

УДК 556.18.004.14

**ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА
ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА НА
ПЕРСПЕКТИВУ ДО 2035 ГОДА**

Канд. техн. наук В.И. Ли
А.О. Домран
А.В. Линейцева

Приведены результаты исследований уязвимости водных ресурсов Казахстана при антропогенном изменении климата. По результатам моделирования выявлено, что в начале 21 века водные ресурсы в целом по Казахстану увеличатся. Исключение составляют равнинные реки Западного Казахстана, Казахского мелкосопочника, где увеличение стока более значительно, а также реки горно-ледниковых бассейнов, сток которых за рассматриваемый период несколько выше, в основном за счет дополнительного поступления талых вод, образовавшихся в результате деградации горного оледенения.

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 [1, 2, 3 и др.] для горных рек. В ее основу положены принципы, изложенные в работах [4, 5, 6, 7, 8].

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. Блок-схема модели приведена на рисунке.

В настоящем проекте были продолжены исследования, проведенные в рамках второго национального сообщения [9].

В проекте были использованы другие модели глобального климата с более высоким разрешением и проведена адаптация модели формирования гидрографа стока для оценки уязвимости водных ресурсов с использованием новых сценариев потенциального антропогенного изменения климата.

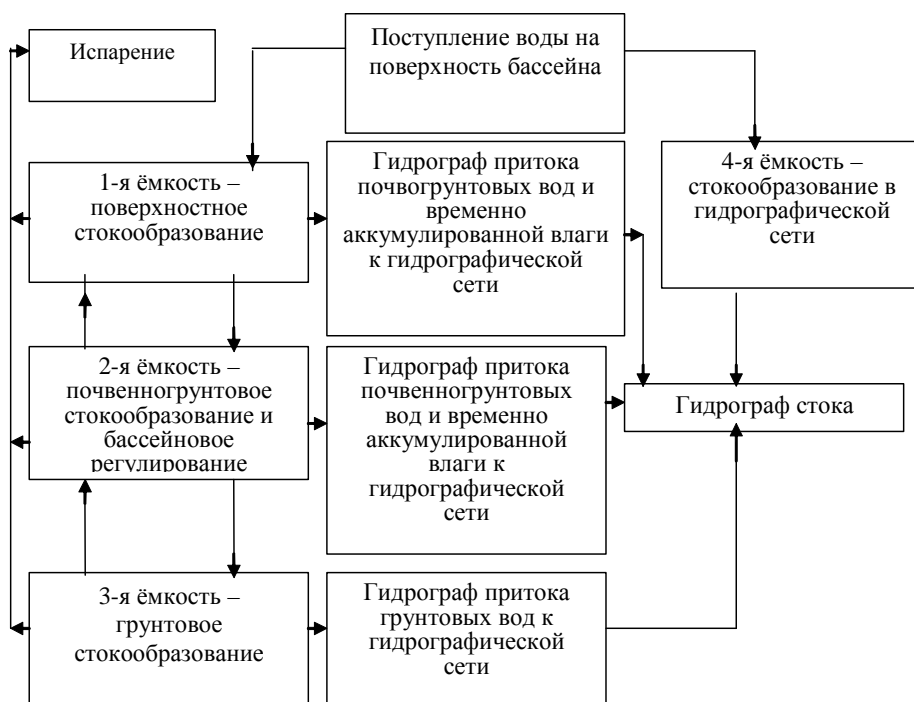


Рис. – Общая структура модели формирования стока.

Антропогенные изменения климата были приняты по сценариям А2 и В1. В качестве исходных данных для оценки будущих изменений в количестве осадков использованы выходные данные глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) нового поколения (CMIP3 – Coupled model intercomparison project – Проект сравнения объединенных моделей (общей циркуляции атмосферы и океана)).

Расчёты были проведены с использованием программного комплекса MAGICC/SCENGEN (Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change/SCENario GENERator, version 5.3.v2) по данным ансамбля из 9 моделей. Это модели, разработанные в Канаде (CGCM3.1(T47)), Австралии (CSIRO-Mk3.0), Германии (ECHAM5 /MPI-OM), США (GFDL-CM2.0 и GFDL-CM2.1), Японии (MIROC3.2med и MRI-CGCM2.3.2), Великобритании (UKMO-HadCM3) и совместная модель Германия/Северная Корея (ECHO-G).

Будущие изменения в количестве осадков и температуры воздуха рассматриваются для двух сценариев SRES («Special report on emission scenarios» – Специальный доклад МГЭИК о сценариях выбросов): А2 и В1 (Nakicenovic et al., 2000) и для трёх временных периодов: 2006...2035 гг.,

2016...2045 гг., 2036...2065 гг. 21 века, осредненных за 30 лет по отношению к базовому климатическому периоду 1980...1999 гг.

Выходные данные моделей приведены к единой широтно-долготной сетке, пространственное разрешение которой составляет $2,5 \times 2,5^\circ$.

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 2035 году при двух сценариях изменения концентрации парниковых газов A2 и B1.

Оценка уязвимости водных ресурсов вследствие антропогенного изменения климата была проведена для четырнадцати бассейнов рек, относящихся к восьми водохозяйственным бассейнам. Пять из них равнинные – бассейны рек Тобол, Ишим, Нура, Сарысу и Урал. Бассейны рек Уба, Ульба, Или, Каратал, Коксу, Арысь, Шаян, Нура, Сарысу, Шу и Талас – горные. Реки Или, Каратал, Коксу, Шу и Талас относятся к рекам с ледниковым питанием [10...16].

Следует отметить моделирование стока рек Урал, Шу, Талас, Нура, Сарысу осуществлялось другим способом. В основе расчета по этому способу лежит использование среднемноголетнего коэффициента стока и среднемноголетних сумм осадков по метеостанциям, расположенным в бассейнах этих рек.

Бассейн рек Уба и Ульба (Иртышский водохозяйственный бассейн) расположен в Рудном Алтае. Суммарная площадь водосбора рек Уба и Ульба составляет 14840 км^2 . 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 -48°C . Среднемесячная температура июля в предгорьях равна $20,2^\circ\text{C}$. 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, продолжаю-

щегося 3...4 месяца. В весеннее половодье проходит обычно 60...70 % годового стока. Речной сток используется в промышленности, 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 -16,5...-17,0 °С. Максимальные температуры воздуха достигают 40 °С, минимальные – -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. Ишим (Ишимский 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, проявляющаяся в большой амплитуде колебаний температуры воздуха, сухости воздуха и незначительном количестве атмосферных осадков. Средняя многолетняя годовая температура воздуха в районе г. Астаны 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 или во второй декаде сентября. Самые ранние из них приходится на вторую – 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. Ишим 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 снеготопасы составляют 60...80 мм, а в многоснежные зимы более 100 мм.

Таяние снежного покрова обычно начинается при отрицательных дневных температурах 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. Ишим и ее притоков – весеннее половодье. Его продолжительность на р. Ишим 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. Ишим поднимается на 2...3 м. В многоводные годы превышение максимальных весенних уровней над меженными в верховьях Ишима достигает 3 м, ниже г. Астаны – от 5 до 9 м.

Бассейн р. Или (Балхаш-Алакольский водохозяйственный бассейн) расположен на юго-востоке Республики Казахстан и в Синьцзян-Уйгурском автономном районе Китайской Народной Республики (КНР). Площадь водосбора р. Или 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. Или.

Климат Илийской 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 Илийской 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 или июне, реже – в апреле или июле, а минимальное – в сентябре, в низкогорных районах – в августе.

Наибольшая годовая сумма осадков наблюдается в высокогорных частях бассейнов рек Малой и Большой Алматинок, а также в районе горного узла Хан-Тенгри. Здесь она достигает 1000...1300 мм. В то же время в Илийской 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. Или 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 Или образуется от слияния рек Текес и Кунгес, берущих начало с ледников Центрального Тянь-Шаня. Ее основными притоками в пределах Казахстана являются Шарын, Шилик, Хоргос 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 реки 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.

Уклоны и густота речной сети в бассейне реки Каратал до с. Каратальское изменяется от 0,28 до 0,59 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. 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. Каратау.

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

Основным водотоком Урало-Каспийского водохозяйственного бассейна является *р. Урал*, своей средней и нижней частью, располагающийся на территории бассейна. Длина ее составляет 2428 км, а площадь водосбора – 231000 км².

В среднем течении река принимает множество левобережных притоков, основными из которых являются реки Илек и Орь. Руслу рек хорошо разработаны, ширина их до 40...60 м. Низовья рек Илека и Утвы изобилуют песчано-гравелистыми осередками, отмелями и косами. Через Прикаспийскую низменность р. Урал течет, не получая дополнительного питания и теряя на пути к морю часть своих вод на испарение. Пойма р. Урал в нижнем течении переходит в морскую террасу.

Гидрографическая сеть наиболее развита в пределах бассейна в районе Общего Сырта. С западной части Общего Сырта на юг стекают реки Чижа-1, Чижа-2, Большой и Малый Узень и другие. Все они слепо заканчиваются в Прикаспийской низменности, образуя внизу разливы, системы озер и соров. Наиболее крупные из этих рек Большой Узень и Малый Узень – стекают в Камыш-Самарские озера.

Реки Подуральского плато, впадающие в р. Урал ниже г. Уральска, представлены двумя маловодными притоками Барбастау и Солянка. Реки имеют слабо развитые долины.

Основными реками Шу-Таласского водохозяйственного бассейна являются *реки Шу и Талас*. Общая протяженность рек Шуйского и Таласского бассейнов составляет 38 500 км, густота речной сети – в среднем 0,45 км/км², уклоны колеблются в широких пределах (2...200 ‰). Главной рекой является р. Шу с площадью бассейна (включая бессточные области в низовьях) 67 500 км².

Река Шу берет начало из снежников и ледников высокогорных хребтов Тянь-Шаня на территории Киргизии. Она образуется от слияния двух ветвей: правой – Караходжура, левой – Качкор. Выйдя из Оротокойского ущелья, где воды собираются в водохранилище, Шу вступает в котловину озера Иссык-Куль. Далее река прорезает хребет Кунгей-Алатау в узком Боамском ущелье и течет по равнине, являясь границей Казахстана и Киргизии. Ниже с. Благовещенского она уже целиком протекает по территории Казахстана, принимая, справа ряд небольших притоков (Каракуруз, Кокпатас, Черная речка и др.), стекающих с юго-западных склонов Шу-Илийских гор. На границе с Моин-

кумами в р. Шу впадает последний приток – р. Курагаты, который доходит до нее только в период половодья. Ниже впадения Курагаты река поворачивает на северо-запад, течение ее замедляется, она разделяется на протоки, рукава и образует обширные разливы (Гуляевские, Камкалинские) с многочисленными старицами, озерами, заболоченными участками, покрытыми густыми зарослями тростника. В годы с высоким паводком р. Шу, наполняя водой Камкалинскую группу озер, протекает дальше; в годы с небольшим паводком длина реки сокращается на сто и более километров, в низовьях русло ее остается сухим – оно обрывается среди песчаных барханов недалеко от солончака Ащиккуль (в пределах Кзыл-Ординской области).

Общая длина р. Шу (вместе с. Караходжуром) около 1100 км; площадь бассейна – 148 тыс. км². По территории Джамбульской области она течет на протяжении почти 500 км; ширина ее от 40 до 100 м, в низовьях – 10...50 м. Шу относится к рекам со смешанным типом питания. Но поскольку главную роль в образовании стока играют горные снега и ледники, паводок ее приходится на весенне-летние месяцы.

Река Талас берет начало на седловине между Таласским Алатау и Киргизским хребтом; исток ее называется Ушкаррой. На территорию Казахстана р. Талас прорывается через ущелье Капка, между горами Ичкелетау и Актау, на предгорной равнине он образует мощный конус выноса, сложенный галечниковыми, песчаными и суглинистыми отложениями. В районе г. Тараз из него веерообразно выведены оросительные каналы. Далее к северу основное русло Таласа приближается к долине реки Ассы. У нижнего края конуса выноса он подпитывается грунтовыми (карасучными водами). По мере продвижения на север водность реки уменьшается вследствие интенсивного использования воды для орошения. В 30...35 км севернее г. Тараз Талас поворачивает на северо-запад и течет в этом направлении до Учаральских разливов, где разветвляется на многочисленные рукава, образуя озера и заболоченные участки, заросшие тростником. Нижнее течение его проходит по пескам Моинкум, где он, теряя много воды на фильтрацию и испарение, исчезает в песках – примерно в 220 км от г. Тараза. Дальше прослеживается лишь сухое русло, покрытое мелкой галькой. Только в многоводные годы река заполняет русло, дотекая до озера Казоты в

группе Каракульских озер. Длина реки 661 км, по территории Казахстана 453 км, площадь водосбора 52,7 тыс. км².

Основное питание р. Талас получает от таяния высокогорных снежников и ледников. Кроме того, в ее питании участвуют талые воды равнинных снегов, дожди, а в низовьях – грунтовые воды.

Нура-Сарысуйский водохозяйственный бассейн расположен большей своей частью на Центрально-Казахстанском мелкосопочнике (Сары-Арка). Южная часть бассейна располагается на пустынном плато Бетпак-Дала. В западной части водоразделом являются горы Улутау, высотой до 1135 м, а на востоке – низкогорный массив Каркаралы-Актау и Бугылы.

Современный рельеф Центрально-Казахстанского мелкосопочника представляет собой равнину с останцевыми горами и сопками. Наличие низкогорного рельефа в восточной и западной частях территории, понижение местности в целом на запад и юг определяют основное направление стока рек от центра к окраинным частям.

На юго-востоке склоны горного массива Каркаралы-Актау круто обрываются, переходя в плато Северного Прибалхашья. Рельеф здесь преимущественно ровный, с редко встречающимися небольшими возвышенностями и обособленными холмами.

Преобладающим рельефом на плато Бетпак-Дала, является плоская равнина, над поверхностью которой поднимаются невысокие глинистые увалы.

Бассейн не отличается большим разнообразием природных ландшафтов. С севера на юг здесь последовательно сменяются три зоны: засушливая (степь), полусухая (полупустыня) и сухая (северная пустыня).

Территория Нура-Сарысуйского бассейна включает бассейны рек Нура и Сарысу, озер Тенгиз и Карасор. Водные ресурсы бассейна не велики и составляют 4,59 км³. Для увеличения водных ресурсов был построен канал Иртыш – Караганда (ныне канал им. Сатпаева), доля которого при проектной загрузке может составить около 18 % общих ресурсов. На долю подземных вод приходится около 25 %, остальные водные ресурсы состоят из запасов воды в озерах (20 %), в водохранилищах (4 %) и на долю русловых запасов воды приходится 33 %.

Самая крупная река бассейна – Нура, берет свое начало с западных отрогов гор Кызылтас и впадает в озеро Тенгиз. Длина реки состав-

ляет 978 км, площадь водосбора – 58,1 км². Основными притоками р. Нуры являются реки Шерубайнура, Улькенкундызды и Акбастау.

Река Сарысу берет начало двумя ветвями Жаксы-Сарысу и Жаман-Сарысу со склонов гор Бугылы и Актау на высоте 700...900 м. Устье реки – оз. Телеколь. Название составляющих отражают качество их вод, воды Жаман-Сарысу соленые, а Жаксы-Сарысу менее минерализованные. Общая длина реки 761 км, площадь водосбора 81600 км². Средняя высота водосбора 490 м. Основной приток – р. Кара-Кенгир.

В бассейне р. Сарысу на 1 км² в среднем приходится 0,1 км речной сети, а в верхней части водосбора густота увеличивается в 2...3 раза. Средняя густота гидрографической сети составляет приблизительно 0,08 км/км². В южных районах постоянно действующих водотоков нет.

Для бассейна характерно наличие обширных приводораздельных плато. Весенний сток на приводораздельных пространствах рек Сарысу и Кара-Кенгир аккумулируется в озерах и небольших микропонижениях.

Озерность речных бассейнов незначительна, в бассейне р. Сарысу – около 0,5 % территории. Регулирующего влияния на сток озера не оказывают. Залесенность бассейнов настолько мала, что не оказывает существенного влияния на их сток.

Река Сарысу и ее притоки являются типично равнинными водотоками. Форма речных долин и морфометрические характеристики русел рек изменяются по их длине. Ширина долин в верховьях рек и временных водотоков изменяется от нескольких десятков или сотен метров, а в низовьях рек – до нескольких километров. Ширина долины р. Сарысу достигает 5...10 км.

Значительная часть рек имеет хорошо выраженную надпойменную террасу. Пойма развита преимущественно в нижних течениях. Поймы рек в основном двухсторонние. У р. Сарысу и р. Кара-Кенгир поверхность поймы изобилует промоинами и задернованными западинами, часто затопляемыми водой. Растительность пойм преимущественно луговая. В среднем и нижнем течении р. Сарысу затопляемое дно долины сложено песчаными грунтами с разреженной растительностью.

Русла рек умеренно извилистые. Характерной чертой строения русел является хорошо выраженное чередование плесов и перекаатов в среднем и нижнем течении. Для р. Сарысу от истока к устью характерно увеличение мощности песчано-галечного материала, слагающего русло. Нижний участок реки представляет собой конус выноса аллювиальных отложений, аккумулирующий весь сток.

Естественный режим рек бассейна нарушен действием временных земляных плотин, периодически сооружаемых на реках.

В бассейне р. Сарысу насчитывается 20 озер и водохранилищ суммарной площадью 231 км². Озера мелководные, соленые и большей частью, пересыхающие к концу лета. Озерные котловины в большинстве случаев круглые или вытянутые по направлению русла основного питающего их водотока.

Территория бассейна относится к зоне недостаточного увлажнения. Реки бассейна относятся к Казахстанскому типу. Этот тип характеризуется однопиковым гидрографом малой продолжительности (1...1,5 месяца). В период весеннего половодья по рекам проходит до 90 % годового стока, остальные 10 % стока приходятся на период летне-осенне-зимней межени. Следует отметить, что по некоторым рекам в меженный период наблюдается полное отсутствие стока.

На территории Нура-Сарысуйского бассейна расположены около 2000 озер и более 400 искусственных водоемов, большая часть которых находится в бассейнах рек Нура и Каркаралинка.

Характерной особенностью гидрографии является редкая речная сеть и относительно большое количество временных водотоков, имеющих сток только в период весеннего снеготаяния. Многие небольшие озерные чаши бывают заполнены только в короткий период после весеннего половодья.

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 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 бассейнах рек Убы, Ульбы, Тобола, Ишима, Или, Каратала, Коксу, Арыси, Шаяна, Урала, Нуры, Сарысу, Шу и Таласа 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.

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.

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

Таблица 1

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

Река	Метеостанция	Высота, м
Иртышский водохозяйственный бассейн		
	Лениногорск	809
Уба+Ульба	Усть-Каменогорск	285
	Шемонаиха	329
Тобол-Тургайский водохозяйственный бассейн		
Тобол	Бреды	310
	Джетыгора	279
Ишимский водохозяйственный бассейн		
	Астана	349
Ишим	Аршалы (Вишневка)	426
	Акколь (Алексеевка)	383
	Жалтыр	304
Балхаш-Алакольский водохозяйственный бассейн		
Или	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		
Арысь	Тасарык (Блинково)	1122
	Т. Рыскулова (Ванновка)	899
	Шымкент	543
Шаян	Шаян	366

Река	Метеостанция	Высота, м
Урало-Каспийский водохозяйственный бассейн		
Урал	Уральск	35
Шу-Таласский водохозяйственный бассейн		
Шу	Бишкек	756
Талас	Талас	1217
Нура-Сарысуйский водохозяйственный бассейн		
Нура	Караганда	554
Сарысу	Кызылжар	361

В табл. 2 приведены отклонения ресурсов при антропогенном изменении климата и значений естественных ресурсов в бассейнах рек и на перспективу до 2035.

Таблица 2

Сопоставление отклонений годового моделированного стока (сценарии А2 и В1) от его измеренных значений (ΔW , %) и отклонений осадков (ΔX , %) и температуры воздуха (ΔT , °С)

Река	ΔW , %		ΔX , %		ΔT °С	
	А2	В1	А2	В1	А2	В1
Период до 2035 года						
Уба+Ульба	2,0	5,2	2,26	5,31	1,22	1,37
Тобол	7,1	5,4	3,35	4,74	1,31	1,64
Ишим	0,3	2,6	1,68	4,25	1,29	1,49
Или	9,0	15,2	2,55	2,78	1,18	1,55
Каратал	10,9	11,3	1,9	2,36	1,17	1,55
Коксу	10,5	11,2	1,9	2,36	1,17	1,55
Арысь	6,2	-7,3	5,41	3,77	1,29	1,65
Шаян	12,5	4,2	5,65	4,77	1,23	1,55
Урал	15,0	10,0	6,0	2,0	0,98	0,86
Шу	14,9	14,5	7,14	6,74	2,6	2,0
Талас	10,1	9,8	6,59	6,2	2,5	2,0
Нура	13,6	13,0	7,44	6,88	2,9	2,1
Сарысу	8,81	6,59	9,58	7,35	2,8	2,1

Данные табл. 2 показывают, что если изменения климата на перспективу до 2035 лет будут происходить в соответствии со **сценарием А2**, то водные ресурсы в целом по Казахстану увеличатся. На востоке РК это увеличение не значительно и составит около 2 % (горные бассейны рек Уба и Ульба). На севере республики в бассейне р. Ишим увеличения практически не будет, а в бассейне р. Тобол оно составит – 7,1 % (бассейны рек Ишим и Тобол равнинные). На юго-востоке Казахстана изменения водных ресурсов будут колебаться в пределах 9,0...10,9 % для бассейнов

рек Или, Коксу и Каратал (бассейны горные с ледниковым питанием). На юге республики изменения будут происходить в основном в пределах 6,2...12,5 % для бассейнов рек Арысь и Шаян (горные бассейны) и 14,9...10,1 % для бассейнов рек Шу и Талас (горные бассейны с ледниковым питанием). В бассейнах рек Нура и Сарысу (Казахский мелкосопочник) это увеличение составит соответственно – 13,6 % и 8,81 %. На западе Казахстана увеличение может достичь 15 % (бассейн р. Урал).

Если изменения климата на перспективу до 2035 лет будут происходить в соответствии со **сценарием В1**, то водные ресурсы в целом по Казахстану также увеличатся. На востоке РК это увеличение составит около 5,2 % (горные бассейны рек Уба и Ульба). На севере республики в бассейне р. Ишим увеличение будет порядка 2,6 %, а бассейне р. Тобол оно составит – 5,4 %. На юго-востоке Казахстана изменения водных ресурсов будут колебаться в пределах 15,2...11,3 % для бассейнов рек Или, Коксу и Каратал (бассейны горные с ледниковым питанием). На юге республики изменения будут происходить в основном в пределах 4,2 % в бассейне Шаян и только в бассейне р. Арысь ресурсы могут уменьшиться на 7 %. В бассейнах рек Шу и Талас они могут увеличиться до 14,5...9,8 %. В бассейнах рек Нура и Сарысу увеличение может быть соответственно – до 13,0 % и 6,59 %. На западе Казахстана увеличение ресурсов возможно до 10 % (бассейн р. Урал).

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 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.

В разные по водности годы результаты оценки уязвимости водных ресурсов по сценариям изменения климата А2 и В1 показывают: незави-

симо от водности года изменение водных ресурсов имеет ту же тенденцию, что и в среднем за весь многолетний период.

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 увеличение водных ресурсов горных районов юго-востока и юга республики, а также в западных равнинных районах и их незначительное увеличение в восточных (горных) и равнинных районах северного Казахстана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубцов В.В. О построении математической модели формирования стока в горном бассейне. // Труды КазНИГМИ. – 1975. – Вып. 48. – С. 3-25.
2. Голубцов В.В. Моделирование стока горных рек в условиях ограниченной информации. – Министерство охраны окружающей среды Республики Казахстан (МООС РК) РГП «КАЗГИДРОМЕТ» Алматы, 2010. – 232 с.
3. 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. – Т.6. – 1989. – С. 374-382.
4. Важнов А.Н. Анализ и прогноз стока рек Кавказа. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – 274 с.
5. Комаров В.Д. Весенний сток равнинных рек Европейской части СССР, условия его формирования и методы прогноза. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 295 с.
6. Попов Е.Г. Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. – М.: Гидрометеиздат, 1963. – 395 с.
7. 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.
8. Виноградов Ю.Б. Вопросы гидрологии дождевых паводков на малых водосборах Средней Азии и Южного Казахстана. // Тр. КазНИГМИ. – 1967. – Вып. 28. – 262 с.
9. 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. 63-75.

10. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. // Серия публикаций ПРООН в Казахстане. – Алматы: 2004. – 132 с.
11. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель / Под ред. В.А. Урываева. – Вып. II. Кустанайская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 711 с.
12. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. Г.Л. Шимкевич. – Т. 13., Вып. I. Карагандинская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 481 с.
13. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под общей ред. М.С. Протасьева. – Т. 12., Вып. III. Актюбинская область. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 514 с.
14. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель / Под ред. В.А. Урываева. – Вып. I. Акмолинская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 789 с.
15. Водные ресурсы СССР и их использование. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 302 с.
16. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 199 с.

РГП «Казгидромет», г. Алматы

**2035 ЖЫЛҒА ДЕЙІНГІ КЕЛЕШЕКТЕ КЛИМАТТЫҢ
АНТРОПОГЕНДІ ӨЗГЕРУ НӘТИЖЕСІНДЕ ҚАЗАҚСТАН СУ
ҚОРЛАРЫНЫҢ ӘЛСІЗДІГІН БАҒАЛАУ**

Техн. ғылымд. канд. В.И. Ли
 А.О. Домран
 А.В. Линейцева

Климаттың антропогенді өзгеру нәтижесіндегі Қазақстан су қорларының әлсіздігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Моделдеу нәтижелері бойынша 21 ғасырдың басында жалпы Қазақстан бойынша су қорлары ұлғайған. Батыс Қазақстанның жазықтық, Қазақтың аласа таулы өзендерін ескермегенде ағынның ұлғайуы айтарлықтай байқалады, ал таулы-мұздықты алаптар өзендерінде ағын таулардың мұздылығы құлдырау салдарынан, қосымша еріген сулардың ағып келуінен қарастырылған мерзімде бірнеше есе көбейді.