь многолетний период.
6. Во всех вариантах и сценариях осадки и температура увеличиваются. В горных районах за счет увеличения зимних осадков (особенно в основных стокообразующих зонах бассейнов) увеличиваются значения снегозапасов, что приводит в условиях повышения температуры воздуха к увеличению стока в весенний период. Увеличение температуры воздуха не так существенно, чтобы привести к значительному более раннему оттаиванию почвогрунтов и как следствие к увеличению потерь стока в период весеннего половодья. В равнинных бассейнах картина иная. Повышенные осадки меньше влияют на величину стока в силу больших его потерь на водосборе. В равнинных бассейнах более четко прослеживается зависимость от температуры воздуха. В условиях ее повышения наблюдается уменьшение глубины осеннего промерзания и как следствие этого увеличение потерь стока на инфильтрацию.

Предложения по эффективному использованию водных ресурсов региона

Исходя из оценки уязвимости водных ресурсов вследствие возможного антропогенного изменения климата, исключительно важным является вопрос адаптации к этим изменениям в новых условиях. В результате проведенных исследований получены следующие выводы:

1. Наиболее радикальными адаптационными мерами могут быть снижение эмиссии парниковых газов и переброска части стока в Республику Казахстан с территории Российской Федерации.
2. Приоритетными должны стать мероприятия, связанные с экономией воды и охраной окружающей среды.
3. Для детальной оценки и управления водными ресурсами необходимо создание имитационной системы.
4. Произведенные расчеты показали, что глобальное повышение температуры воздуха нашей планеты и продолжение деградации горного оледенения приведет к повышению напряженности при использовании стока. Для компенсации этой напряженности необходимо проектирование и строительство на горных реках водохранилищ, в основном сезонного регулирования, а также противопаводковых и селевых гидротехнических сооружений.

Меры для поддержки развития секторов экономики, использующих водные ресурсы:

- стратегическое развитие экономики с ориентацией на безводные и маловодные технологии;
- увеличение доли использования подземных вод;
- переброска части речного стока внутри регионов и из-за их пределов.

Меры по ослаблению негативных последствий влияния уязвимости водных ресурсов на сектора экономики:

- минимизация потерь воды путем реконструкции оросительных систем и систем водоснабжения;
- замена влаголюбивых сельскохозяйственных культур на орошаемых землях менее влаголюбивыми культурами;
- внедрение прогрессивных технологий в орошаемом земледелии;
- внедрение маловодных технологий и систем оборотного водопользования на существующих промышленных предприятиях и в коммунальном хозяйстве;
- использование сточных вод;
- пересмотр режимов работы гидроэлектростанций;
- использование атомной, солнечной и ветровой энергии;

- проведение дноуглубительных работ, реконструкция пристаней и причалов на судоходных реках;
- замена имеющихся типов судов речного транспорта и рыболовного флота на суда с меньшей осадкой.

Меры по оптимизации состояния водных экосистем и охране окружающей среды:

- создание благоприятного воднотеплового режима для обитания и воспроизводства рыб и других живых организмов, регулирование их численности;
- химическая и биологическая очистка сточных вод;
- осуществление дополнительных мелиоративных, агролесомелиоративных и агротехнических мероприятий для обеспечения экологической безопасности;
- создание санитарных защитных зон вблизи поверхностных водоисточников и в местах забора подземных вод;
- жесткое ограничение хозяйственной деятельности в наиболее маловодных районах и перенос ее на другие территории;
- обязательная экологическая экспертиза новых проектов использования водных ресурсов.

Меры по сокращению социальных потерь:

- выдача компенсаций населению при его переселении из районов опустынивания при уменьшении ресурсов поверхностных вод;
- выделение средств на развитие инфраструктуры в новых районах поселений;
- импорт недостающих продовольственных и промышленных товаров в связи с невыгодным их производством в условиях возможного уменьшения водных ресурсов.

Меры по повышению оперативности принятия решений:

- совершенствование законодательных актов и заключение межгосударственных соглашений по регулированию водохозяйственных отношений с учетом предстоящих изменений водных ресурсов;
- повышение заблаговременности и оправдываемости гидрологических прогнозов;
- разработка моделей и научно обоснованных рекомендаций, позволяющих правильно и быстро оценивать ситуации, возникающие при формировании и использовании водных ресурсов;

- подготовка необходимых служб к незамедлительному выполнению возможных решений;
- определение в изменившихся условиях ресурсов поверхностных вод и статистических характеристик речного стока для разработки Схем комплексного использования водных ресурсов и проектирования необходимых гидротехнических сооружений.

Меры по уменьшению ущерба, наносимого селями:

- в зависимости от важности объекта, расположенного в селеопасной зоне, решения по обеспечению безопасности могут носить как политический, так и экономический характер. Примером политического решения проблемы защиты от селей г. Алматы может быть его перенос на север вплоть до Капшагайского водохранилища;
- проведение превентивных, организационно-хозяйственных и защитных противоселевых мероприятий. К мерам превентивного характера относятся предупреждение зарождения и развития озер, прорыв которых может привести к формированию селей; опорожнение селеопасных озер на моренно-ледниковых комплексах; мелиорация стартовых зон селей дождевого генезиса; фитомелиорация в средне- и низкогорной зонах; террасирование склонов в низкогорной зоне; создание емкостей для задержания селей и паводков; активное воздействие на интенсивность, продолжительность и фазовый состав выпадающих осадков и т.д.;
- организационно-хозяйственные мероприятия: ограничение хозяйственной деятельности в селеопасных зонах; сохранение растительного покрова на водосборах; рекультивация ландшафтов; безопасное размещение объектов рекреационного назначения и организация оповещения о селевой опасности; пропаганда поведения населения в селеопасной зоне и т.д.;
- защитные мероприятия, прежде всего гидротехнические, обеспечивают сохранность объектов, которым угрожают сели, путем: задержания селей; пропуска селей через защищаемую территорию; отвода селей от защищаемых объектов и т.д.;
- к настоящему времени общепринятых методов борьбы с селевыми явлениями, прошедших проверку временем, не существует. Достоверно лишь то, что мероприятия превентивного характера не гарантируют полной защиты, в связи с чем, строительство селеуловителей (селехранилищ) в горных долинах остается необходимым элемен-

том обеспечения безопасности. Если уровень урбанизации конуса выноса невелик, а стоимость превентивных мероприятий значительно превышает стоимость защищаемых объектов и земель, изымаемых с целью обеспечения безопасности, целесообразен пропуск селей через защищаемую территорию или использование части конуса выноса для отложения селей в его пределах;

– для каждого селевого бассейна должна разрабатываться индивидуальная стратегия защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баймолдаев Т., Виноходов В. Казселезащита – оперативные меры до и после стихии. – Алматы: Бастау, 2007. – 284 с.
2. Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М. Модель поступления воды на поверхность горного бассейна и некоторые результаты ее проверки на бассейнах рек Западного Тянь-Шаня // Тр. САНИГМИ. – 1970. – Вып. 52 (67). – С. 3-20.
3. Важнов А.Н. Анализ и прогноз стока рек Кавказа. – М.: Гидрометеоиздат, 1966. – 274 с.
4. Виноградов Ю.Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана. // Тр. КазНИГМИ. – 1967. – Вып. 28. – 262 с.
5. Голубцов В.В. О построении математической модели формирования стока в горном бассейне. // Тр. КазНИГМИ. – 1975. – Вып. 48. – С. 3-25.
6. Голубцов В.В., Ли В.И., Строева Т.П. Математическое моделирование процессов формирования стока горных рек в условиях ограниченной информации. / Труды V Всесоюзного гидрологического съезда. – 1989. – Т. 6. – С. 374-382.
7. Голубцов В.В., Ли В.И. Оценка влияния деградации горного оледенения на водные ресурсы бассейна озера Балхаш // VI Всероссийский гидрологический съезд, Тезисы докладов, Секция 3. Гидрометеоиздат, С-Петербург, 2004, с. 242-243.
8. Голубцов В.В. Изменение водных ресурсов и режима рек в результате деградации оледенения в их бассейнах. // Гидрометеорология и экология. – 2008. – №1. – С. 47 – 62.
9. Долгих С.А., Смирнова Е.Ю., Сабитаева А.У. К вопросу о построении сценариев изменения климата Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2006. – №1. – С. 7-20.

10. Комаров В.Д. Весенний сток равнинных рек Европейской части СССР, условия его формирования и методы прогноза. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 295 с.
11. Ли В.И., Попова В.П. Оценка уязвимости водных ресурсов Казахстана при антропогенном изменении климата в первой половине 21 века. // Гидрометеорология и экология. – 2008. – №1. – С. 27-46.
12. Ли В.И., Попова В.П. Оценка влияния изменений климата на годовой сток основных рек Казахстана в 20 и начале 21 веков. // Гидрометеорология и экология. – 2008. – №1. – С. 63-75.
13. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.: Гидрометеиздат, 1963. – 395 с.
14. Степанов Б.С. Глобальное потепление и селевая активность / Сборник научных трудов Министерства охраны окружающей среды РК «Научно-прикладные исследования в области охраны окружающей среды». – Т. 1. – Алматы: ЦОЗиЭП, 2006. – С. 41–50.
15. Степанов Б.С., Степанова Т.С., Яфязова Р.К. Селевая опасность и устойчивое развитие горных и предгорных районов Прибалхашья / Международный экологический форум «Балхаш-2000» по проблемам устойчивого развития Или-Балхашского бассейна. – Алматы, 2000. – Вып. 1. – С. 447–450.
16. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Концепция защиты от селей г. Алматы в условиях изменяющегося климата // Гидрометеорология и экология. – 2006. – № 1. – С. 67–79.
17. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Климат и ландшафты центральной части северного склона Заилийского Алатау / Современные проблемы геоэкологии и созологии. – Алматы, 2001. – С. 138–142.
18. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. О роли гляциальных селей в выносе наносов из верхнего яруса накопления северного склона Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. – 2003. – № 4. – С. 81–87.
19. Яфязова Р.К. Природа селей Заилийского Алатау. Проблемы адаптации. – Алматы, 2007. – 158 с.
20. Jouzel, J., Lorius, C., Petit, J.R., Barkov, N.I. & Kotlyakov, V.M. 1994. Vostok isotopic temperature record. In T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski & F.W. Stoss (eds.), *Trends'93: A Compendium of Data on Global Change*: 590 – 602. ORNL/CDIAC-65. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn., USA.
21. Golubtsov V.V., Lee V.I., Skotselyas I.I. Anthropogenic Climate Change and Reduction of Water Resources; Adaptation Issues Related to the Economy in Ka-

- zakhstan. \ Adapting to Climate Change. Assessments and Issues. An International Perspective Springer - Verlage, New York, 1996, P. 225-231.
22. Skotselyas I.I., Golubtsov V.V., Lee V.I. Possible changes of surface water resources of Kazakhstan in XXI century \ Water: a looming crisis? International Conference on World Water Resources at the beginning of the 21 st Century (UNESCO, Paris, 3-6 June 1998. IHP-V Technical Documents in Hydrology | No 18 UNESCO, Paris, 1998, p.315-320
 23. Yafyazova, R.K. 2003. Influence of climate change on mudflow activity on the northern slope of the Zailiysky Alatau Mountains, Kazakhstan. Proceedings of the Third International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, September 10–12, 2003, Davos, Switzerland, pp. 199–204.
 24. Yafyazova, R.K. 2005. Estimation of mudflow activity under the changing climate. Journal of Nepal Geological Society, Vol. 32, (Special Issue). Abstracts of the Fifth Asian Regional Conference on Engineering Geology for Major Infrastructure Development and Natural Hazards Mitigation, September 28–30, 2005, Kathmandu, Nepal, p. 78.

РГП «Казгидромет», г. Алматы

БАЛҚАШ КӨЛІ МЕН АРАЛ ТЕҢІЗІ АЛАПТАРЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫНА КЛИМАТ ӨЗГЕРІСТЕРІНІҢ ӘСЕРІ

Техн. ғылымд. канд.	С.П. Шиварёва
Геогр.ғылымд. канд.	С.А. Долгих
Геогр. ғылымд. докторы	Б.С. Степанов
Геогр. ғылымд. канд.	Р.К. Яфязова
Техн. ғылымд. канд.	В.И. Ли
Геогр.ғылымд. канд.	В.В. Голубцов
Геогр.ғылымд. канд.	В.П. Попова
	Б.О. Баймагамбетов
	Е.Е. Петрова

Балқаш көлі мен Арал теңізі алаптарындағы гидрологиялық циклдің, жауын-шашын, ауа температурасы, мұздану және сел белсенділігінің өзгеруі қарастырылды. Климат пен су ағындысының аймаққа сәйкес келетін, заманауи үлгісіне талдау жасалды. Негізгі климат түзуші факторлар мен су ресурстарының өзгеру мүмкіндігі зерттеле келе, аймақтың су ресурстарын тиімді пайдалану жөнінде ұсыныстар келтірілді.