

УДК 556.166/167; 556.06

Канд. географ. наук

А.Г. Чигринец¹А.Р. Жансыкпаев¹**МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК В БАССЕЙНАХ РЕК УЛЬБИ И ОБЫ**

Ключевые слова: река, летне-осенняя межень, зимняя межень, минимальный сток, норма стока, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии, тренд, долгосрочный прогноз.

Исследованы закономерности формирования минимального стока в бассейнах рек Ульби и Обы в условиях Казахстанского Алтая. Используются имеющиеся материалы многолетних наблюдений за среднемесячными расходами и суточными минимальными расходами воды основных рек исследуемого района на гидрологической сети РГП "Казгидромет" по 2015 г. включительно. Проведен анализ и реконструкция рядов наблюдений с приведением к расчетному репрезентативному периоду 1933...2015 гг. Определены количественные характеристики минимальных месячных и суточных расходов воды летне-осенней и зимней межени в среднем за многолетний период. Проанализированы ошибки расчета нормы и коэффициента вариации минимального стока. Ошибки расчета находятся в пределах допустимых значений. Средняя ошибка расчета нормы минимального стока составила $\pm 4,0$ %, а коэффициента вариации $C_v \pm 3,4$ %.

Получены минимальные месячные и минимальные суточные расходы летне-осенней и зимней межени различной обеспеченности. Используя динамику минимального стока, осредненного по скользящим десятилетиям для основных рек бассейнов рек Ульби и Обы за последний 42-летний период (1974...2015 гг.) выявлены тренды и получены уравнения регрессии, использованные для долгосрочного прогнозирования изменений минимального месячного стока летне-осенней и зимней межени до

¹КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан.

2030 и 2040 гг. Приведены прогнозные изменения минимального месячного стока основных рек в бассейнах рек Ульби и Обы.

Введение. Казахстан относится к числу стран, испытывающих достаточно острый дефицит в водных ресурсах. По данным Комитета по водным ресурсам РК, в настоящее время на каждый квадратный километр его площади приходится менее 40 тыс. м³ речного стока в год. Кроме того, этот сток очень неравномерно распределен во времени. На летне-осенний и зимний меженный период приходится очень мало речной воды, поэтому острее ощущается именно маловодье. Если же последует целая группировка маловодных лет, то положение может стать катастрофичным. Такое уже имело место в крайне маловодные 30-е годы 20-го столетия.

Сокращение и загрязнение имеющихся речных водных ресурсов оказывает непосредственное влияние на экономическое и социальное благосостояние населения страны. Наблюдающийся рост водопотребления с одновременным сокращением водных ресурсов обусловлены рядом факторов: устойчивым развитием всех отраслей сельскохозяйственного и промышленного производства, увеличением заборов воды на хозяйственно-бытовые и производственные нужды; а также неблагоприятные климатические тенденции, связанные с глобальным изменением климата. Все это требует регулярного уточнения гидрологических характеристик стока рек, в том числе минимального. В основе актуальности данной работы – проведение уточнения гидрологических характеристик минимального стока основных рек, как одного из лимитирующих факторов при использовании воды крупнейших правобережных притоков р. Ертис – рр. Ульби и Обы.

Район исследования. Районом исследований являются бассейны рек Ульби и Обы Казахстанского Алтая. Горы Восточного Казахстана – это периферийная часть Алтая. От высшей точки горного массива г. Белухи (4620 м) в северо-западном направлении протянулась непрерывная сеть хребтов Западного Алтая с высотами до 2200...2800 м. Это хребты – Листвяга, Холзун, Коксуйские горы, Тигирецкий. С запада примыкает сложная система периферийных гряд и горных массивов, в частности, хребты Ульбинский, Ивановский, Оба с высотами до 2800 м. Хребты имеют западное и юго-западное простирание, покрыты лесом и благоприятно ориентированы к направлению преобладающего влагопереноса. С

хребтов Западного Алтая берут начало самые многоводные правобережные притоки Ертиса – Буктырма, Ульби и Оба.

Река Ульби образуется слиянием рек Тихая ($L= 25$ км, $F= 681$ км²) и Громотуха ($L= 34$ км, $F= 451$ км²), которые берут начало в Ивановском и Убинском хребтах (Рудный Алтай). Река Тихая берет начало юго-восточнее г. Теснинский Белок и образуется слиянием рек Журавлиха и Филипповка. Протекает по северной окраине города Риддер. Река Громотуха берёт свое начало с южного склона Ивановского хребта и северо-западного склона Ульбинского хребта от многочисленных рек и ручьев, основные из которых – Правая и Левая Громотуха. В верхнее течение реки Левая Громотуха перебрасывается часть стока реки Малая Ульба, в верховьях которой в 1936 году было создано Малоульбинское водохранилище с объём – 87,7 млн. м³. В нижнем течении на реке размещены Хариузовская и Тишинская ГЭС Лениногорского каскада.

В районе города Усть-Каменогорск р. Ульби впадает в реку Ертис, являясь её правым притоком. Длина реки 100 км, площадь водосбора 4990 км² [9]. Среднегодовой расход за последний 42-летний период (1974...2015 гг.) составляет 91,2 м³/с.

Река Оба – один из самых полноводных правобережных притоков р. Ертис, образуется от слияния рек Ак Оба ($L= 58$ км, $F= 806$ км²) и Кара Оба ($L= 70$ км, $F= 691$ км²), берущих начало с Коргонских Белков в зоне вечных снегов. Верховья ее с северо-востока и с запада сжаты Тигирецким, Коксуйским и Убинским хребтами. Наиболее крупные притоки – рр. Бол. Чесноковка ($L= 14$ км, $F= 141$ км²), Становая Оба ($L= 24$ км, $F= 717$ км²), Белопорожная Оба ($L= 51$ км, $F= 590$ км²), Мал. Убинка ($L= 45$ км, $F= 1610$ км²). Длина реки 278 км, площадь водосбора 9850 км² [8]. Среднегодовой расход за последний 42-летний период (1974...2015 гг.) составляет 165 м³/с.

Свой сток реки и их основные притоки формируют на территории Казахстанского Алтая, имеющего высокую увлажненность и горный, сильно пересеченный рельеф. Эти факторы обуславливают наибольшие в Восточном Казахстане густоту речной сети и слой стока [8]. В бассейне рек Ульби и Обы формируется до 25 % (8,31 км³) местных водных ресурсов.

Наблюдения за гидрологическим режимом на расчетных постах основных рек исследуемого района ведутся уже в течение достаточно продолжительного периода времени. Так, на р. Ульби – с. Ульби Перева-

лочная – в течение 83 лет (с 1931 г. по 2015 г.), на р. Оба – г. Шемонаиха – в течение 62 лет (с 1954 г. по 2015 г.). Всего на исследуемой территории к расчетам приняты данные девяти постов, действовавших в разные периоды для наблюдений за стоком воды.

Исходные данные и методы исследования. Гидрологический режим, сток воды рек в горных условиях освещены данными наблюдений, имеющихся гидрометрических створов, расположенных на исследуемых водотоках у нижней границы зоны формирования стока, при выходе рек из гор.

Все гидрологические характеристики для расчетных створов были получены с применением методов гидрологической аналогии, интерполяции, экстраполяции, математической статистики.

В работе были использованы данные наблюдений, проводившихся на стационарной сети гидрологических постов РГП "Казгидромет" в бассейне рр. Ульби и Обы [4...7, 10...12].

При освоении горных водосборов необходимы сведения о режиме минимальных расходов, как лимитирующего фактора использования местных водных ресурсов. Это важно и для устойчивого функционирования имеющихся гидротехнических сооружений.

Водный режим. Основными факторами формирования минимального стока рек исследуемого района являются: прежде всего рельеф, климатические условия, геологические, гидрогеологические и другие особенности речных бассейнов. С изменением абсолютной высоты местности изменяются климатические характеристики и факторы подстилающей поверхности, и как следствие – условия питания рек. Если в высокогорных районах в питании рек наиболее существенную роль играет современное оледенение, то в среднегорном и низкогорном поясах значительно возрастает роль сезонного снежного покрова, жидких осадков и грунтовых (подземных) вод.

Разнообразие климатических и других природных факторов обуславливает особенности водного режима рек исследуемых бассейнов рр. Ульби и Обы. В первую очередь это летне-осенняя и зимняя межень.

Минимальные расходы воды формируются за счет грунтового питания, поэтому зимние минимумы, как правило, меньше летних в связи с постепенным уменьшением грунтового питания. За летне-осеннюю межень принимается период низкого стока с отсутствием или наличием паводков, если величина объема каждого из них не превышала 15 % величины объема стока от начала межени до конца рассматриваемого паводка [8].

В теплый период года большинство рек рассматриваемой территории имеют сток. На непересыхающих реках летне-осенняя межень устойчивая, с редкими дождевыми паводками. На реках низкогорно-предгорных районов Алтая паводки бывают довольно часто [8].

Наступление начала межени на реках зависит в основном от высоты водосбора и смещается к более поздним срокам с продвижением по территории с запада на восток. В низкогорной зоне и в предгорьях начало межени приходится на июнь-июль, в среднегорной зоне – на июль-первую декаду августа, в высокогорной (выше 1800 м) – на август-начало сентября. Окончание летне-осенней межени в основном наблюдается в октябре, реже – в первой половине ноября. Наиболее длительная межень наблюдается у рек низкогорной зоны. До высоты 1000 м продолжительность ее составляет в среднем около 100 дней. Выше продолжительность межени постепенно сокращается и до высоты 1800 м составляет 60...80 дней; самые короткие периоды межени наблюдаются на высотах 2500...2800 м. Межень в период открытого русла носит в основном устойчивый характер.

Продолжительность зимней межени определяется в основном высотным положением бассейна реки. На реках низкогорно-предгорных районов зимняя межень продолжается в среднем 140...150 дней (с ноября по март), а на реках высокогорных районов продолжительность ее достигает 200 дней. На большинстве рек зимняя межень устойчива. Некоторые реки правобережья в этот период перемерзают на перекатах, что приводит к зимним разливам рек.

Минимальный сток на не перемерзающих реках низкогорно-предгорных районов наблюдается в январе-феврале или декабре, на реках среднегорий – в феврале-марте, а высокогорных районах – в марте-апреле.

Водный режим рек в период зимней межени находится в тесной взаимосвязи с режимом грунтовых вод и ледовым режимом [8].

Средняя продолжительность зимней межени на реках территории бассейнов Ульби и Обы составляет 148 и 135 дней, наибольшая – 172 дня (р. Громотуха – 0,7 км ниже р. Тишихи) и наименьшая – 120 дней (р. Правая Убинка – с. Александровка). Зимняя межень отличается большой устойчивостью.

Минимальный сток. В практике водохозяйственного проектирования основными расчетными характеристиками минимального стока являются: – минимальные месячные расходы за летне-осенние и зимние периоды; – минимальные суточные расходы за летне-осенние и зимние пе-

риоды; – абсолютный минимум, являющийся самым наименьшим месячным и суточным расходом воды за весь период наблюдений; – минимальные месячные и суточные расходы воды расчетной вероятности превышения (обеспеченности), в диапазоне 75...97 %.

Минимальный сток – одна из важнейших гидрологических характеристик, учитываемых при водохозяйственных мероприятиях и в конкретных проектах. Минимальный сток лимитирует использование водных ресурсов, особенно при их дефиците. Маловодье относят к опасным гидрологическим явлениям [14, 2, 13]. Основными параметрами распределения минимального стока рек являются норма, коэффициенты вариации и асимметрии, и расходы воды различной обеспеченности. В приводимом исследовании эти характеристики стока определены применительно к минимальному месячному и минимальному суточному стоку за период летне-осенней и зимней межени. При этом в качестве исходных использованы ряды, приведенные к многолетнему периоду.

Гидрологическая изученность территории недостаточна для надежной характеристики экстремумов непосредственно по наблюдаемым данным. Поэтому была проведена реконструкция рядов с целью получения длительных серий. Возможности применения известных методов гидрологической аналогии, корреляционных связей в отношении экстремумов ограничены из-за их слабой пространственной связанности, большого влияния антропогенных факторов и ряда других факторов. Приведение гидрологических рядов к многолетнему периоду произведено аналитическими методами с использованием регрессионного анализа. Многолетние колебания минимального среднемесячного стока воды рек в общем синхронны с ходом их годового стока воды. Поэтому приведение рядов к многолетнему периоду производилось в основном по графикам связи минимальных средних месячных и годовых расходов воды, построенным для каждого пункта в отдельности. При приведении к многолетнему периоду коротких рядов наблюдений для контроля использовались также графики связи минимального среднего месячного стока данной реки и реки-аналога [8].

Кроме связи минимального среднемесячного стока данной реки и реки-аналога, для восстановления пропущенных в рядах значений применялся также метод поэтапного восстановления среднегодовых и среднемесячных значений, с использованием и метода гидрологической аналогии, и данных о внутригодовом распределении стока реки, полученных по методу В.Г. Андреева [1]. Так как расчет внутригодового рас-

пределения производится для нескольких градаций водности, поэтому этот метод пригоден для любых задач проектирования и любых физико-географических условий, при любых типах внутригодового распределения стока рек. Используя расчетные данные о внутригодовом распределении, восстанавливались пропуски за летние месяцы – с марта по сентябрь. Среднемесячные значения за период с октября по март в расчетном створе восстанавливались по связи стока данного месяца со стоком смежного месяца в этом же створе, при наличии связи между ними. Применение данной методики позволило реконструировать не только пропуски месячных значений при отсутствии наблюдений за несколько лет, но и восстановить значения суточных меженных минимальных расходов по среднемесячным минимальным значениям. Были реконструированы ряды минимальных среднемесячных и минимальных суточных значений меженного стока по 9 створам. Однако данная методика не применима при отсутствии надежных расчетных данных о внутригодовом распределении стока. Для каждого исследуемого гидрологического поста было апробировано несколько способов восстановления пропусков в рядах данных наблюдений и был выбран наиболее эффективный. В результате восстановления данных наблюдений продолжительность рядов по многим гидрологическим постам значительно увеличилась.

Результаты. В практике водохозяйственного проектирования основными расчетными величинами для маловодных периодов являются различные характеристики минимального стока: – расходы воды средние за месяц или за сутки с наименьшим стоком, наблюдавшимся за данный сезон; – минимальные расходы воды различной обеспеченности; – наименьшие расходы воды за весь период наблюдений (абсолютный минимум).

Эти же характеристики использованы и при проведении данного научного исследования. Наиболее часто используемой расчетной величиной является минимальный средний месячный расход воды. Определение этой характеристики производилось путем автоматической выборки наименьшего среднего месячного расхода воды в летне-осеннюю и зимнюю межень за год. Такой метод определения минимального среднего месячного расхода воды допустим только для рек с длительным меженным периодом – свыше 60 суток и более [2].

Полученные ряды минимального среднемесячного и срочного стока проверялись на однородность по критериям Стьюдента и Фишера, непараметрическому критерию Вилькоксона. Как пример, в таблице 1 пред-

ставлены результаты этой проверки, которые показали в большинстве случаев однородность исследуемых рядов минимального месячного и суточного стока.

Таблица 1

Результаты проверки гидрологических рядов на статистическую однородность для р. Оба – г. Шемонаиха при $P=5\%$

Критерий однородности	Расчетный	Критический	Вывод об однородности
Минимальные среднемесячные расходы воды летне-осенней межени			
Критерий Стьюдента	$t = 1,428$	$t_a = 1,993$	Ряд однороден
Критерий Фишера	$F = 1,296$	$F_a = 1,924$	Ряд однороден
Критерий Вилькоксона	$U = 990$	$U_1 = 644$ $U_2 = 1075$	Ряд однороден
Минимальные среднемесячные расходы воды зимней межени			
Критерий Стьюдента	$t = 0,896$	$t_a = 1,994$	Ряд однороден
Критерий Фишера	$F = 2,453$	$F_a = 1,944$	Ряд неоднороден
Критерий Вилькоксона	$U = 773$	$U_1 = 628$ $U_2 = 1051$	Ряд однороден
Минимальные суточных расходы воды летне-осенней межени			
Критерий Стьюдента	$t = 2,594$	$t_a = 1,993$	Ряд неоднороден
Критерий Фишера	$F = 1,414$	$F_a = 1,924$	Ряд однороден
Критерий Вилькоксона	$U = 1088$	$U_1 = 644$ $U_2 = 1075$	Ряд неоднороден
Минимальные суточных расходы воды зимней межени			
Критерий Стьюдента	$t = 0,484$	$t_a = 1,993$	Ряд однороден
Критерий Фишера	$F = 1,453$	$F_a = 1,924$	Ряд однороден
Критерий Вилькоксона	$U = 801$	$U_1 = 644$ $U_2 = 1075$	Ряд однороден

Все полученные ряды минимальных месячных летних и зимних расходов оценивались на репрезентативность. Для этой цели производился анализ разностных интегральных кривых модульных коэффициентов минимальных месячных и минимальных суточных расходов периода летне-осенней и зимней межени в расчетных створах (рис. 1).

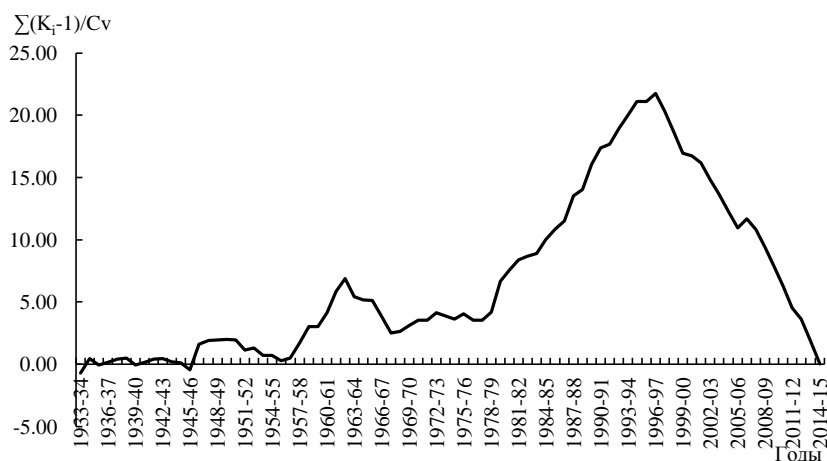


Рис. 1. Разностная интегральная кривая модульных коэффициентов минимальных месячных зимних расходов воды р. Оба – г. Шемонаиха за 1933...2015 гг.

Характеристики стока в данном исследовании определены применительно к минимальному месячному и суточному стоку летне-осенней и зимней межени. При этом в качестве исходной информации использованы данные наблюдений, приведенные к многолетнему периоду. Нормы, коэффициенты вариации и асимметрии минимального стока определены по общепринятым формулам с введением поправки на смещенность параметров C_v и C_s . Для определения расхода воды различной обеспеченности построены кривые обеспеченности, с использованием кривой Пирсона III типа.

При несоответствии аналитической кривой наблюдаемым значениям расходы воды различной обеспеченности определены графоаналитическим способом Г.А. Алексеева (по 3-м опорным ординатам или метод квантилей) или по эмпирической кривой. Но в большинстве случаев подходящим типом кривой распределения для описания минимального летнего месячного и зимнего стока, а также минимального суточного летнего и суточного зимнего стока оказалась кривая распределения Крицкого-Менкеля при $C_s=2C_v$. Были исследованы ошибки расчета нормы и коэффициента вариации минимального стока. Ошибки расчета находятся в пределах допустимых значений.

Для рассматриваемых в работе гидрологических створов средняя ошибка расчета нормы минимальных месячных расходов воды летне-осенней межени за период 1933...2015 гг. составила $\pm 4,7\%$, при этом крайние значения составили: $\pm 6,0\%$ (гидропост р. Ульби – с. Ульба Пере-

валочная) и $\pm 3,1$ % (гидропост кл. Орловка – с. Орловка). Для коэффициента вариации C_v средняя ошибка составила $\pm 4,0$ %, при этом крайние значения получены: $\pm 5,4$ % (по гидропосту р. Ульби – с. Ульба Перевалочная) и $\pm 2,3$ % (гидропост кл. Орловка – с. Орловка).

Для минимальных месячных расходов воды зимней межени средняя ошибка расчета нормы составила $\pm 3,6$ %, при этом крайние значения составили: $\pm 4,9$ % (гидропост р. Шаравка – с. Шаравка) и $\pm 1,6$ % (гидропост р. Ульби – с. Белый Луг, выше устья р. Кедровки). Для коэффициента вариации C_v средняя ошибка составила $\pm 3,0$ %, при этом крайние значения получены: $\pm 5,2$ % (по гидропосту р. Оба – с. 8 Марта) и $\pm 1,2$ % (гидропост р. Ульби – с. Белый Луг, выше устья р. Кедровки).

Для минимальных суточных расходов воды летне-осенней межени средняя ошибка расчета нормы составила $\pm 3,9$ %, при этом крайние значения составили: $\pm 7,8$ % (гидропост р. Шаравка – с. Шаравка) и $\pm 2,6$ % (гидропост р. Оба – с. 8 Марта). Для коэффициента вариации C_v средняя ошибка составила $\pm 3,6$ %, при этом крайние значения получены: $\pm 8,5$ % (по гидропосту р. Шаравка – с. Шаравка) и $\pm 1,9$ % (гидропост р. Мал. Ульба – с. Горно-Ульбинка).

Для минимальных суточных расходов воды зимней межени средняя ошибка расчета нормы составила $\pm 3,8$ %, при этом крайние значения составили: $\pm 5,4$ % (гидропост р. Оба – г. Шемонаиха) и $\pm 2,0$ % (гидропост р. Ульби – с. Белый Луг, выше устья р. Кедровки). Для коэффициента вариации C_v средняя ошибка составила $\pm 3,0$ %, при этом крайние значения получены: $\pm 4,7$ % (по гидропосту р. Оба – г. Шемонаиха) и $\pm 1,5$ % (гидропост р. Ульби – с. Белый Луг, выше устья р. Кедровки).

Средняя ошибка расчета нормы составила $\pm 4,0$ %, а коэффициента вариации C_v $\pm 3,4$ %.

Проведен анализ изменения нормы минимальных расходов воды за расчетный период 1933...2015 гг. и последний 42-летний 1974...2015 гг., который показал отрицательную тенденцию изменения нормы минимального стока летне-осенней и зимней межени, т.е. выявлена тенденция к его снижению по реке Ульби. Однако по отдельным створам бассейна р. Обы, таким как р. Оба – с. Каракожа (для летне-осенней и зимней межени), р. Оба – с. 8 Марта и р. Мал. Убинка – с. Быструха (для летне-осенней межени) получена устойчивая положительная тенденция роста нормы минимального месячного стока.

Характеристики минимальных месячных расходов и расходы воды различной обеспеченности для летне-осенней и зимней межени были получены для 9 пунктов наблюдений основных рек бассейна р. Буктырма.

Водность рек в межень для рассматриваемого района исследования различна. По результатам расчета получено, что в среднем норма минимальных месячных расходов летне-осеннего меженного периода превышает норму минимальных зимних расходов в 3 раза. При этом максимальное превышение составляет: р. Оба – с. Каракожа - 6, р. Оба – с. 8 Марта – 5,3 раза.

Зимняя межень более устойчива и продолжительна. Наибольшие зимние меженные расходы воды отмечаются на основных реках – р. Оба – г. Шемонаиха ($20,6 \text{ м}^3/\text{с}$) и р. Ульби – с. Ульба Перевалочная ($15,7 \text{ м}^3/\text{с}$).

Надо отметить, что отдельные отрасли экономики, как, например, хозяйственно-бытовое водоснабжение и другие, нуждаются и в сведениях о минимальных суточных расходах воды. Наименьший наблюденный суточный расход воды показывает естественную степень истощения речного стока. Однако эта величина является менее устойчивой характеристикой минимального стока воды, чем минимальный средний месячный сток, так как на величину среднего суточного расхода воды значительное влияние оказывают даже такие кратковременные явления, как заторы и зажоры, вызывающие резкие изменения уровней и расходов воды. Не исключена и очень большая погрешность при ее измерении. Однако, это не исключает возможность использования данных о суточных величинах минимального стока, как для научного обобщения, так и для практического использования.

В результате проведения большого объема расчетных и графических работ, получены среднеголетние значения гидрологических характеристик и значения минимальных расходов воды различной обеспеченности за репрезентативный период 1933...2015 гг. Итоги расчетов приведены в таблицах 2 и 3.

Кроме этого, была предпринята попытка получения долгосрочных прогнозных значений минимального стока для основных рек района исследования. Прогноз минимального месячного речного стока в настоящее время исключительно актуален для Республики Казахстан. Это связано с происходящим ростом экономики, а также улучшением демографической ситуации в стране. Соответственно в ближайшей перспективе потребуется большее количество воды, что приведет к дефициту водных ресурсов. Вода становится одним из главных факторов, лимитирующим развитие про-

изводства, а ее дефицит в водных объектах особенно в период летне-осенней и зимней межени неизбежно отразится ещё и на экологической обстановке.

Таблица 2

Статистические параметры минимальных расходов воды ($Q_{0\text{мин}}$ – месячные) и расходы воды различной обеспеченности основных рек бассейнов Ульби и Обы за расчетный период 1933...2015 гг.

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Период наблюдений		Межень	Средний за пер. наблюд., $Q_{\text{мин}}$, м ³ /с	За многолетний период			Минимальные расходы воды различной обеспеченности, м ³ /с			
			Годы	Число лет			$Q_{\text{мин}}$, мес. м ³ /с	Коэффициент вариации, Cv	Коэффициент асимметрии, Cs	50%	75%	90%	97%
Ульби – с. Ульби Перевалочная	4900	960	1931...1939	78	летн	31,2	31,0	0,53	1,83	26,3	19,2	15,7	13,9
			1942...2015		зимн	15,5							
Ульби – Белый Луг, выше устья р. Кедровка	1120	1300	1920...1951	32	летн	13,8	13,7	0,42	3,34	12,9	9,49	7,03	5,08
					зимн	3,93							
Шаравка – с. Шаравка	55,0	1300	1939...1951	52	летн	0,73	0,74	0,56	1,25	0,67	0,46	0,31	0,20
			1953...1992		зимн	0,26							
Киши Ульби – с. Горно-Ульбинка	2170	1100	1931...1933	44	летн	10,0	10,4	0,35	0,96	10,0	7,76	6,09	4,72
			1951...1991		зимн	5,48							
Оба – с. 8 Марта	1500	1350	1960...1992	32	летн	17,6	21,5	0,39	0,80	20,4	15,4	11,7	8,68
					зимн	3,94							
Оба – с. Карагужиха	3200	1250	1966...1998	38	летн	37,7	48,0	0,40	0,019	45,5	34,0	25,5	18,8
			2006...2013		зимн	7,97							
Оба – г. Шемонаиха	8470	900	1954...2015	57	летн	57,3	60,0	0,49	1,04	55,3	38,5	26,8	17,9
					зимн	20,5							
Киши Убинка – с. Быструха	972	760	1953...1998	45	летн	4,99	6,00	0,52	1,49	5,26	3,72	2,81	2,27
					зимн	2,93							
Ключ Орловка – с. Орловка	27,0	790	1947...1990	42	летн	0,098	0,10	0,28	0,077	0,097	0,080	0,066	0,055
					зимн	0,081							

Таблица 3

Статистические параметры минимальных расходов воды ($Q_{\text{мин}}$ – суточные) и расходы воды различной обеспеченности основных рек бассейнов Ульби и Обы за расчетный период 1933...2015 гг.

Река-пункт	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Период наблюдений		Межень	Средний за период наблюд., $Q_{\text{мин}}$, м ³ /с	За многолетний период			Минимальные расходы воды различной обеспеченности, м ³ /с			
			Годы	Число лет			$Q_{\text{мин.сут.}}$, м ³ /с	Коэффициент вариации, C_v	Коэффициент асимметрии, C_s	50 %	75 %	90 %	97 %
Ульби – с. Ульби Перевалочная	4900	960	1931...39 1942...2010	78	летн зим	21,6 12,4	21,9 12,2	0,44 0,30	1,23 0,21	20,0 11,8	14,8 9,56	11,6 7,81	9,23 6,31
Ульби – Белый Луг, выше устья р. Кедровка	1120	1300	1920...1951	32	летн зим	8,46 3,40	8,82 4,03	0,33 0,21	2,34 2,13	7,82 3,76	6,85 3,44	6,48 3,30	6,36 3,25
Шаравка – с. Шаравка	55,0	1300	1939...1951 1953...1992	52	летн зим	0,40 0,21	0,41 0,20	0,76 0,41	1,78 0,93	0,32 0,19	0,19 0,14	0,12 0,11	0,078 0,081
Киши Ульби – с. Горно-Ульбинка	2170	1100	1931...1933 1951...1991	44	летн зим	6,53 4,42	6,61 4,50	0,24 0,34	0,68 0,74	6,48 4,32	5,47 3,39	4,68 2,69	3,99 2,10
Оба – с. 8 Марта	1500	1350	1960...1992	32	летн зим	12,4 2,93	13,1 2,87	0,24 0,44	1,50 1,03	12,3 2,69	10,8 1,95	9,90 1,42	9,36 1,00
Оба – с. Карагужиха	3200	1250	1966...1998 2006...2010	38	летн зим	20,8 5,97	20,9 6,20	0,26 0,30	1,73 0,17	20,4 6,15	17,0 4,92	14,3 3,85	12,0 2,84
Оба – г. Шемонаиха	8470	900	1954...2010	57	летн зим	36,1 16,3	39,2 16,5	0,36 0,49	0,38 0,33	37,5 15,2	28,9 10,6	22,5 7,36	17,3 4,92
Киши Убинка – с. Быструха	972	760	1953...1998	45	летн зим	3,76 2,57	4,11 2,59	0,42 0,38	1,19 1,21	3,78 2,40	2,83 1,86	2,24 1,53	1,81 1,28
Ключ Орловка – с. Орловка	27,0	790	1947...1990	42	летн зим	0,077 0,073	0,079 0,073	0,27 0,27	0,14 1,44	0,078 0,071	0,064 0,059	0,052 0,049	0,040 0,041

Для оптимальной ориентации водного хозяйства необходимо четкое представление о настоящих и ожидаемых водных ресурсах РК в периоды минимального стока. Роль их долгосрочного прогноза в этих условиях очень важна. Под водными ресурсами обычно понимают ежегодно возобновляемые запасы вод территории, к которой относятся речной сток и некоторая часть подземных вод. Последняя составляющая тесно связана и активно обменивается влагой с реками; разделение этих вод достаточно условно, так как подземные запасы верхних водоносных горизонтов по-

полняются из рек, а реки, в свою очередь, питаются подземными водами. Следовательно, исключительно актуален прогноз речного стока именно в период летне-осенней и зимней межени. Но достаточно надежных методов прогноза таких экстремальных характеристик, как минимальные расходы воды на длительную перспективу практически не существует.

Наиболее распространенным приемом сверхдолгосрочных метеорологических прогнозов является метод МОЦАО (модель общей циркуляции атмосферы и океана). В данной работе предпринята попытка получения сценария такого прогноза для минимальных расходов воды с помощью метода трендов. Прогноз в вероятностной форме можно осуществить или на основе признания необратимыми (в обозримом будущем) произошедших изменений, т.е. распространение сегодняшней ситуации, современного уровня гидрометеорологических характеристик (принятых за последние 10-летия), на ближайшее время. Такая экстраполяция возможна лишь для относительно непродолжительного грядущего периода – на одно-два десятилетия вперед. Или используя экстраполяцию выявленных тенденций многолетнего хода рассматриваемых характеристик. Прежде всего, это делается на основе выявленного линейного тренда, хотя статистически значимые тренды речного стока – это достаточно большая редкость в мире [3].

Для прогноза минимального летнего и зимнего месячного стока был использован метод линейного тренда. При этом методе значения гидрологической характеристики связываются с координатой времени:

$$Q = a + bt, \quad (1)$$

где Q – сток i -го в ряду года, t – номер года, отсчитываемый от первого в ряду.

Наиболее простой прием оценки существенности тренда – по значимости величины коэффициента линейной корреляции зависимости $Q=f(t)$. При этом нередко вместо исходного ряда стока используются осредненные величины, например, методом скользящего осреднения, что, естественно, повышает корреляцию. В настоящем исследовании предполагалось: для оценки данным методом изменений значений минимального месячного стока для ближайших 10-летий (на 2030 и 2040 гг.) использовать тренд, выведенный по ходу минимального месячного летнего (ММЛ) и зимнего (ММЗ) стока скользящих десятилетий в течение последнего со-

рокадвухлетнего периода, отражающего сегодняшние реалии (для района исследования это – 1974...2015 гг.).

Результаты сценарных прогнозных изменений минимального месячного зимнего (ММЗ) и летнего (ММЛ) стока на основе выявленных трендов по основным рекам бассейнов Ульби и Обы представлены в таблице 4.

Таблица 4

Прогнозные изменения минимального месячного зимнего (ММЗ) и минимального месячного летнего (ММЛ) стока основных рек бассейнов Ульби и Обы на основе трендов скользящих десятилетий за период 1974...2015 гг.

Река-пост	Прогнозные изменения ММЗ стока (%)				Прогнозные изменения ММЛ стока (%)			
	на 2030 г.		на 2040 г.		на 2030 г.		на 2040 г.	
	Пол. (+)	Отр. (-)	Пол. (+)	Отр. (-)	Пол. (+)	Отр. (-)	Пол. (+)	Отр. (-)
Ульби – с. Ульба								
Перевалочная	-	10	-	13	-	5	-	6
Ульби – с. Белый Луг, выше устья	-	4	-	4	-	11	-	14
р. Кедровка								
Шаравка-с. Шаравка	-	33	-	42	-	13	-	16
Мал. Ульба – с. Горно-Ульбинка	-	21	-	27	-	6	-	7
В среднем по бассейну р. Ульби	-	17	-	22	-	9	-	11
Оба-с. 8 Марта	-	47	-	62	32	-	39	-
Оба – с. Каракожа	51	-	65	-	51	-	65	-
Оба – г. Шемонаиха		132		170		20		25
Мал. Убинка – с. Быструха		23		30	11		15	
Кл. Орловка – с. Орловка		36		47		12		16
В среднем по бассейну р. Оба	51	35	65	46	31	16	40	20

Анализ трендов, полученных на основе данных последних сорока двух лет показывает, что основные выявленные тенденция изменения стока рек бассейна Ульби отрицательные.

В среднем по основным рекам бассейна р. Ульби прогнозные изменения минимального месячного зимнего стока к 2030 г. составят в среднем – 17 %, а к 2040 г. – 22 %, а минимального месячного летнего стока к 2030 г. составят около – 9 %, а к 2040 г. около 11 % от стока, среднего за период 1974...2015 гг.

Максимальные прогнозные значения снижения минимального месячного зимнего стока получены для р. Шаравка в створе с. Шаравка (-

33 %), а наименьшие для р. Ульби – с. Белый Луг, выше устья р. Кедровка (-4 %) на 2030 год и соответственно наибольшие для р. Шаравка в створе с. Шаравка (-42 %), а наименьшие для р. р. Ульби - с. Белый Луг, выше устья р. Кедровка (-4 %) на 2040 год.

Для минимального месячного летнего стока максимальные прогнозные значения снижения стока получены для р. Шаравка в створе с. Шаравка (-13 %), а наименьшие для р. Ульби – с. Ульба Перевалочная (5 %) на 2030 год, и соответственно наибольшие р. Шаравка в створе с. Шаравка (-16 %), а наименьшие для р. Ульби – с. Ульба Перевалочная (6 %) на 2040 год.

Не такие однозначные прогнозные тенденции получены для рек бассейна р. Оба. Отрицательные прогнозные значения минимального месячного зимнего стока получены для р. Оба в створе с. 8 Марта (-47 %), а также р. Мал. Убинка – с. Быструха (-23 %), кл. Орловка – с. Орловка (-36 %) на 2030 год. Тренд минимального месячного зимнего стока на 2030 г. в створе р. Оба – с. Каракожи показал положительную тенденцию (+51 %).

И, соответственно, на 2040 г. прогнозные значения минимального месячного зимнего стока в верхнем створе р. Оба – с. 8 Марта имеют отрицательную тенденцию (-62 %), р. Мал. Убинка – с. Быструха (-30 %), а кл. Орловка – с. Орловка (-47 %), а в среднем по течению створе р. Оба – с. Каракожи показал положительную тенденцию (+65 %).

Отдельно необходимо сказать о нижнем створе р. Оба – г. Шемонаиха. По данным наблюдений, за период 1954...1996 гг. норма минимального месячного зимнего стока составляла 24,8 м³/с, а с 1997 по 2015 гг. снизилась практически в два раза и составила 10,1 м³/с. Поэтому тренд, построенный за рассматриваемый период показал резкое снижение минимального месячного стока, в результате которого к 2023 году он должен полностью прекратиться. Следовательно, в период 1997...2015 гг. значительно возросла антропогенная нагрузка и водозаборы в зимний лимитирующий период привели к такому результату.

Для минимального месячного летнего стока в бассейне р. Оба положительные прогнозные значения на 2030 г. получены по трем створам – р. Оба – с. 8 Марта (+32 %), р. Оба – с. Каракожа (+51 %) и р. Мал. Убинка – с. Быструха (+11 %), в среднем составив +31 %. По двум створам получены отрицательные тренды. Это р. Оба – г. Шемонаиха (-20 %) и кл. Орловка – с. Орловка (-12 %) в среднем составив -16 %.

На 2040 г. положительные прогнозные значения минимального месячного летнего стока получены по трем створам наблюдений – р. Оба – с. 8 Марта (+39 %), р.Оба – с. Каракожа (+65 %) и р. Мал. Убинка – с. Быструха (+15 %), в среднем составив +40 %. По двум створам получены отрицательные тренды. Это р. Оба – г. Шемонаиха (-25 %) и кл. Орловка – с. Орловка (-16 %) в среднем составив -20 %.

Таким образом, основываясь на экстраполяции выявленных тенденций многолетнего хода характеристик минимального месячного летнего и минимального месячного зимнего стока, получены прогнозные сценарии снижения практически для всех основных речных систем бассейнов рек Ульби и Обы, за исключением отдельных створов для минимального месячного летнего стока бассейна Обы.

Выводы. На основании результатов выполненных работ можно сделать следующие выводы:

1) Рост водопотребления и сокращение водных ресурсов, обусловленные устойчивым развитием всех отраслей сельскохозяйственного и промышленного производства, увеличением заборов воды, а также неблагоприятными климатическими тенденциями, связанными с глобальным изменением климата, требуют проведения регулярного, тщательного и детального мониторинга за изменением параметров минимального стока как бассейнов рек Ульби и Обы, так и по всему Ертисскому водохозяйственному бассейну.

2) Изученность минимального стока недостаточна для надежной характеристики экстремумов непосредственно по наблюдаемым данным. Поэтому необходимо проведение реконструкции рядов с целью получения длительных периодов наблюдений.

3) Применение известных методов гидрологической аналогии, корреляционных связей в отношении экстремумов ограничены из-за их слабой пространственной связанности, большого влияния антропогенных и ряда других факторов. Поэтому приведение гидрологических рядов к многолетнему периоду осуществлено как аналитическими методами с использованием регрессионного анализа, так и с применением метода поэтапного восстановления среднегодовых и среднемесячных значений, с использованием метода гидрологической аналогии, и данных о внутригодовом распределении стока реки, полученных по методу В.Г. Андреянова. В результате проведенной реконструкции получены ряды репрезентативных наблюдений за 1933...2015 гг.

4) Результаты расчета статистических параметров минимального стока показали, что норма минимального стока определена со средней ошибкой $\pm 4,0$ %, а коэффициент вариации $C_v \pm 3,4$ %.

5) Анализ результатов долгосрочного прогноза минимального месячного стока летне-осенней и зимней межени на 2030 и 2040 гг. показал, что основные выявленные тенденции изменения минимального стока воды рек отрицательные. По основным рекам бассейна р. Ульби прогнозные изменения минимального месячного зимнего стока к 2030 г. получены в среднем -17 %, а к 2040 г. -22 %, а минимального месячного летнего стока к 2030 г. около -9 %, а к 2040 г. около -11 % от стока, среднего за период 1974...2014 гг. Для бассейна р. Обы прогноз не однозначен. Для основной реки Обы в створе с. Каракожи прогнозные изменения стока получены положительные и на 2030 и 2040 гг. соответственно составили для минимального месячного зимнего и летнего $+51$ % и $+65$ %.

В створе села 8 Марта прогнозные значения минимального месячного зимнего стока получены отрицательные и составили на 2030 г. -47 %, а на 2040 г. -62 %; для минимального месячного летнего на 2030 г. прогнозные значения изменения положительные и составили на 2030 г. $+32$ %, а на 2040 г. $+39$ %. По остальным рассматриваемым створам бассейна р. Оба получены отрицательные тренды стока: для минимального месячного зимнего стока на 2030 г. получено уменьшение в среднем на -35 %, а на 2040 г. -46 %. Для минимального месячного летнего стока получено прогножное уменьшение на 2030 г. -16 %, а на 2040 г. -20 %.

б) Полученные статистические характеристики среднесезонных значений минимальных месячных и суточных расходов воды летне-осенней и зимней межени и значения минимальных расходов воды различной обеспеченности за репрезентативный период 1933...2015 гг. могут быть использованы для водохозяйственного проектирования и при разработке водоохранных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.Г. Внутригодовое распределение речного стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1960 – 327 с.
2. Владимиров А.М. Минимальный сток рек СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 214 с.
3. Водные ресурсы России и их использование. – СПб: ГГИ, 2008. – 600 с.

4. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2001–2015 г. Часть 1. Реки и каналы. Часть 2. Озера и водохранилища. Вып.1. Бассейн рек Ертис, Алматы-Астана, 2002-2017.
5. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Казахская ССР. Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. 1976-1980 гг. Л.: Гидрометеиздат, 1987. – Т.V. – Вып.1. – 468 с.
6. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1981-1990 гг. Книга 1. Часть 1. Реки и каналы. Вып.1. Бассейн рек Иртыш, Ишим, Тобол (верхнее течение), Алматы, 2002. – 384 с.
7. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1991-2000 гг. Книга 1. Часть 1. Реки и каналы. Вып.1. Бассейн рек Иртыш, Ишим, Тобол (верхнее течение), Алматы, 2004. – 191 с.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т.15, вып.1., ч. 1. – 318 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – М.: Гидрометеиздат, 1966. – Т.15, вып.1., – 216 с.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – М.: Гидрометеиздат, 1965. – Т.15. – Вып.1. – 224 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963-1970 гг.). Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Верхний Иртыш, Верхний Ишим, Верхний Тобол. Л.: Гидрометеиздат, 1977. – Т.15. – Вып.2. – 384 с.
12. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 гг.). Выпуск 2 Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. Л.: Гидрометеиздат. 1980. – Т.15. – 294 с.
13. Laurence C. Smith, Tamlin M. Pavelsky, Glen M. MacDonald, Alexander I. Shiklomanov, and Richard B. Lammers. Rising minimum daily flows in northern Eurasian rivers: A growing influence of groundwater in the high-latitude hydrologic cycle // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 112, G04S47, doi:10.1029/2006JG000327, 2007.
14. Norvatov A.M., Popov O.V. Laws of the formation of minimum stream flow // Hydrological Sciences Journal, 6:1, P. 20-28.

ҮЛБІ ЖӘНЕ ОБА ӨЗЕНДЕРІ АЛАБЫ ӨЗЕНДЕРІНІҢ ЕҢ ТӨМЕН АҒЫНЫ

Түйін сөздер: өзен, жазғы-күзгі төмен су деңгейі, қысқы төмен ағыны, ең төменгі ағыны, ағынының жылдамдығы, өзгеру коэффициенті, ассиметриялар, тренд, ұзақ мерзімді болжам үрдісі.

Қазақстан Алтай жағдайында Үлбі және Оба өзендері алаптарында ең төменгі ағынның қалыптасу заңдылықтары зерттелді. "Қазгидромет" РМК гидрологиялық желісінде зерттелетін ауданның негізгі өзендерінің орташа айлық шығындарына және тәуліктік ең төмен су шығындарына байланысты көп жылдық бақылау материалдары пайдаланылды. 1933...2015 жылдардағы есептік репрезентативтік кезең бойынша бақылау қатарларын талдау және қайта құру жүргізілді. Көпжылдық уақыт аралығы бойынша судың жазғы-күзгі және қысқы сабасының орташа есеппен ең төменгі айлық және тәуліктік шығындарының сандық сипаттамалары анықталды. Ең төмен ағынның вариация коэффициенті және норманы есептеу қателіктері талданды. Есептеу қателері рұқсат етілген мәндер шегінде болады. Ең төмен ағын нормасын есептеудің орташа қатесі $\pm 4,0\%$, ал вариация коэффициенті $C_v - \pm 3,4\%$ құрады.

Әр түрлі деңгейде қамтамасыз етілген жазғы-күзгі және қысқы сабаның ең төмен айлық және ең төмен тәуліктік шығындары алынды. Соңғы 42 жылдық кезеңде (1974...2015 жж.) Үлбі және Оба өзендері алаптарының негізгі өзендері үшін жылжымалы онжылдықтар бойынша орташаланған ең төмен ағынның динамикасын пайдалана отырып, 2030 және 2040 жж. дейінгі жазғы-күзгі және қысқы сабаның ең төмен айлық ағынының өзгеруін ұзақ мерзімді болжау үшін пайдаланылған трендтер анықталды және регрессия теңдеулері алынды. Үлбі және Оба өзендерінің алаптарындағы негізгі өзендердің ең төмен айлық ағынының болжамды өзгерістері келтірілген.

MINIMUM RIVER RUNOFF IN THE BASINS OF ULBY AND OBY RIVERS

Keywords: river, summer-autumn low water, winter low water, minimal runoff, runoff, coefficient of variation, asymmetry coefficient, trend, long-term forecast.

The regularities of a minimum river runoff formation in the basins of Ulby and Oby rivers have been investigated in the conditions of Kazakhstan Altai. There have been used available materials of long-term observations of monthly average discharge and daily minimum water discharge of the main rivers throughout the study area on the hydrological network of the RSE "Kazhydromet" up to and including 2015. The analysis and reconstruction of the series of observations have been done with the reduction to the calculated representative period of 1933...2015. The quantitative characteristics of the minimum monthly and daily water discharges have been determined for the summer-autumn and winter low-water on average over a long period. The errors in calculating the norm and coefficient of variation of the minimum runoff have been analyzed. Calculation errors were defined to be within acceptable values. The average error in calculating the minimum runoff rate was $\pm 4,0$ %, and the coefficient of variation (C_v) was $\pm 3,4$ %.

The minimum monthly and minimum daily expenses of the summer-autumn and winter low-water of various levels have been obtained. Using the dynamics of the minimum runoff averaged over the rolling decades for the main rivers of the Ulby and Oby basins over the last 42-year period (1974...2015), there have been identified the trends along with obtaining regression equations that are used for long-term forecast of changes in the minimum monthly runoff of summer-autumn and winter low water until 2030 and 2040. There have been presented the forecast changes in the minimum monthly runoff of the main rivers in the Ulby and Oby river basins.