

УДК 556.18.004.14

**ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА
ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА В ПЕРВОЙ
ПОЛОВИНЕ 21 ВЕКА**

Канд. техн. наук В.И. Ли
Канд. геогр. наук В.П. Попова

Приведены результаты исследований уязвимости водных ресурсов Казахстана при антропогенном изменении климата. Изложена методика исследования. По результатам моделирования выявлено, что во второй половине 20 – начале 21 века существенных изменений естественного стока под влиянием климата не произошло. Исключение составляют только реки бассейна озера Балхаш, где сток за вторую половину рассматриваемого периода оказался несколько выше до 8...10 %, в основном за счет дополнительного поступления талых вод, образовавшихся в результате деградации горного оледенения.

Методика исследования

Для исследования возможной уязвимости водных ресурсов Казахстана вследствие антропогенных изменений климата в качестве методической основы использована усовершенствованная концептуальная математическая модель формирования стока, разработанная в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (КазНИГМИ) под руководством В.В. Голубцова [4, 5] для горных рек. В этой модели речной бассейн представлен в виде трех последовательно соединенных регулирующих емкостей, расположенных одна над другой и отождествляемых с поверхностным, почвенно-грунтовым и грунтовым стокообразованием, а также емкости, характеризующей стокообразование в пределах гидрографической сети. Модель включает описание отдельных элементарных воднобалансовых процессов (формирования снеготазов и поступления воды на поверхность бассейна, изменения влагозапасов, промерзания и оттаивания почвогрунтов, суммарного испарения, поверхностного, почвенно-грунтового и грунтового стокообразования, формирования притока к русловой сети и гидрографа стока в замыкающем створе), т.е. состоит из

нескольких частных моделей. В ее основу положены принципы, изложенные в работах [1, 2, 3, 6, 7]. Блок-схема модели приведена на рис. 1

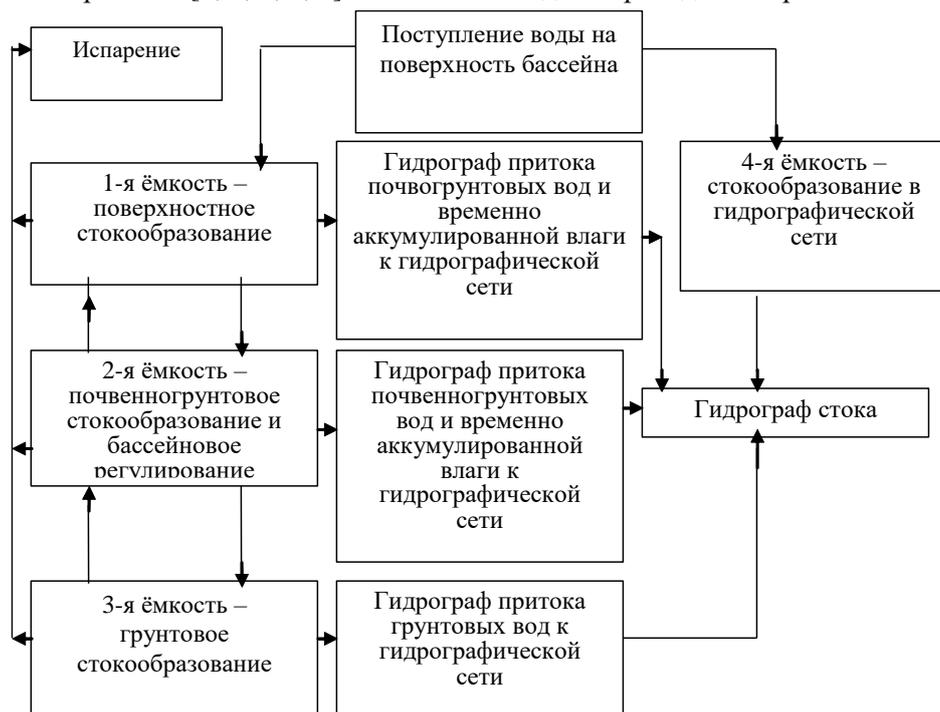


Рис. 1. – Общая структура модели формирования стока.

Особенностью модели, разработанной в КазНИГМИ, является то, что она позволяет даже при наличии ограниченной исходной информации моделировать сток с каждой высотной зоны, в том числе с различных ландшафтных частей бассейна и склонов различной экспозиции. Параметры модели принимаются в зависимости от высоты местности, уклона и экспозиции горных склонов, характера подстилающей поверхности (открытой, залесенной, ледниковой и т.д.).

В блоке формирования снеготпасов и поступления воды на поверхность бассейна учитываются термический режим, вид выпадающих атмосферных осадков, их пространственное изменение, динамика альбедо, плотность и водоудерживающая способность снежного покрова, покрытость снегом отдельных высотных зон, задержание осадков растительным покровом. В связи с недоучетом атмосферных осадков измерительными приборами в величины осадков вводятся суммарные поправки на смачивание, испарение, влияние скорости ветра. Расчет интенсивности снеготпа-

яния производится с помощью температурных коэффициентов. При переходе от неледниковой к ледниковой зоне учитывается температурный скачок – резкое уменьшение температуры воздуха, обусловленное наличием инверсионного слоя.

Блок изменения влагозапасов в почвогрунтах позволяет получать непосредственные характеристики увлажнения речных бассейнов, определяемые с помощью метода водного баланса. При этом динамика влагозапасов рассчитывается в зависимости от хода во времени атмосферных осадков и суммарного испарения с подстилающей поверхности. В свою очередь расчет суммарного испарения основан на учете изменения осадков и интенсивности истощения влагозапасов в зоне активного влагообмена, связанного с колебаниями температуры воздуха, нестационарностью процесса транспирации растительного покрова в течение вегетационного периода и агрогидрологическими свойствами слагающих бассейн почвогрунтов.

Моделирование глубин промерзания и оттаивания почвогрунтов основано на использовании зависимости этих характеристик от накопленных сумм отрицательных температур воздуха зимой и положительных в весенний период. При этом учитывается также влияние влажности почвогрунтов, высоты и плотности снежного покрова, поступление тепла с нижележащих слоев, солнечной радиации и талых вод.

Поверхностное стокообразование описывается разностью интенсивностей поступления воды на поверхность бассейна и ее инфильтрации в почву. Причем инфильтрация рассматривается как нестационарный процесс, поскольку на нее влияют промерзание и оттаивание почвогрунтов. Эта особенность модели реализуется с помощью инфильтрационного параметра, выраженного через его значение для талых почвогрунтов, относительные влагозапасы в метровом слое и разность между текущей и начальной мощностью слоя промерзания. Дополнительно учитываются интенсивности наполнения емкости начальных потерь, инфильтрации из бессточных понижений и поступления почвенно-грунтовых вод на поверхность бассейна в результате переполнения второй регулирующей емкости. Иначе говоря, принимаются во внимание потери воды до начала поверхностного стокообразования и после его завершения, а также выхода почвенно-грунтовых вод на дневную поверхность. Определение этих потерь связано соответственно с расчетами дефицитов влажности верхнего слоя почвогрунтов, поверхностной емкости, определение выхода почвен-

но-грунтовых вод – с расчетами потенциального и реального почво-грунтового стокообразования.

Моделирование почвенно-грунтового стокообразования производится по разности интенсивностей поступления воды во вторую регулируемую емкость из первой и инфильтрации из второй емкости в третью. Полученная таким образом величина почвенно-грунтового стокообразования является потенциальной. Реальное же почвенно-грунтовое стокообразование выражается через потенциальное и через текущий и максимальный дефициты гравитационной влаги во второй емкости.

Интенсивность грунтового стокообразования условно отождествляется с интенсивностью заполнения третьей регулирующей емкости. Она определяется как разность интенсивности инфильтрации из второй емкости в третью и интенсивности потерь влаги на наполнение статических запасов подземных вод. Из той части динамических запасов последних, которая не выклинивается в замыкающем створе.

Следующий этап моделирования формирования стока в бассейне связан с описанием процесса трансформации интенсивности стокообразования в гидрограф притока воды к гидрографической сети. В качестве приближенной характеристики притока к гидрографической сети принимается сток с элементарных бассейнов, склоновый сток которых концентрируется в одном хорошо выраженном русле. Площадь таких бассейнов может быть установлена в зависимости от густоты гидрографической сети.

Приток воды к гидрографической сети определяется с помощью моделей разработанных на основе решения дифференциального уравнения изменения во времени динамических запасов воды в бассейне. Это изменение представляет собой разность интенсивности стокообразования и интенсивности притока воды к гидрографической сети, причем между динамическими запасами и притоком грунтовых вод, по данным гидрогеологических исследований, существует линейная зависимость, а для поверхностного притока, согласно имеющимся материалам наблюдений, она существенно нелинейная. Поэтому в модели формирования стока, разработанной в КазНИГМИ, для трансформации интенсивности грунтового стокообразования в гидрограф притока к русловой сети принята линейная модель, для трансформации интенсивности поверхностного стокообразования в гидрограф поверхностного притока – нелинейная модель. Линейная зависимость между динамическими запасами воды в бассейне и

притоком к гидрографической сети положена также в основу модели трансформации интенсивности почвенногрунтового стокообразования в гидрограф притока почвенно-грунтовых вод.

В связи с представлением речного бассейна в виде системы последовательно соединенных емкостей интенсивность стокообразования трансформируется в гидрограф притока к гидрографической сети отдельно для каждой емкости. Общий приток к гидрографической сети вычисляется путем суммирования его составляющих, а приток со всего бассейна определяется как сумма значений, рассчитанных для высотных зон.

Основными входными данными для моделирования гидрографа стока являются суточные суммы осадков и средние суточные температуры воздуха на метеорологических станциях, расположенных в пределах бассейна Иле вблизи от него.

Дальнейшее усовершенствование описанной модели производилось с целью распространения возможности ее использования и для равнинных речных бассейнов. Для этого внесены дополнения в блок формирования снегозапасов и поступления воды на поверхность бассейна и в другие блоки, позволяющие моделировать процесс формирования стока с учетом не только высотной зональности физико-географических условий, но и их изменения в широтном и меридиональном направлениях. Кроме того, проведена адаптация модели для оценки уязвимости водных ресурсов с использованием сценариев потенциального антропогенного изменения климата.

Антропогенные изменения климата были приняты по сценариям A2 и B2. 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. Версия 4.1 данного комплекса содержит выходные данные Модели общей циркуляции Атмосферы и Океана. Было проведено сравнение результатов контрольных прогонов с климатическими данными по температуре воздуха за период 1961...2000 гг. и по количеству осадков за 1981...2000 гг. Всего, таким образом, для включения в комплекс MAGICC/SCENGEN было отобрано 17 моделей. Выходные данные моделей приведены к единой широтно-долготной сетке, пространственное разрешение которой составляет $5 \times 5^\circ$.

Из 17 моделей комплекса для построения сценариев климата Казахстана было выбрано 5 следующих моделей: CERF98 – модель центра CERFACS; CSI296 – модель, разработанная в Австралийской научно-индустриальной Организации; ECH498 – модель института Макса Планка, Германия; CSM_98 – модель центра NCAR, США; HAD300 – модель Хадлей-Центра, Великобритания. Последние две цифры в обозначении моделей указывают на год используемой версии модели. Выбор моделей осуществлен по значению коэффициента пространственной корреляции между наблюдаемыми и смоделированными значениями температуры приземного воздуха и количества осадков.

Просчитано изменение приземной температуры воздуха и осадков к 2030 и 2050 году при двух сценариях изменения концентрации парниковых газов A2 и B2 в среднем по 5 моделям.

Ограничения (объекты исследования уязвимости)

Оценка уязвимости водных ресурсов вследствие антропогенного изменения климата была проведена для девяти рек относящихся к пяти водохозяйственным бассейнам. Два из них равнинные – бассейны рек Тобол и Есиль. Бассейны рек Оба, Ульби, Иле, Каратал, Коксу, Арысь и Шаян – горные. Реки Иле, Каратал и Коксу относятся к рекам с ледниковым питанием.

Бассейн рек Оба и Ульби (Ертисский водохозяйственный бассейн) расположен в Рудном Алтае. Суммарная площадь водосбора рек Оба и Ульби составляет 14840 км². Высотные отметки изменяются в пределах 200...2600 м. Около 90 % площади водосбора располагается ниже высоты 1600 м. Общий уклон равен 220 ‰. Более 50 % площади занимают лесные массивы, состоящие в основном из хвойных пород деревьев. До 82 % леса сосредоточено в высотной зоне от 400 до 1600 м. Климат резко континентальный. Зимой температура воздуха может опускаться до минус 48 °С. Среднемесячная температура июля в предгорьях равна 20,2 °С. Количество атмосферных осадков изменяется с высотой местности. На высоте 200 м оно составляет 410 мм, на высоте 1600 м – 1220 мм. Преобладающая часть осадков, до 70 % от годовой суммы, выпадает в теплое время года. Около 60 % жидких осадков наряду с талыми водами участвует в формировании весеннего половодья, продолжающегося 3...4 месяца. В весеннее половодье проходит обычно 60...70 % годового стока. Речной сток используется в про-

мышленности, сельском и коммунальном хозяйстве. Однако доля используемых вод, как правило, не превышает 10 %.

Бассейн реки Тобол (Тобол-Тургайский водохозяйственный бассейн) расположен в Северном Казахстане. Площадь водосбора равна 13400 км². Высота местности изменяется в пределах 220...420 м. Средний уклон составляет 8,7 %. Около половины площади водосбора распаханно и используется в основном для выращивания зерновых культур. Климат в бассейне резко континентальный: лето жаркое и сухое, зима холодная и малоснежная. Размах колебаний температуры воздуха иногда превышает 80 °С. Среднемесячная температура воздуха в январе в среднем равна минус 16,5...17,0 °С. Максимальные температуры воздуха достигают 40 °С, минимальные – минус 40 °С. Средняя годовая температура воздуха 2,2...2,8 °С. Годовая сумма атмосферных осадков колеблется по территории в среднем от 250 до 400 мм. До 70...85 % осадков выпадает в теплый период года – с апреля по октябрь.

В водном режиме реки Тобол обычно резко выделяется волна весеннего половодья, с средней продолжительностью около месяца, однако в некоторые годы половодье бывает низким, сглаженным по форме. Доля его стока в годовом объеме достигает 80 % и более. В бассейне Тобола имеется множество прудов, малых водохранилищ, копаней, прудокопаней. Наибольшими искусственными водоемами являются Брединское и Желкуарское водохранилища. Речные воды используются для водоснабжения, орошения, водопоя скота. Водозаборы из реки и ее притоков в последнее десятилетие находятся на уровне 10...15 млн. м³ в год.

Бассейн р. Есиль (Есильский водохозяйственный бассейн), в основном, приходится на Акмолинскую, Кокшетаускую, Северо-Казахстанскую, а на юго-востоке вклинивается в Карагандинскую область. По устройству поверхности он представляет увалистую равнину с приречными мелкосопочниками, высота которых достигает 350 м. Отдельные сопки и увалы образующие небольшие горные кряжи сложены массивно-кристаллическими породами возвышаются до 700...800 м над уровнем моря.

На распаханых землях, кроме яровой пшеницы, выращивается озимая рожь, овес, ячмень, просо. Среди технических культур наибольшее распространение имеет подсолнечник. Орошаемые земли в Акмолинской области составляют около 30,5 тыс. га. Главной чертой климата рассматриваемого бассейна является его резкая континентальность, проявляющая-

яся в большой амплитуде колебаний температуры воздуха, сухости воздуха и незначительном количестве атмосферных осадков. Средняя многолетняя годовая температура воздуха в районе г. Астана равна 1,6 °С. Наиболее холодный месяц – январь. Средняя температура воздуха в январе составляет минус 16...17 °С. Абсолютные минимумы в отдельные годы достигают минус 50...51 °С (январь – февраль). Наиболее теплый месяц – июль, средняя температура которого колеблется от 19 до 21 °С. Абсолютные максимумы температуры достигают 40...43 °С. Устойчивый переход температуры воздуха через 0 °С весной наблюдается обычно во второй декаде апреля, осенью – в третьей декаде октября. Первые заморозки отмечаются в конце первой Иле во второй декаде сентября. Самые ранние из них приходятся на вторую и третью декаду августа, а наиболее поздние – на первую, реже на начало второй декады октября. Последние заморозки наблюдаются в промежуток времени со второй декады апреля до конца июля. В основном они наступают в конце второй, третьей декады мая. Продолжительность безморозного периода колеблется, в среднем, от 105 до 124 суток. Зимние оттепели бывают редко.

Бассейн р. Есиль располагается в зоне недостаточного увлажнения, годовая сумма осадков составляет около 350 мм. В течение года осадки распределяются очень неравномерно. На долю теплого периода года (апрель – октябрь) приходится 70...82 % от всех атмосферных осадков. Максимум обычно наблюдается в июле, минимум – в феврале-марте, но нередко бывает и в первые зимние месяцы (декабрь). Количество осадков сильно изменяется год от года. В самые влажные годы годовая сумма достигает 300 мм, а в засушливые – 130 мм.

Основное накопление снега происходит до января – начала февраля. Перед началом весеннего снеготаяния максимальные снеготаяния составляют 60...80 мм, а в многоснежные зимы более 100 мм.

Таяние снежного покрова обычно начинается при отрицательных дневных температур воздуха под воздействием прямой солнечной радиации. Сход устойчивого снежного покрова в среднем заканчивается во второй декаде апреля, сдвигаясь в ранние весны на конец марта, а затяжные – на май.

Основная фаза водного режима р. Есиль и ее притоков – весеннее половодье. Его продолжительность на р. Есиль составляет 75...100 суток, наибольшая – 130 суток, наименьшая – около 30 суток. Обычно весеннее

половодье начинается в конце первой, начале второй декады апреля и заканчивается во второй, третьей декадах мая.

Во время половодья уровень воды на р. Есиль поднимается на 2...3 м. В многоводные годы превышение максимальных весенних уровней над меженными в верховьях Есиля достигает 3 м, ниже г. Астана – от 5 до 9 м.

Бассейн р. Иле (Балхаш-Алакольский водохозяйственный бассейн) расположен на юго-востоке Республики Казахстан и в Синьцзян-Уйгурском автономном районе Китайской Народной Республики (КНР). Площадь водосбора р. Иле до створа плотины Капшагайского водохранилища 113 тыс. км². Около 76 % ее находится в пределах высот 1000...4000 м.

Площадь современного оледенения 1814 км². Более 90 % ее приходится на высоты до 4600 м. Область наибольшего распространения оледенения (1261 км²) – верховья бассейна р. Текес, левой составляющей р. Иле.

Климат Илейской впадины и низкогорных районов бассейна континентальный. Для него характерны большие суточные и годовые колебания температуры воздуха, холодная и малоснежная зима, жаркое и сухое лето. Самым теплым месяцем является июль. В Илейской впадине и предгорьях средняя многолетняя температура июля составляет 23,5...25,5 °С. На высотах 2500...3000 м она равна 7...10 °С. Абсолютный максимум температуры воздуха также изменяется с высотой от 42 °С в предгорьях до 20 °С в зоне ледников. Осадки неравномерно распределяются внутри года. Большая их часть, особенно в среднегорной зоне (70...75 %) и межгорных котловинах (80...85 %), приходится на теплый период года (апрель – октябрь). Максимальное количество осадков выпадает в мае Иле июне, реже в апреле Иле июле, а минимальное в сентябре, в низкогорных районах в августе. Наибольшая годовая сумма осадков наблюдается в высокогорных частях бассейнов рек Киши и Улькен Алматы, а также в районе горного узла Хан-Тенгри. Здесь она достигает 1000...1300 мм. В то же время в Илейской впадине, вблизи от границы Казахстана с КНР, эта сумма составляет только около 150 мм.

Горные районы являются зоной формирования речного стока, ресурсы которого составляют 29,09 км³/год, из них 12,95 км³/год приходится на казахстанскую часть бассейна р. Иле и 16,14 км³/год на сопредельную территорию КНР. Густота речной сети в большинстве высотных зон 0,2...0,3 км/км². Особенно хорошо она развита на склонах гор, обрамляющих бассейн с юга.

Река Иле образуется от слияния рек Текес и Кунгес, берущих начало с ледников Центрального Тянь-Шаня. Ее основными притоками в пределах Казахстана являются Шарын, Шилек, Коргас и Усек, на китайской территории – р. Каш.

В высокогорной зоне, у языков ледников и в приморенных понижениях, много озер. Размеры их небольшие. Некоторые озера (например, Большое Алматинское) образовались в результате тектонических провалов и естественного подпруживания водотоков. В предгорной зоне имеются пруды. Самым крупным искусственным водоемом является Капшагайское водохранилище.

Бассейн реки Каратал (Балхаш-Алакольский водохозяйственный бассейн) расположен на территории Алмаатинской области и состоит из ряда горных массивов и разделяющих их впадин. Наиболее глубокая из межгорных впадин, по которой протекает река Коксу, разделяет Джунгарский Алатау на Северный и Южный центральные хребты. В верховьях рек Коксу, в районе 80° в.д., обе части массива соединяются в единый горный узел – горы Конгоробо, образуя главный водораздел рек Джунгарского Алатау.

Характерной чертой рельефа является наличие плато – выровненных полого-волнистых форм. В высокогорных районах плато по долинам рек широкими лопастями вдаются в пределы скалистого альпийского рельефа. Периферийные части выровненных поверхностей часто расчленены глубокими эрозионными врезами.

Большинство ледников сосредоточено в бассейнах рек Коксу (136,5 км²) и Карой (71 км²). В верховьях Чиже имеются снежно-ледниковые образования (около 10 км²). Площадь активной зоны ледников связана с положением снеговой и фирновой линии. Снеговая линия (климатическая) изменяется в зависимости от экспозиции склонов, увлажненности и термического режима. В связи с этим, ее высота непостоянна как по территории, так и во времени. В наиболее теплые годы снеговая линия может быть намного выше фирновой.

Река Каратал образуется в результате слияния рек Кара, Чиже и Текели, берущих начало в центральных массивах Джунгарского Алатау на высоте 3500...4000 м. Бассейн реки Каратал до с. Каратальское расположен в диапазоне высоты 1000...3800 м. Площадь бассейна составляет 1160 км², причем 216,4 км² занято ледниками, средняя высота бассейна

равна 2400 м. Около 90 % площади расположено в диапазоне высот 1400...3400 м.

Густота речной сети в бассейне реки Каратал до с. Каратальское изменяется от 0,28 до 0,59 км/км², в среднем составляет 0,43 км/км². Уклоны склонов варьируют в пределах 111...296 ‰. Наибольшие уклоны в основном имеют склоны северной и восточной экспозиций. Средние значения уклонов для этих экспозиций соответственно равны 205 и 201 ‰. В то же время средний уклон склонов южной экспозиции – 179 ‰, а в западной – 143 ‰.

Около 83 % годового стока формируется в вегетационный период. Половодье на р. Каратал обычно начинается в первой декаде апреля. Максимум приходится на май – июль, когда происходит таяние сезонных запасов снега. Ход половодья связан с продвижением фронта снеготаяния по высотным зонам. В низкогорной и среднегорной зонах он определяется таянием сезонных снегов, в результате которого формируется первая волна половодья (апрель – июнь). В июле в процесс снеготаяния включается высокогорная зона. В это время основное питание река получает за счет таяния ледников и вечных снегов. При этом образуется вторая волна половодья (июль – август). В середине сентября начинается меженный период. Минимум стока наблюдается в феврале. Река Коксу является основным левым притоком реки Каратал. Свое название она получает после слияния двух примерно равных по водности рек Каракасык и Казан. Истоки ее находятся среди ледников.

Площадь водосбора реки Коксу до с. Коксу составляет 1590 км², средняя высота бассейна – 2760 м. Пост расположен в 500 м к северо-востоку от селения с. Коксу. Почти вся площадь водосбора р. Коксу до с. Коксу расположена выше 1200 м. Около 70 % площади приходится на высоты более 2500 м.

Средняя густота речной сети равна 0,94 км/км², наиболее развита речная сеть (более 1,0 км/км²) в диапазоне высот 1600...2600 м. Уклоны склонов по высотным зонам изменяются в широких пределах.

Ледники в бассейне реки Коксу встречаются на высотах более 3000 м, общая площадь оледенения составляет 140,3 км². По водному режиму р. Коксу сходна с р. Каратал.

Бассейн реки Арыс (Арало-Сырдарьинский водохозяйственный бассейн) расположен, в основном, на территории Южно-Казахстанской и Кызылординской областей. Река Арыс берет начало в уроч. Шокпак, пред-

ставляющем собой седловину между хребтами Таласский Алатау и Каратау. Исток реки образуется от слияния родников в 7 км выше с. Веселое. Площадь водосбора реки (14900 км²), длина (378 км). Для р. Арыс характерно общее западное направление течения, которое не изменяется на всем ее протяжении. Ее бассейн имеет языкообразную форму, уменьшаясь по ширине к устью реки. Южный водораздел проходит по Таласскому и Угамскому хребтам и горам Казыкурт. На севере линия водораздела пересекает в широтном направлении пустынно-степную зону, отделяя бассейн р. Боген. На северо-востоке и востоке бассейн р. Арыс граничит с бассейном р. Асса. Водоразделом служит хр. Каратау. На юго-западе и западе граница водораздела пролегает в начале по отрогам гор, а затем по полупустынной зоне правобережья р. Сырдарья.

Река Арыс протекает в трех основных ландшафтных зонах: горной – от истоков до устья р. Кок-Булак; предгорной – между устьями рек Кок-Булак и Бадам; равнинной – ниже устья р. Бадам. В горной зоне р. Арыс принимает значительное количество притоков. Это, главным образом, небольшие реки и ручьи родникового питания, стекающие с северных склонов Таласского хребта и гор Казыкурт. Наиболее крупный правый приток – р. Кок-Булак. В горных районах бассейна р. Арыс значительные площади искусственно орошаются водами реки и ее притоков.

Площадь водосбора реки Арыс до ж.-д. ст. Арыс составляет 13000 км², бассейн расположен в диапазоне высот 200...4200 м. Средняя высота бассейна равна 900 м. Около 85 % площади водосбора находится в диапазоне высот 200...1500 м.

Река Шаян впадает в р. Боген с правого берега на 117-ом км от устья. Основные ее правобережные притоки – Майбулак и Шаян-Курусай. Слева река принимает приток Акбет. Долина реки трапецеидальная. Ширина поймы изменяется от 300 до 500 м. Пойма заливается только в многоводные годы. Русло реки умеренно извилистое. Площадь водосбора до уроч. Майбулак составляет 485 км². Средняя высота 770 м. Бассейн расположен ниже 1200 м.

Оценка уязвимости водных ресурсов

Для оценки влияния потенциального антропогенного изменения климата на водные ресурсы Казахстана выполнены следующие виды работ:

- 1) проведена подготовка исходных данных, необходимых для использования в модели формирования стока, разработанной в КазНИГМИ;
- 2) определены параметры модели;

3) произведены численные эксперименты на модели для исследуемых бассейнов;

4) получена оценка уязвимости водных ресурсов в бассейне рек Обы, Ульби, Тобол, Есиль, Иле, Каратал, Коксу, Арыс и Шаян по заданным сценариям изменения климата.

Подготовка исходных данных включала сбор, анализ и занесение на носители информации о среднесуточных температурах воздуха, суточных суммах осадков, влажности, промерзания и оттаивания почвогрунтов на метеорологических станциях, расположенных в пределах и вблизи исследуемых бассейнов, а также о стоке в замыкающих створах рек.

Полученные данные позволяют считать, что в бассейне реки Тобол относительные изменения стока, обусловленные водохозяйственной деятельностью на современном этапе достаточно существенны, что вызывает дополнительные трудности при проведении оценки влияния потенциального изменения климата на водные ресурсы.

Определение параметров модели производилось на основе упомянутых выше гидрометеорологических данных. Привлекались также материалы наблюдений Лениногорской воднобалансовой станции. По крупномасштабным картам получены гидрографические и гипсометрические характеристики бассейнов рек.

Численные эксперименты на модели производились с целью проверки точности результатов расчетов. Для этого рассчитанные с помощью модели гидрографы стока сопоставлялись с фактическими. В большинстве случаев совпадение рассчитанных и фактических гидрографов оказалось достаточно удовлетворительным. Это видно, в частности, из рис. 2, 3 где приведено сопоставление рассчитанного и фактического гидрографов суммарного стока рек Оба и Ульби (горный бассейн) за 2004 год и реки Тобол (равнинный бассейн) за 2005 год. Встречающиеся в некоторые годы расхождения связаны в основном с пятнистостью выпадения осадков и ограниченностью исходной гидрометеорологической информации. Так, в бассейне Обы и Ульби метеорологические станции расположены лишь в низкогорной зоне и не всегда репрезентативны в отношении осадков в других высотных зонах. Однако это обстоятельство, существенно отражающееся иногда на суточных расходах воды, оказывает все меньшее влияние на точность расчетов с увеличением расчетного интервала времени. В целом результаты численных экспериментов позволяют сделать вы-

вод о возможности использования модели формирования стока, разработанной в КазНИГМИ, для оценки водных ресурсов, особенно для горных районов, где влияние на сток хозяйственной деятельности в настоящее время еще относительно невелико.

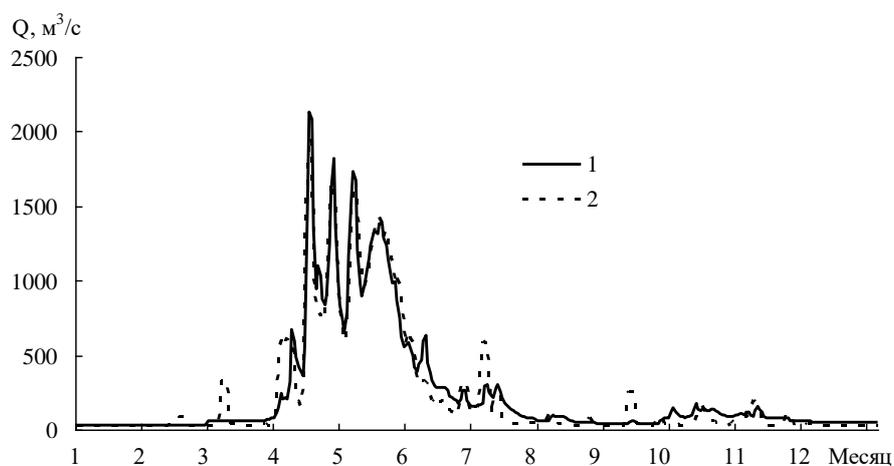


Рис. 2. Сопоставление измеренного и моделированного гидрографа суммарного стока рр. Оба и Ульби (2004 г.). 1 – измеренный гидрограф, 2 – моделированный гидрограф.

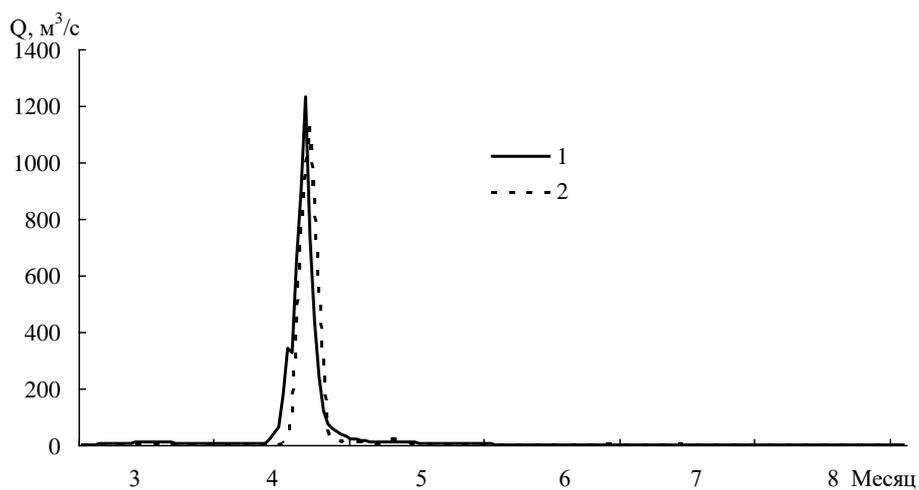


Рис. 3. Сопоставление измеренного и моделированного гидрографа стока р. Тобол (2005 г.). 1 – измеренный гидрограф, 2 – моделированный гидрограф.

В табл. 1 приведен перечень метеостанций по данным, которых проводилось моделирование стока.

Перечень метеорологических станций, используемых при расчетах по модели формирования стока рек

Река	Метеостанция	Высота, м
Ертысский водохозяйственный бассейн		
Оба+Ульби	Лениногорск	809
	Усть-Каменогорск	285
	Шемонаиха	329
Тобол-Тургайский водохозяйственный бассейн		
Тобол	Бреды	310
	Джетыгора	279
Есильский водохозяйственный бассейн		
Есиль	Астана	349
	Аршалы (Вишневка)	426
	Акколь (Алексеевка)	
	Жалтыр	304
Балхаш-Алакольский водохозяйственный бассейн		
Иле	Мынжилки	3017
	Ассы	2216
	Кегень	1845
	Нарынкол	1806
	Подгорное	1273
Каратал	Текели	1722
	Талды-Корган	601
	Кугалы	1410
Коксу	Текели	1722
	Талды-Корган	601
	Кугалы	1410
Арало-Сырдарьинский водохозяйственный бассейн		
Арыс	Тасарык (Блинково)	1122
	Т. Рыскулова (Ванновка)	899
	Шымкент	543
Шаян	Шаян	366

В табл. 2 приведены отклонения ресурсов при антропогенном изменении климата и значений естественных ресурсов в бассейнах рек и на перспективу 30 и 50 лет.

Таблица 2

Сопоставление отклонений годового моделированного стока (сценарии А2 и В2) от его измеренных значений (ΔW , %) и отклонений осадков (ΔX , %) и температуры воздуха (ΔT , °С)

Река	ΔW , %		ΔX , %		ΔT °С	
	А2	В2	А2	В2	А2	В2
Период 30 лет						
Оба+Ульби	16,0	9,88	1,6	4,67	1,29	1,51
Тобол	-10,3	-6,05	1,22	3,24	1,25	1,61
Есиль	-7,02	-6,76	1,35	4,57	1,24	1,52
Иле	14,2	12,3	2,01	4,01	1,19	1,59
Каратал	16,6	9,26	0,02	0,85	1,29	1,59
Коксу	22,5	9,25	0,02	0,85	1,29	1,59
Арыс	0,75	-1,95	2,86	1,85	1,31	1,72
Шаян	4,54	2,50	2,86	1,85	1,31	1,72
Период 50 лет						
Оба+Ульби	5,72	3,17	3,95	18,8	2,47	2,38
Тобол	-4,38	-8,48	2,99	4,87	2,41	2,51
Есиль	-7,82	-7,96	3,79	6,88	2,41	2,40
Арыс	1,29	-7,25	3,14	2,11	2,48	2,64
Шаян	12,7	-19,5	3,14	2,11	2,48	2,64

Данные табл. 2 показывают, что если изменения климата на перспективу 30 лет будут происходить в соответствии со сценарием А2, то водные ресурсы в горных бассейнах Казахстана увеличатся, в среднем от 0,75 %... 4,54 % в бассейнах рек Арыс и Шаян до 14,0...22,5 % в бассейнах рек Иле, Оба, Ульби, Каратал и Коксу. В равнинных же бассейнах рек Есиль и Тобол они уменьшатся соответственно на 7,02 % и 10,3 %. Как видно сценарий В2 более «жесткий». Согласно этому сценарию увеличение стока в горных районах будет меньше и будет изменяться в пределах от 2,5 % в бассейне р. Шаян до 12,3 % – 9,25 % в бассейнах рек Иле, Оба, Ульби, Каратал и Коксу. В бассейне р. Арыс он также уменьшится, но на незначительную величину – 1,95 %. Следует отметить, что сценарий В2 более «жесткий» для горных районов, а для равнинных бассейнов он более «мягкий». Так в бассейнах рек Есиль и Тобол уменьшение ресурсов будет составлять, соответственно, 6,05 % и 6,76 %.

Следует отметить, что во всех вариантах и сценариях осадки и температуры увеличиваются. В горных районах за счет увеличения зимних осадков (особенно в основных стокообразующих зонах бассейнов) увеличиваются значения снеготпасов, 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.

Данные табл. 2 также показывают, что 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 1,29 % – 12,7 % в бассейнах рек Арыс и Шаян до 5,72 % в бассейнах рек Оба, Ульби. В равнинных же бассейнах рек Есиль и Тобол они уменьшатся соответственно на 7,82 % и 4,38 %. Как видно из таблицы сценарий В2 более «жесткий». Согласно этому сценарию увеличения стока в горных районах не будет, он уменьшится в пределах от 7,25 % до 19,5 % в бассейне рек Арыс и Шаян и только в бассейнах рек Оба, Ульби сток незначительно увеличится на 3,17 %. Следует отметить, что сценарий В2 на перспективу до 50 лет более «жесткий» и для равнинных бассейнов так в бассейнах рек Есиль и Тобол уменьшение ресурсов будет составлять, соответственно – 7,96 % и 8,48 %.

В разные по водности годы результаты оценки уязвимости водных ресурсов оказались следующими. По сценариям изменения климата А2 и В2, независимо от водности года изменение водных ресурсов имеет ту же тенденцию, что и в среднем за весь многолетний период.

На рис. 4 и 5, в качестве примера, приведены графики внутригодового хода измеренных и моделированных (сценарии А2 и В2) величин стока рек рр. Оба и Ульби.

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.

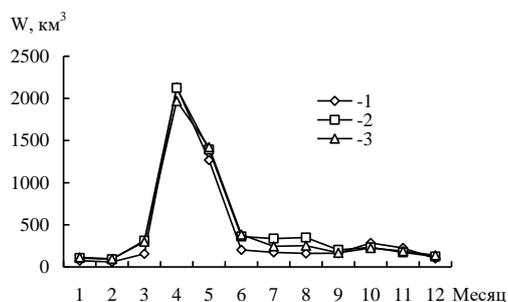


Рис. 4. График сопоставления внутригодового хода среднееголетних измеренных и моделированных величин суммарного стока рр. Оба и Ульби (период – 30 лет). 1 – измеренный сток; 2 – моделированный сток по сценарию А2; 3 – моделированный сток по сценарию В2.

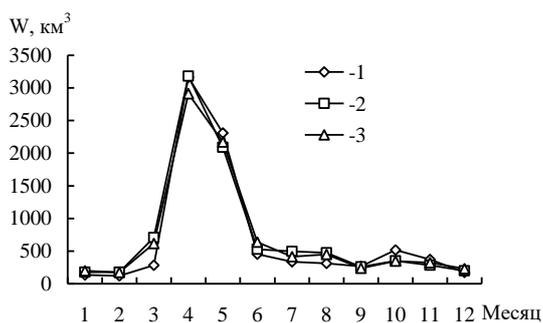


Рис. 5. График сопоставления внутригодового хода среднееголетних измеренных и моделированных величин суммарного стока р.р. Оба и Ульби (период – 50 лет). 1 – измеренный сток, 2 – моделированный сток по сценарию А2, 3 – моделированный сток по сценарию В2.

Выводы

- 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 1...5 % до 14...22 %. В равнинных же бассейнах рек они уменьшатся соответственно на 7...10 %.
- Согласно сценарию В2 на перспективу до 30 лет увеличение стока в горных районах будет меньше и будет изменяться в пределах от 2 % до 9 ...12 %. В бассейне р. Арысь он также уменьшится, но на незначительную величину около 2 %. Сценарий В2 более «жесткий» для горных районов, а для равнинных бассейнов он более

«мягкий», так в бассейнах равнинных рек уменьшение ресурсов будет составлять 6...7 %.

- 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 % до 12 %. В равнинных же бассейнах рек уменьшатся на 4...8 %.
- 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 % до 20 % и только в бассейнах рек Оба, Ульби сток незначительно увеличится на 3 %. Сценарий В2 более «жесткий» и для равнинных бассейнов так в этих бассейнах уменьшение ресурсов будет изменяться от 8 % до 9 %.
- 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.
- Во всех вариантах и сценариях осадки и температуры увеличиваются. В горных районах за счет увеличения зимних осадков (особенно в основных стокообразующих зонах бассейнов) увеличиваются значения снеготпасов, 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Важнов А.Н. Анализ и прогноз стока рек Кавказа. – М.: Гидрометеоздат, 1966. – 274 с.
3. Виноградов Ю.Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана. // Тр. КазНИГМИ. – 1967. – Вып. 28. – 262 с.
4. Голубцов В.В. О построении математической модели формирования стока в горном бассейне. // Тр. КазНИГМИ. – 1975. – Вып. 48. – С. 3-25.
5. 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.
6. Комаров В.Д. Весенний сток равнинных рек Европейской части СССР, условия его формирования и методы прогноза. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 295 с.
7. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.: Гидрометеоздат, 1963. – 395 с.

РГП «Казгидромет», г. Алматы

ҚАЗАҚСТАННЫҢ АНТРОПОГЕНДІК ӨЗГЕРІС КЛИМАТЫ КЕЗІНДЕ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ СЕЗІМТАЛДЫҒЫН БАҒАЛАУ

Техн. ғылымд. канд. В.И. Ли
Геогр. ғылымд. канд. В.П. Попова

Қазақстанның антропогендік өзгеріс климаты кезінде су ресурстарын тексеру нәтижесі көрсетілген. Зерттеу әдісіне сүйенген. 20 ғасырдың екінші жартысында 21 ғасыр басында пайда болған өзгерісі табиғи ағындының климат әсерінен еместігі анықталады. Екінші жартысында қарастырылып отырылған кезеңінен ағынды 8-10 %-ға дейін бірнеше жоғары болып қалды, негізінен қосымша еріген сулары есебі үшін, таулы мұздану дағдарысы нәтижесінде пайда болған, бұл тек Балқаш көлі алабының өзендерінде ғана құралады.