

Чигринец А.Г.* , Бурлибаева Ш.М.

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Казахстан, г. Алматы, e-mail: ch.al.georg@mail.ru

МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК В БАСЕЙНЕ Р. БУКТЫРМА

Выявлены основные закономерности формирования минимального стока рек в бассейне р. Буктырма в условиях Казахского Алтая. Работа выполнена с использованием имеющихся материалов многолетних наблюдений за среднемесячными расходами и суточными минимальными расходами воды основных рек исследуемого района на гидрологической сети РГП «Казгидромет» по 2014 г. включительно. Проведен анализ и реконструкция рядов наблюдений, выбран расчетный репрезентативный период 1933–2014 гг. Определены количественные характеристики минимальных месячных и суточных расходов воды летне-осенней и зимней межени в среднем за многолетний период. Были исследованы 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 – $\pm 3,1$ %.

Получены минимальные месячные и минимальные суточные расходы летне-осенней и зимней межени различной обеспеченности. На основе анализа хода данных о минимальном стоке, осредненном по скользящим десятилетиям для основных рек бассейна р. Буктырма за последний 40-летний период (1974–2014 гг.) выявлены тренды и получены уравнения регрессии, использованные для долгосрочного прогнозирования изменений минимального месячного стока летне-осенней и зимней межени до 2020 и 2030 гг. Приведены прогнозные изменения минимального месячного стока основных рек в бассейне р. Буктырма.

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

Chigrinets A.G.* , Burlibayeva Sh.M.

Al-Farabi Kazakh National University,
Kazakhstan, Almaty, e-mail: ch.al.georg@mail.ru

The minimum flow of rivers in the basin of the river Buktyrma

The main regularities of the formation of the minimum river runoff in the pool of the river Buktyrma were determined in the conditions of the Kazakh Altai. The work was carried out with the use of available materials of long-term observations of average monthly expenses and daily minimum water flow rates of the study area main rivers within the hydrological network of RSE “Kazhidromet” through the period including 2014. The analysis and reconstruction of the series of observations was carried out, the calculated representative period of 1933–2014 was chosen. The quantitative characteristics of the minimum monthly and daily water outlays for summer-autumn and winter low water averages have been determined for a long-term period. The errors in the calculation of the norm and the coefficient of variation of the minimum runoff were investigated. Calculation errors are within the allowed values. The average error in calculating the minimum flow rate was $\pm 4,0$ %, and the coefficient of variation C_v – $\pm 3,1$ %.

The minimum monthly and minimum daily expenses of the summer-autumn and winter inter-ennies of various security have been received. On the basis of the analysis of the course of data on the minimum runoff averaged over rolling decades for the main rivers of the pool of Buktyrma river during the last 40-year period (1974–2014), trends were revealed and regression equations used for long-term forecasting of changes in the minimum monthly runoff of the summer-autumn and winter low water until 2020 and

2030 were obtained. There have also been given the forecast changes in the minimum monthly runoff of the main rivers in the basin of the river Buktyrma.

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

Чигринец А.Г.*, Бурлибаева Ш.М.

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Қазақстан, Алматы қ., e-mail: ch.al.georg@mail.ru

Бұқтырма өзені бассейніндегі өзендердің ең аз ағыны

Қазақстандық Алтай жағдайындағы Бұқтырма өзені бассейніндегі ең төменгі өзен ағынының қалыптасуының негізгі заңдылықтары анықталды. Жұмыс зерттелуші аймақтың «Қазгидромет» РМК гидрологиялық желісінде орташа айлық су шығындары мен тәуліктік минималды су шығындарының 2014 жылға дейінгі ұзақ мерзімді бақылауының қолда бар материалдарды пайдалана отырып, жүзеге асырылады. 1933-2014 жылдары аралығында есептелген өкілдік кезең таңдала отырып, бақылау қатарларын қайта құру және сараптама жүргізілді. Көптеген жылдар аралығындағы орта есеппен жазғы-күзгі және қысқы төмен су деңгейінің ең төменгі айлық және тәуліктік су шығындарының сандық сипаттамалары анықталды. Норманы есептеудегі қателіктер және минималды ағынның өзгеру коэффициенті зерттелді. Есептеу қателері рұқсат етілген мәндер аралығында. Ағынның ең аз мөлшерін есептеудегі орташа қателік $\pm 4,0\%$, ал өзгеру коэффициенті $C_v - \pm 3,1\%$ болды.

Жазғы-күзгі және қысқы ең төменгі су деңгейінің әртүрлі қамтамасыз етудегі ең төменгі айлық және тәуліктік су шығындары алынды. Ең төменгі су ағынының деректерін талдау негізінде, соңғы 40-жылдық кезең (1974-2014 жж.) үшін Бұқтырма өзені бассейнінің негізгі өзендері үшін орташа жылжымалы онжылдықта трендтер анықталған және 2020 және 2030 жылға дейінгі жазғы-күзгі және қысқы мезгілдердегі ең төменгі айлық ағымдардың өзгеруін ұзақ мерзімді болжау үшін пайдаланылатын регрессиялық теңдеулер алынды. Бұқтырма өзені бассейніндегі негізгі өзендердің ең төменгі айлық шығындарының болжамдық өзгерулері келтірілген.

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

Введение

Дефицит воды – один из самых острых и актуальных вопросов не только в Казахстане, но и во всем Мире. Казахстан относится к числу стран, испытывающих достаточно острый дефицит в водных ресурсах. По данным Комитета по водным ресурсам, в настоящее время на каждый квадратный километр его площади приходится менее 40 тыс. м³ речного стока в год. Это меньше, чем в любой из стран СНГ (Государственный водный кадастр, 2017). Кроме этого, этот достаточно скудный сток очень неравномерно распределен во времени. На летне-осенний и зимний меженный период приходится очень мало речной воды, поэтому острее ощущается именно маловодье. А если последует целая группировка маловодных лет, то положение становится катастрофичным. Это уже случалось в крайне маловодные 30-е годы 20-го столетия (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1965).

Сокращение и загрязнение имеющихся речных водных ресурсов непосредственно влияет на экономическое и социальное благосостояние

населения страны. Рост водопотребления и сокращение водных ресурсов обусловлены рядом факторов: устойчивым развитием всех отраслей сельскохозяйственного и промышленного производства, увеличением заборов воды на хозяйственно-бытовые и производственные нужды. Указанные факторы, а также неблагоприятные климатические тенденции, связанные с глобальным изменением климата, заставляют проводить регулярные уточнения гидрологических характеристик стока рек, в том числе минимального. В основе актуальности данной работы - проведение регулярного уточнения гидрологических характеристик минимального стока основных рек, как одного из лимитирующих факторов при использовании воды крупнейшего правобережного притока р. Ертис – р. Буктырма.

Район исследования

Районом исследований является бассейн реки Буктырма Казахского Алтая Восточно-Казахстанской области. Горы Восточного Казахстана – это периферийная часть Алтая. От выс-

шей 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 Буктырма является наиболее многоводным правобережным притоком р. Ертис. Свой сток река и её основные притоки формируют на территории Казахстанского Алтая, имеющего высокую увлажненность и горный, сильно пересеченный рельеф, обуславливающие наибольшие в Восточном Казахстане густоту речной сети и слой стока. (Ресурсы поверхностных вод, 1969: 32). В бассейне р. Буктырма формируется до 25 % (8,31 км³) местных водных ресурсов.

Река Буктырма, основная река района исследования, берет начало из небольшого озера на склонах Онтустик Алтая и до впадения в Буктырминское водохранилище принимает ряд основных притоков – рр. Ак Берель (L= 57 км, F= 1050 км²), Орель (L= 20 км, F=167 км²) Черновая (L= 34 км, F= 533 км²), Сарымсакты (L= 43 км, F= 634 км²), Белая (L= 71 км, F= 1130 км²), Черешовка (L= 31 км, F= 452 км²), Хамир (L= 72 км, F= 1050 км²), Березовка (L= 39 км, F= 1180 км²), Тургусын (L= 342 км, F= 1250 км²) (Гидрологическая изученность, 1966: 68).

Наблюдения за гидрологическим режимом на расчетных постах основных рек исследуемого района ведутся уже в течение достаточно продолжительного периода времени. Так, на р. Буктырма – с. Печи – в течение 75 лет (с 1940 г. по 2014 г.), на р. Левая Березовка – с. Средигорное – в течение 66 лет (с 1948 г. по 2014 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 значительных водотоках, и

размещенных, как правило, у нижней границы зоны формирования стока, при выходе рек из гор, где они интегрируют сток со всех выше расположенных физико-географических зон.

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 р. Буктырма (Основные гидрологические характеристики, 1965, 1977, 1980; Ресурсы поверхностных вод, Горный Алтай и Верхний Иртыш, 1969; Многолетние данные, 1987, 2002, 2004; Ежегодные данные, 2001-2014).

Для проектирования и эксплуатации водозаборных и других сооружений, при освоении горных водосборов необходимы сведения о режиме минимальных расходов, как лимитирующего фактора использования местных водных ресурсов. Это важно также для устойчивого функционирования гидротехнических сооружений и их сохранности.

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 исследуемого бассейна р. Буктырма. В первую очередь это летне-осенняя и зимняя межень.

Летне-осенняя межень. В теплый период года большинство рек рассматриваемой территории имеют сток. На непересыхающих реках летне-осенняя межень устойчивая, с редкими дождевыми паводками. Причем на реках низкогорно-предгорных районов Алтая паводки бывают довольно часто. Особенно они характерны для низкогорно-предгорных районов северо-восточной части бассейна Ертиса (Ресурсы

поверхностных вод, Горный Алтай и Верхний Иртыш, 1969: 60-61).

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 (Ресурсы поверхностных вод, Горный Алтай и Верхний Иртыш, 1969: 60).

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 (например, на р. Буктырма у с. Берель она составляет 34 дня). Межень в период открытого русла носит в основном устойчивый характер.

Для малых рек с выровненным ходом стока и рек с заарестованными бассейнами, для которых характерно более позднее установление ледостава из-за повышенного притока более теплых грунтовых вод, продолжительность летне-осенней межени больше, чем для большинства рек соответствующего высотного пояса.

Зимняя межень. 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 районов – в марте-апреле.

Водный режим рек в период зимней межени находится в тесной взаимосвязи с режимом

грунтовых вод и ледовым режимом (Ресурсы поверхностных вод, Горный Алтай и Верхний Иртыш, 1969: 61).

Средняя продолжительность зимней межени на реках территории бассейна р. Буктырма составляет 147 дней, наибольшая – 180 дней (р. Сарымсақты – п. Катон Карагай) и наименьшая – 120 дней (р. Буктырма – с. Печи).

Зимняя межень отличается большой устойчивостью. Наибольшие меженные модули стока воды за зимний период наблюдаются в бассейне р. Буктырма (11,2 л/с × км²).

Модули наиболее маловодных периодов зимней межени на правобережье Ертиса в бассейне Буктырма изменяются практически от нуля до 8,75 л/с × км².

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 периоды;
- 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.

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. Но возможности применения известных

методов гидрологической аналогии, корреляционных связей в отношении экстремумов весьма ограничены ввиду их слабой пространственной связанности, большого влияния антропогенных факторов и ряда других факторов. Приведение гидрологических рядов к многолетнему периоду осуществлено 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 (Ресурсы поверхностных вод, Горный Алтай и Верхний Иртыш, 1969: 60-61).

Кроме связи минимального среднего месячного стока данной реки и реки-аналога, для восстановления пропущенных в рядах значений применялся также оригинальный 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. Андреянова (Андреянов, 1960: 327). Расчет внутригодового распределения 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 другого месяца в этом же створе, при наличии связи между ними. Применение данной методики, использованной впервые, позволило реконструировать не только пропуски месячных значений при отсутствии наблюдений за несколько лет, но и восстановить значения суточных меженных минимальных расходов по среднемесячным минимальным. Были реконструированы ряды минимальных среднемесячных и минимальных суточных значений меженного стока по 9 створам. Однако данная методика не применима при отсутствии на-

дежных 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 увеличилась.

Как уже было сказано, 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 используются и при научных исследованиях.

Результаты и обсуждения

Наиболее часто используемой расчетной величиной является минимальный средний месячный расход воды. Определение этой характеристики производится 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 (Владимиров, 1970: 78).

Полученные ряды минимального среднемесячного и срочного стока проверялись на однородность по критериям Стьюдента и Фишера, непараметрическому критерию Вилькоксона. Как пример, в таблице 1 представлены результаты этой проверки, которые показали в большинстве случаев однородность исследуемых рядов минимального месячного и суточного стока.

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, 2).

Таблица 1 – Результаты проверки гидрологических рядов на статистическую однородность для р. Буктырма в створе с. Печи при P=5 %

| Критерий однородности | Расчетный | Критический | Вывод об однородности |
|--|-----------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| р. Буктырма – с. Печи | | | |
| Минимальные среднемесячные расходы воды летне-осенней межени | | | |
| Критерий Стьюдента | t = 1,82 | ta = 1,98 | Ряд однороден |
| Критерий Фишера | F = 1,07 | Fa = 1,77 | Ряд однороден |
| Критерий Вилькоксона | U = 934 | U1 =556 U2 =956 | Ряд однороден |
| Минимальные среднемесячные расходы воды зимней межени | | | |
| Критерий Стьюдента | t =1,35 | ta = 1,98 | Ряд однороден |
| Критерий Фишера | F = 1,34 | Fa = 1,77 | Ряд однороден |
| Критерий Вилькоксона | U = 651 | U1 =545 U2 = 939 | Ряд однороден |
| Минимальные срочные расходы воды летне-осенней межени | | | |
| Критерий Стьюдента | t = 0,97 | ta = 1,99 | Ряд однороден |
| Критерий Фишера | F = 4,60 | Fa = 1,96 | Ряд неоднороден |
| Критерий Вилькоксона | U = 896 | U1 = 629 U2 = 1052 | Ряд однороден |
| Минимальные срочные расходы воды зимней межени | | | |
| Критерий Стьюдента | t = 1,56 | ta =1,99 | Ряд однороден |
| Критерий Фишера | F =1,02 | Fa =1,96 | Ряд однороден |
| Критерий Вилькоксона | U = 1050 | U1 = 629 U2 = 1051 | Ряд однороден |

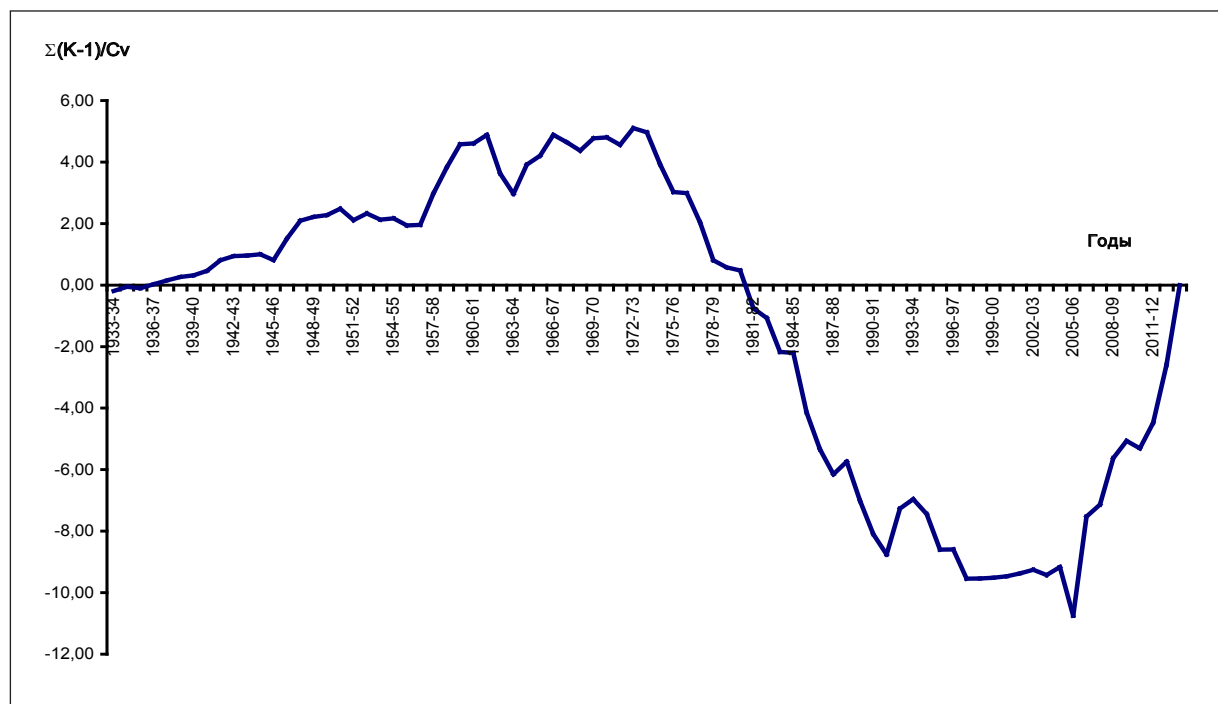


Рисунок 1 – Разностная интегральная кривая модульных коэффициентов минимальных месячных зимних расходов воды р. Буктырма – с. Берель за 1933-2014 гг.

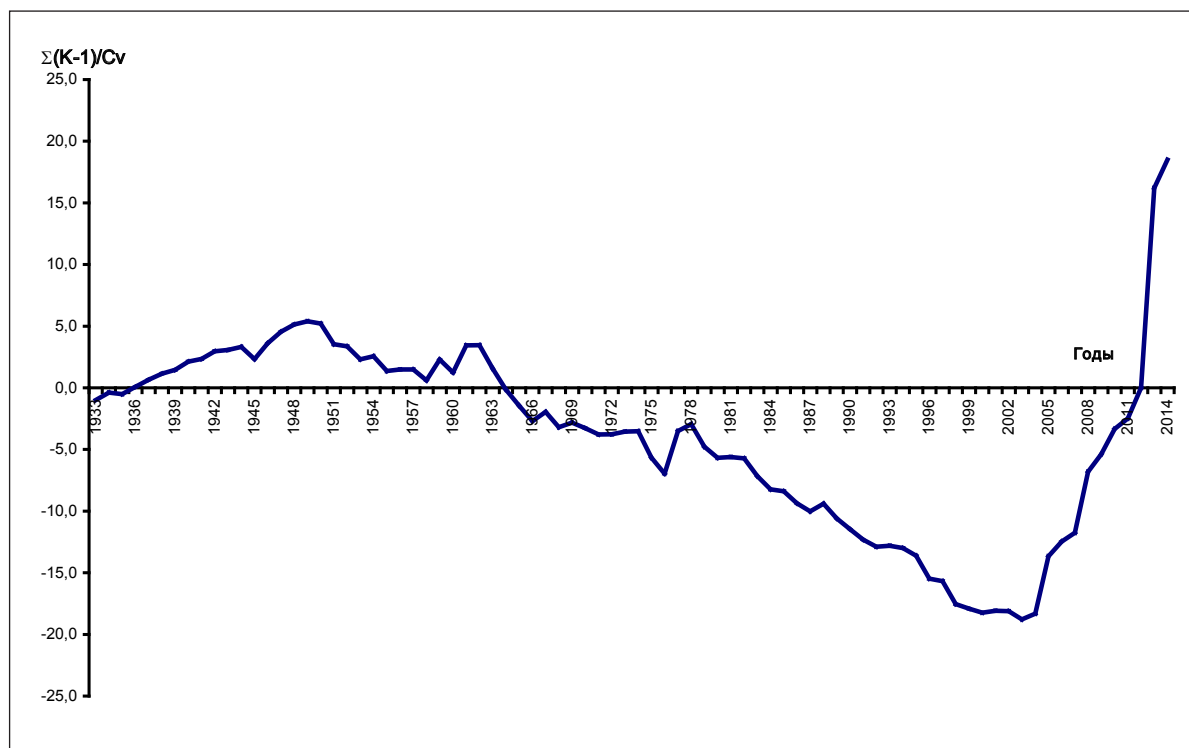


Рисунок 2 – Разностная интегральная кривая модульных коэффициентов минимальных месячных летних расходов воды р. Буктырма – с. Берель за 1933-2014 гг.

Для рядов минимального месячного стока расходов летне-осенней межени отмечено значительное повышение интегральной кривой, связанное с многоводным 2013 годом.

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. Алексева (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 исследовании гидрологических створов средняя ошибка расчета нормы минимальных месячных расходов воды летне-осенней межени составила $\pm 4,2\%$, при этом крайние значения составили: $\pm 7,5\%$ (гидропост р. Белая – с. Белое) и $\pm 2,56\%$ (гидропост р. Орель – с. Орель). Для коэффициента вариации C_v ошибка составила $\pm 3,3\%$, при этом крайние значения получены: $\pm 6,4\%$ (по гидропосту р. Белая – с. Белое) и $\pm 1,9\%$ (гидропост р. Орель – с. Орель).

Для минимальных месячных расходов воды зимней межени средняя ошибка расчета нормы составила $\pm 3,6\%$, при этом крайние значения составили: $\pm 5,9\%$ (гидропост р. Белая – с. Белое) и $\pm 1,8\%$ (гидропост р. Орель – с. Орель). Для коэффициента вариации C_v ошибка составила $\pm 2,8\%$, при этом крайние значения получены: $\pm 4,8\%$ (по гидропосту р. Белая – с. Белое) и $\pm 1,3\%$ (гидропост р. Орель – с. Орель).

Для минимальных суточных расходов воды летне-осенней межени средняя ошибка расчета нормы составила $\pm 4,0\%$, при этом крайние значения составили: $\pm 6,8\%$ (гидропост р. Левая Березовка – с. Средигорное) и $\pm 2,3\%$ (гидропост р. Ак Берель – с. Берель). Для коэффициента вариации C_v ошибка составила $\pm 3,2\%$, при этом крайние значения получены: $\pm 5,6\%$ (по гидропосту р. Левая Березовка – с. Средигорное) и $\pm 1,7\%$ (гидропост р. Ак Берель – с. Берель).

Для минимальных суточных расходов воды зимней межени средняя ошибка расчета нормы составила $\pm 4,1\%$, при этом крайние значения составили: $\pm 6,1\%$ (гидропост р. Буктырма – с. Лесная Пристань) и $\pm 2,0\%$ (гидропост р. Орель – с. Орель). Для коэффициента вариации C_v ошибка составила $\pm 3,2\%$, при этом крайние значения получены: $\pm 4,9\%$ (по гидропосту р. Буктырма – с. Лесная Пристань) и $\pm 1,4\%$ (гидропост р. Орель – с. Орель).

Средняя ошибка расчета нормы составила $\pm 4,0\%$, а коэффициента вариации C_v – $\pm 3,1\%$.

Проведен анализ изменения нормы минимальных расходов воды за расчетный период 1933-2014 гг. и последний 40-летний – 1974-2014 гг., который показал отрицательную тенденцию изменения нормы минимального стока, т.е. выявлена тенденция к снижению. Однако по отдельным бассейнам основных рек, таких как р. Тургусын в створе с. Кутиха, р. Черновая в створе с. Черновое, р. Ак-Берель в створе с. Берель наблюдается устойчивая положительная тенденция роста нормы минимального месячного стока летне-осенней и зимней межени.

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 2,3 раза. При этом максимальное превышение составляет: р. Тургусын – с. Кутиха – 4,4, р. Буктырма – с. Лесная Пристань – 4 раза.

Зимняя межень более устойчива и продолжительна. Наибольшие зимние меженные расходы воды отмечаются на основной реке – р. Буктырма – с. Лесная Пристань ($29,1 \text{ м}^3/\text{с}$).

Надо отметить, что отдельные отрасли экономики, как, например, хозяйственно-бытовое

водоснабжение и другие, нуждаются и в сведениях о минимальных суточных расходах воды. Наименьший наблюдаемый суточный расход воды показывает естественную степень истощения речного стока. Однако эта величина является менее устойчивой характеристикой минимального стока воды, чем минимальный средний месячный сток. 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 (только кривых обеспеченностей минимальных месячных и минимальных суточных расходов воды летне-осенней и зимней межени было построено более 40) получены среднемноголетние значения гидрологических характеристик и значения минимальных расходов воды различной обеспеченности за репрезентативный период 1933-2014 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 оживлением экономики, а также улучшением демографической ситуации в стране. Соответственно потребуются большее количество воды, что приведет к дефициту водных ресурсов. Вода становится одним из главных факторов, лимитирующим развитие производства, а ее дефицит в водных объектах особенно в период летне-осенней и зимней межени неизбежно отразится ещё и на экологической обстановке. 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 услов-

но, так как подземные запасы верхних водоносных горизонтов пополняются 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 (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 (Водные ресурсы России и их использование, 2008: 425).

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

$$Q = a + b \quad (1)$$

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 значе-

ний минимального месячного стока для ближайших 10-летий (на 2020 и 2030 гг.) использовать тренд, выведенный по ходу минимального месячного летнего (ММЛ) и зимнего (ММЗ) стока скользящих десятилетий в течение последнего сорокалетнего периода, отражающего сегодняшние реалии (для района исследования это – 1974-2014 гг.).

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

Анализ полученных данных показывает, что основные выявленные тенденции изменения стока рек положительные и в среднем по основным рекам бассейна р. Буктырма прогнозные изменения минимального месячного зимнего стока к 2020 г. составят в среднем $\pm 24,2\%$, а к 2030 г. $\pm 33\%$, а минимального месячного летнего стока к 2020 г. составят около $\pm 14\%$, а к 2030 г. – около 16% от стока, среднего за период 1974-2014 гг. Максимальные прогнозные значения увеличения минимального месячного зимнего стока получены для р. Буктырма в створе с. Печи ($+52\%$), а наименьшие для р. Тургусын – с. Кутиха ($+1,2\%$) на 2020 год и соответственно наибольшие р. Буктырма в створе с. Печи ($+72\%$), а наименьшие для р. Тургусын – с. Кутиха ($+1,7\%$) на 2030 год. Для минимального месячного летнего стока максимальные прогнозные значения увеличения стока получены для р. Левая Березовка – с. Средигорное ($+26,9\%$), а наименьшие – для р. Белая – с. Белое ($3,97\%$) на 2020 год, и соответственно наибольшие – р. Левая Березовка – с. Средигорное ($+36,3\%$), а наименьшие – для р. Белая – с. Белое ($3,43\%$) на 2030 год.

Отрицательные прогнозные значения минимального месячного зимнего стока получены для р. Буктырма в створе с. Лесная Пристань ($-32,8\%$) и р. Белая Берель – с. Берель ($-9,8\%$) на 2020 год и соответственно, с. Лесная Пристань ($-47,7\%$). Такое сильное снижение связано с увеличением водозабора по всей длине реки Буктырма (по данным Ертисского БВУ), который оказывает значительное влияние именно на сток в меженный период. Для р. Белая Берель – с. Берель снижение прогнозируется на $10,3\%$ на 2030 год. Для минимального месячного летнего стока к 2020 году отрицательные тенденции выявлены для р. Буктырма – с. Берель ($-1,6\%$), р. Буктырма – с. Лесная Пристань ($-14,9\%$), р. Белая Берель – с. Берель ($-21,2\%$) и р. Тургусын – с. Кутиха ($-0,9\%$).

Таблица 2 – Статистические параметры минимальных расходов воды ($Q_{\text{мин}}$ – месячные) и расходы воды различной обеспеченности основных рек бассейна р. Буктырма за расчетный период 1933–2014 гг.

| № п/п | Река-пункт | Площадь водосбора, км ² | Средняя высота водосбора, м | Период наблюдений | | Межень | Средний за период наблюдений, $Q_{\text{мин}}$, 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 % | 80 % | 90 % | 95 % | 97 % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 1 | Буктырма – с. Берель | 1850 | 2200 | 1958-98, 2005-2014 | 47 | летн. зимн. | 20,6 3,49 | 19,9 3,49 | 0,23 0,23 | 0,53 0,85 | 19,5 3,42 | 16,6 2,92 | 16,0 2,81 | 14,4 2,51 | 13,2 2,29 | 12,5 2,15 |
| 2 | Буктырма – с. Печи | 6860 | 1850 | 1940-2014 | 75 | летн. зимн. | 56,6 17,3 | 56,9 17,4 | 0,30 0,30 | 1,01 0,69 | 55,0 16,0 | 45,0 13,2 | 42,8 12,6 | 36,8 11,1 | 32,2 10,1 | 29,3 9,51 |
| 3 | Буктырма – с. Лесная Пристань | 10700 | 1520 | 1954-2014 | 61 | летн. зимн. | 120 28,1 | 123 29,1 | 0,40 0,25 | 1,11 0,0 | 107** 28,8** | 79,9** 23,6** | 74,8** 22,3** | 62,8** 18,8** | 54,4** 16,0** | 49,7** 14,2** |
| 4 | Ак Берель – с. Берель | 1040 | 2200 | 1958-93 | 35 | летн. зимн. | 14,0 2,98 | 13,7 3,09 | 0,29 0,17 | 2,77 0,00 | 13,2** 2,98** | 10,5** 2,58** | 9,88** 2,48** | 8,43** 2,22** | 7,47** 2,00** | 6,87** 1,86 |
| 5 | Орель – с. Орель | 158 | 1800 | 1959-90 | 31 | летн. зимн. | 1,28 0,78 | 1,40 0,80 | 0,23 0,16 | 0,68 0,85 | 1,40 0,79 | 1,18 0,70 | 1,12 0,68 | 0,98 0,63 | 0,87 0,59 | 0,80 0,57 |
| 6 | Черновая – с. Черновое | 481 | 1700 | 1954-98 | 44 | летн. зимн. | 3,15 1,10 | 3,21 1,09 | 0,31 0,19 | 1,30 1,19 | 3,12 1,06 | 2,46 0,93 | 2,31 0,90 | 1,93 0,82 | 1,66 0,76 | 1,49 0,73 |
| 7 | Белая – с. Белое | 945 | 1630 | 1954-98, 2005-2014 | 55 | летн. зимн. | 6,61 1,95 | 6,89 1,94 | 0,41 0,29 | 1,33 1,14 | 5,99** 1,91 | 4,45** 1,54 | 4,14** 1,46 | 3,42** 1,25 | 2,91** 1,09 | 2,64** 1,00 |
| 8 | Левая Березовка – с. Средидорное | 251 | 850 | 1948-2003, 2005-2014 | 66 | летн. зимн. | 0,70 0,52 | 0,70 0,52 | 0,35 0,30 | 0,58 0,33 | 0,67 0,49 | 0,52 0,40 | 0,49 0,38 | 0,41 0,33 | 0,35 0,29 | 0,32 0,26 |
| 9 | Тургысын – с. Кутиха | 1200 | 1470 | 1926-32, 1949-94, 2008-2014 | 60 | летн. зимн. | 23,4 5,62 | 26,1 6,11 | 0,35 0,39 | 0,00 0,65 | 23,0** 4,99** | 16,6** 3,44** | 15,2** 3,12** | 11,4** 2,34** | 8,41** 1,82** | 6,55** 1,53** |

Примечание: ** – по фактическому ряду наблюдений.

Таблица 3 – Статистические параметры минимальных расходов воды ($Q_{\text{мин}}$ – суточные) и расходы воды различной обеспеченности основных рек бассейна р. Буктырма за расчетный период 1933-2014 гг.

| № п/п | 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 | | | $Q_{\text{мин}}$, м ³ /с | Коэффициент вариации, Cv | Коэффициент асимметрии, Cs | 50 % | 75 % | 80 % | 90 % | 95 % | 97 % |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 1 | Буктырма – с. Берель | 1850 | 2200 | 1938-98, 2005-2014 | 47 | летн. зимн. | 15,5 2,51 | 16,0 2,47 | 0,26 0,33 | 0,48 0,72 | 16,0 2,38 | 13,1 1,87 | 12,4 1,76 | 10,7 1,47 | 9,41 1,26 | 8,60 1,13 |
| 2 | Буктырма – с. Печи | 6860 | 1850 | 1940-2014 | 75 | летн. зимн. | 50,9 14,2 | 51,3 14,6 | 0,28 0,31 | 1,72 0,29 | 51,0 14,3 | 43,1 11,4 | 41,1 10,8 | 36,0 9,04 | 31,8 7,75 | 28,9 6,94 |
| 3 | Буктырма – с. Лесная Пристань | 10700 | 1520 | 1954-2014 | 61 | летн. зимн. | 90,0 22,8 | 90,8 23,2 | 0,39 0,31 | 1,49 0,00 | 77,2** 23,5** | 28,4** 18,1** | 55,1** 16,8** | 48,0** 13,3** | 43,6** 10,4** | 41,9** 8,48** |
| 4 | Ак Берель – с. Берель | 1040 | 2200 | 1958-93 | 35 | летн. зимн. | 11,4 2,37 | 11,3 2,48 | 0,21 0,25 | 0,79 0,02 | 11,1** 2,37** | 9,10** 1,93** | 8,69** 1,81** | 7,57** 1,52** | 6,77** 1,28** | 6,26** 1,12** |
| 5 | Орель – с. Орель | 158 | 1800 | 1959-90 | 31 | летн. зимн. | 1,18 0,71 | 1,21 0,71 | 0,23 0,18 | 1,35 1,47 | 1,10** 0,67** | 0,90** 0,57** | 0,87** 0,56** | 0,78** 0,52** | 0,72** 0,49** | 0,69** 0,48** |
| 6 | Черновая – с. Черновое | 481 | 1700 | 1954-98 | 44 | летн. зимн. | 2,56 0,83 | 2,53 0,85 | 0,30 0,29 | 1,40 0,00 | 2,33 0,85 ^x | 1,89 0,67 ^x | 1,81 0,60 ^x | 1,61 0,27 ^x | 1,48 0,18 ^x | 1,40 0,15 ^x |
| 7 | Белая – с. Белое | 945 | 1630 | 1954-98, 2005-2014 | 55 | летн. зимн. | 4,77 1,49 | 4,75 1,48 | 0,35 0,33 | 1,92 0,97 | 4,29** 1,38** | 3,37** 1,05** | 3,19** 0,98** | 2,81** 0,82** | 2,57** 0,70** | 2,44** 0,64** |
| 8 | Левая Березовка – с. Средигорное | 251 | 850 | 1948-2003, 2005-2014 | 66 | летн. зимн. | 0,58 0,38 | 0,58 0,38 | 0,37 0,37 | 0,74 0,84 | 0,54 0,35 | 0,41 0,27 | 0,38 0,26 | 0,31 0,21 | 0,26 0,18 | 0,23 0,16 |
| 9 | Тургысын – с. Кутиха | 1200 | 1470 | 1926-32, 1949-94, 2008-2014 | 60 | летн. зимн. | 19,0 4,21 | 19,5 4,31 | 0,33 0,37 | 0,15 0,02 | 18,8 4,10 | 14,2 2,98 | 13,1 2,70 | 10,3 1,99 | 8,02 1,42 | 6,56 1,04 |

Примечание: ** – по фактическому ряду наблюдений.

Таблица 4 – Прогнозные изменения минимального месячного зимнего (ММЗ) и минимального месячного летнего (ММЛ) стоков основных рек бассейна р. Буктырма на основе трендов скользящих десятилетий за период 1974-2014 гг.

| Река-пост | Прогнозные изменения ММЗ стока (%) | | | | Прогнозные изменения ММЛ стока (%) | | | |
|-------------------------------------|------------------------------------|----------|------------|----------|------------------------------------|----------|------------|----------|
| | на 2020 г. | | на 2030 г. | | на 2020 г. | | на 2030 г. | |
| | Пол. (+) | Отр. (-) | Пол. (+) | Отр. (-) | Пол. (+) | Отр. (-) | Пол. (+) | Отр. (-) |
| р. Буктырма – с. Берель | 36 | | 51 | | | 1,6 | | 1,3 |
| р. Буктырма – с. Печи | 52 | | 72 | | 21,1 | | 29,2 | |
| Р. Буктырма – с. Лесная Пристань | | 32,8 | | 47,7 | | 14,9 | | 18,7 |
| р. Белая Берель – с. Берель | | 9,8 | | 10,3 | | 21,2 | | 30,1 |
| р. Орель – с. Орель | 18,1 | | 24,0 | | 25,2 | | 34,1 | |
| р. Черновая – с. Черновое | 15,3 | | 19,6 | | 12,4 | | 16,3 | |
| р. Белая – с. Белое | 34,7 | | 46,6 | | 3,97 | | 3,43 | |
| р. Левая Березовка – с. Средигорное | 31,9 | | 44,0 | | 26,9 | | 36,3 | |
| р. Тургусын – с. Кутиха | 1,2 | | 1,7 | | | 0,9 | | 1,3 |
| Среднее | 27,0 | 21,3 | 37,0 | 29,0 | 17,9 | 9,7 | 23,9 | 7,1 |
| Итого | ±24,2 | | ±33,0 | | ±13,8 | | ±15,5 | |

К 2030 году отрицательные тенденции изменяются незначительно и составят для р. Буктырма – с. Берель (-1,3 %), р. Буктырма – с. Лесная Пристань (-18,7 %), р. Белая Берель – с. Берель (-30,1%) и р. Тургусын – с. Кутиха (-1,3 %).

Таким образом, основываясь на экстраполяции выявленных тенденций многолетнего хода характеристик минимального месячного летнего и минимального месячного зимнего стоков, получены прогнозные сценарии увеличения практически для всех основных речных систем бассейна р. Буктырма.

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 в бассейне р. Буктырма, 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 оригинального метода 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. В результате проведенной реконструкции получен ряд репрезентативных наблюдений за 1933-2014 гг.

4. Результаты расчета статистических параметров минимального стока показали, что норма минимального стока определена со средней ошибкой $\pm 4,0$ %, а коэффициент вариации $C_v - \pm 3,1$ %.

5. Полученные статистические характеристики среднемноголетних значений минимальных месячных и суточных расходов воды летне-осенней и зимней межени и значения ми-

нимальных расходов воды различной обеспеченности за репрезентативный период 1933-2014 гг. могут быть использованы для водохозяйственного проектирования и при разработке водохозяйственных мероприятий.

6. Анализ результатов долгосрочного прогноза минимального месячного стока летне-осенней и зимней межени на 2020 и 2030 гг. показал, что основные выявленные тенденции

изменения минимального стока воды рек положительные. По основным рекам бассейна р. Буктырма прогнозные изменения минимального месячного зимнего стока к 2020 г. составят в среднем $\pm 24,2\%$, а к 2030 г. $\pm 33\%$, а минимального месячного летнего стока к 2020 г. составят около $\pm 14\%$, а к 2030 г. – около 16% от стока, среднего за период 1974-2014 гг.

Литература

- Norvatov A. M. & Popov O. V. Laws of the formation of minimum stream flow [Статья] // Hydrological Sciences Journal. – 1961 г. – 6 : Ч. 1. – С. 20-28. – DOI: 10.1080/02626666109493201 .
- Smith Laurence C. [и др.] Rising minimum daily flows in northern Eurasian rivers: A growing influence of groundwater in the high-latitude hydrologic cycle [Статья] // Journal of Geophysical Research. – 2007 г. – 112. – doi:10.1029/2006JG000327.
- Андреянов В. Г. Внутригодовое распределение речного стока [Книга]. – Л. : Гидрометеиздат, 1960. – С. 327.
- Владимиров А. М. Минимальный сток рек СССР [Книга]. – Л. : Гидрометеиздат, 1970. – С. 214.
- Водные ресурсы России и их использование [Книга]. – СПб : [б.н.], 2008. – С. 600.
- Государственный водный кадастр // Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1981-1990 гг. Реки и каналы. Бассейн рек Иртыш, Ишим, Тобол (верхнее течение). – Алматы : [б.н.], 2002 г. – Ч. 2. – С. 384.
- Государственный водный кадастр // Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1991-2000 гг. Реки и каналы. Бассейн рек Иртыш, Ишим, Тобол (верхнее течение). – Алматы : [б.н.], 2004 г. – Ч. 1. – С. 191.
- Государственный водный кадастр // Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2001-2014 г. Реки и каналы. Озера и водохранилища. Бассейн рек Ертис, Алматы-Астана, 2002-2017. – Астана : [б.н.], 2017 г. – Ч. 1.
- Государственный водный кадастр // Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2001-2014 г. Реки и каналы. Озера и водохранилища. Бассейн рек Ертис, Алматы-Астана, 2002-2017. – Алматы : [б.н.], 2017 г. – Ч. 2.
- Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Казахская ССР // Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. 1976-1980 гг. – Л. : Гидрометеиздат, 1987 г. – С. 468.
- Ресурсы поверхностных вод СССР // Гидрологическая изученность. Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – М. : Гидрометеиздат, 1966 г. – Ч. 15. – С. 216.
- Ресурсы поверхностных вод СССР // Основные гидрологические характеристики. Алтай и Западная Сибирь. – М.: Гидрометеиздат, 1965 г. – Ч. 15. – С. 224.
- Ресурсы поверхностных вод СССР // Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – Л. : Гидрометеиздат, 1969 г. – 1. – Ч. 15. – С. 318.
- 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. – Ч. 15. – С. 384.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 и весь период наблюдений) // Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – Т. 15. – С. 294.

References

- Norvatov, A. M., & O. V. Popov. «Laws of the formation of minimum stream flow.» Hydrological Sciences Journal, 1961: 20-28.
- Smith, Laurence C., Tamlin M. Pavelsky, Glen M. MacDonald, Alexander I. Shiklomanov, и 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, 2007.
- Andreyanov, V. G. Vnutrigodovoye raspredeleniye rechnogo stoka [Intra-annual distribution of river flow]. L.: Hydrometeoizdat, 1970.
- Vladimirov, A.M. Minimal'nyy stok rek SSSR [Minimal runoff of the rivers of the USSR]. L.: Hydrometeoizdat, 1970.
- Vodnyye resursy Rossii i ikh ispol'zovaniye. [Water resources of Russia and their use] St. Petersburg, 2008.
- «Gosudarstvennyy vodnyy kadastr.» Mnogoletniye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. 1981-1990 gg. Reki i kanaly. Basseyn rek Irtysh, Ishim, Tobol (verkhneye techeniye). [“State Water Cadastre.” Long-term data on the regime and resources of surface land waters. 1981-1990 Rivers and canals. The basin of the rivers Irtysh, Ishim, Tobol (upstream)] Vol. 2. № 2. Almaty, 2002. 384.
- «Gosudarstvennyy vodnyy kadastr.» Mnogoletniye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. 1991-2000 gg. Reki i kanaly. Basseyn rek Irtysh, Ishim, Tobol (verkhneye techeniye). [“State Water Cadastre.” Long-term data on the regime and

resources of surface land waters. 1991-2000 Rivers and canals. The basin of the rivers Irtysh, Ishim, Tobol (upstream)] Vol. 1. № 1. Almaty, 2004. 191.

«Gosudarstvennyy vodnyy kadastr.» Yezhegodnyye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. 2001-2014 g. Reki i kanaly. Ozera i vodokhranilishcha. Basseyn rek Yertis, Almaty-Astana, 2002-2017. [“State Water Cadastre.” Annual data on the regime and resources of surface land waters. 2001-2014 Rivers and canals. Lakes and reservoirs. The Ertis River Basin, Almaty-Astana, 2002-2017] Vol. 1. No. 1. Astana, 2017.

«Gosudarstvennyy vodnyy kadastr.» Yezhegodnyye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. 2001-2014 g. Reki i kanaly. Ozera i vodokhranilishcha. Basseyn rek Yertis, Almaty-Astana, 2002-2017. [“State Water Cadastre.” Annual data on the regime and resources of surface land waters. 2001-2014 Rivers and canals. Lakes and reservoirs. The Ertis River Basin, Almaty-Astana, 2002-2017] Vol. 2. № 1. Almaty, 2017.

«Gosudarstvennyy vodnyy kadastr.» Mnogoletniye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. Kazakhskaya SSR.» Basseyny Irtysha, Ishima, Tobola. 1976-1980 gg. [“State Water Cadastre.” Long-term data on the regime and resources of surface land waters. Kazakh SSR. “The pools of the Irtysh, Ishim, Tobol. 1976-1980] № 1. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 468.

«Resursy poverkhnostnykh vod SSSR.» Gidrologicheskaya izuchennost'. Altay i Zapadnaya Sibir'. Gornyy Altay i Verkhniy Irtysh. [“Surface water resources of the USSR.” Hydrological knowledge. Altai and Western Siberia. Mountain Altai and Upper Irtysh] Vol. 15. No. 1. M.: Gidrometeoizdat, 1966. 216.

«Resursy poverkhnostnykh vod SSSR.» Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki. Altay i Zapadnaya Sibir'. [“Resources of the surface waters of the USSR.” The main hydrological characteristics. Altai and Western Siberia] Vol. 15. No. 1. M.: Gidrometeoizdat, 1965. 224.

«Resursy poverkhnostnykh vod SSSR.» Altay i Zapadnaya Sibir'. Gornyy Altay i Verkhniy Irtysh. [“Surface Water Resources of the USSR.” Altai and Western Siberia. Mountain Altai and Upper Irtysh] Vol. 15. No. 1. L.: Gidrometeoizdat, 1969. 318.

«Resursy poverkhnostnykh vod SSSR.» Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki (za 1963-1970 gg.)» Altay, Zapadnaya Sibir' i Severnyy Kazakhstan. Verkhniy Irtysh, Verkhniy Ishim, Verkhniy Tobol. [“Surface water resources of the USSR.” The main hydrological characteristics (for 1963-1970). »Altai, Western Siberia and Northern Kazakhstan. Upper Irtysh, Upper Ishim, Upper Tobol] Vol. 15. No. 2. L.: Hydrometeoizdat, 1977. 384.

«Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki (za 1971-1975 i ves' period nablyudeniya).» [“Surface water resources of the USSR. The main hydrological characteristics (for 1971-1975 and the entire observation period). “Basins of the Irtysh, Ishim, Tobol] Basseyny Irtysha, Ishima, Tobola. Vol. 15. No. 2. L.: Gidrometeoizdat, 1980. 294.