

Казахский национальный аграрный исследовательский университет

УДК 556.1:627.81

На правах рукописи

КАНАТУҰЛЫ ӘДІЛЕТ

**Управление водными ресурсами Есильского водохозяйственного
бассейна в условиях нестационарности климата и стока**

8D08603 – Управление водными ресурсами с использованием IT-технологий

Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)

Научные консультанты:
к.г.н. Махмудова Л.К.

Зарубежный консультант:
д.т.н. Григорюк Матеуш
Варшавский университет
естественных наук
(Польша)

Республика Казахстан
Алматы, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

| | стр. |
|---|------|
| НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ | 3 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЯ | 4 |
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ | 7 |
| ВВЕДЕНИЕ | 8 |
| 1 ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА И ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА | 13 |
| 1.1 Строение поверхности водосбора рассматриваемой территории | 13 |
| 1.2 Климатические факторы формирования стока | 13 |
| 1.3 Условия и факторы формирования снежного покрова | 17 |
| 1.4 Гидрографическая сеть | 22 |
| 1.5 Характеристика водного режима рек | 26 |
| 1.6 Гидрологическая изученность территории | 26 |
| 2 ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА | 33 |
| 2.1 Многолетние колебания стока рек | 33 |
| 2.2 Статистическая структура временных рядов | 36 |
| 3 ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА | 45 |
| 3.1 Определение расчетных гидрологических характеристик | 45 |
| 3.2 Годовой сток. Обеспеченные величины годового стока рек | 46 |
| 4 НАГРУЗКА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА | 52 |
| 4.1 Внутригодовое распределение стока | 52 |
| 4.2 Оценка влияния водохранилищ на речной сток | 65 |
| 4.3 Изменение нагрузки на водные ресурсы под влиянием климатических и антропогенных факторов | 78 |
| 5 ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ Р. ЕСИЛЬ | 90 |
| 6 УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ | 103 |
| 6.1 Анализ проблем управления водными ресурсами Республики Казахстан | 104 |
| 6.2 Использование водных ресурсов Есильского водохозяйственного бассейна в отраслях экономики | 111 |
| 6.3 Рекомендации по управлению водными ресурсами рассматриваемой территории | 129 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 136 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 140 |

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 7.1-2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

СП 33-101-2003 Определение основных расчётных гидрологических характеристик.

ГОСТ 7.0.5-2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.0.11-2011. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Атмосферная циркуляция – система крупномасштабных воздушных течений над земным шаром или полушарием. Атмосферная циркуляция обусловлена неоднородным распределением температуры и атмосферного давления, возникновением, так называемого барического градиента. Переноса воздух, а с ним теплоту и влагу из одних широт и регионов в другие, атмосферная циркуляция является важнейшим климатообразующим фактором.

Безвозвратное водопотребление – вода, которая безвозвратно расходуется водопотребителем.

Внутригодовое распределение стока – распределение стока по частям года (сезонное, месяцам, декадам); обычно выражается в долях или процентах от величины годового стока. Расчетное внутригодовое распределение стока получают путем статистической обработки величин стока за различные периоды года и времени наступления этих периодов. Расчетное внутригодовое распределение стока обязательно должно учитывать водность года, т.е. строится применительно к многоводному или маловодному году различной обеспеченности.

Водные ресурсы – запасы поверхностных и подземных вод какой – либо территории. Имея в виду относительно небольшой объем используемой подземной и заключенной в озерах воды, под водными ресурсами крупных территорий и государств обычно понимают лишь величину годового стока рек. В отношении отдельных регионов и экономических районов оценка водных ресурсов осуществляется с учетом запасов вод подземных и аккумулированных в озерах.

Водный баланс – соотношение прихода и расхода воды с учетом изменения ее запасов за выбранный интервал времени для рассматриваемого объекта.

Водохозяйственные балансы – количественное сопоставление водных ресурсов с потребностями в воде в пределах какого-либо экономического района или физико-географического региона.

Водохранилище – искусственный водоем, в котором накапливаются запасы воды в периоды, когда приток превышает потребление, и из которого вода расходуется в периоды, когда приток воды не покрывает потребление.

Гидрограф стока – график изменения во времени расходов воды за год или часть года (сезон, половодье или паводок).

Гидрографическая сеть – совокупность рек и других постоянно и временно действующих водотоков, а также озер на какой-либо территории.

Гидрологические характеристики – количественные оценки элементов гидрологического режима.

Гидрологический режим – закономерные изменения состояния водного объекта во времени, обусловленные физико-географическими свойствами

бассейна и в первую очередь его климатическими условиями. Элементами гидрологического режима называют те процессы и явления, которые характеризуют гидрологический режим водного объекта (колебания уровня, расходов, температуры воды и т.п.).

Глобальное изменение климата – эффект, возникающий при сжигании топлива органического происхождения, вследствие чего содержание двуокиси углерода в атмосфере возрастает, что в свою очередь ведет к потеплению климата на Земле.

Интегральная кривая – графическая зависимость, характеризующая последовательность нарастания объемов воды, протекающих через рассматриваемый створ реки от некоторого начального момента времени. Иначе говоря, интегральная кривая изображает последовательность накопления объемов воды.

Лимитирующий период – при проектировании мероприятий, предназначенных для потребления или использования воды, – период, объединяющий два маловодных сезона года, в том числе лимитирующий. При проектировании мероприятий по борьбе с наводнениями – период, объединяющий два многоводных сезона, в том числе лимитирующий.

Метод водного баланса – использование закона сохранения материи в форме уравнения водного баланса для исследования закономерностей, существующих между приходом и расходом влаги на какой-либо период времени в пределах рассматриваемого участка территории, речного бассейна, озера, водохранилища, болота или иного водного объекта.

Метод гидрологической аналогии. При гидрологических прогнозах – способ предсказания изменения режима водного объекта в каком-либо году по годам-аналогам, подбираемых по признаку одинаковых с данным годом характеристик гидрометеорологических факторов, определяющих гидрологический режим. При гидрологических расчетах – способ приближенной оценки основных характеристик гидрологического режима неизученных водных объектов, основанный на подборе изученного объекта аналога, находящегося в сходных с неизученным объектом физико-географических условиях.

Метод скользящего осреднения – последовательное осреднение численных характеристик природных явлений в пределах выбранных интервалов времени. При этом интервал осреднения систематически смещается вдоль осредняемого ряда за счет исключения после каждого осреднения первого члена ряда в пределах интервала осреднения и включения следующего члена ряда, не участвовавшего в осреднении. Применяется в целях исключения второстепенных отклонений и выявления главных закономерностей, присущих данному явлению.

Метод теплового баланса – использование закона сохранения энергии в форме уравнения теплового баланса для исследования закономерностей, существующих между приходом и расходом тепла за какой-либо период времени в пределах рассматриваемого участка территории, речного бассейна, озера, водохранилища, болота или иного водного объекта.

Многолетние колебания стока – изменения водности рек, происходящие в течение многолетних периодов, в виде более или менее значительных отклонений от нормы. Эти отклонения проявляются в форме последовательной смены многоводных и маловодных циклов, различающихся как по своей длительности, так и по величине отклонения от среднего значения стока за весь рассматриваемый период.

Модуль стока – количество воды, стекающее с единицы площади водосбора в единицу времени.

Норма стока – средняя величина стока за определённый период времени (год, месяц и т.д.), вычисляемая по многолетнему ряду наблюдений. Норма стока является одной из основных характеристик стока для физико-географических условий речного бассейна.

Расход воды – объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени. На основании регулярных измерений расхода воды вычисляется сток за длительный период.

Слой стока – количество воды, стекающее с водосбора за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади этого водосбора.

Средняя высота водосбора – среднее арифметическое из абсолютных отметок высот точек, равномерно расположенных на водосборе.

Трансграничные реки – все реки и речные стоки, пересекающие линию и протекающие по линии государственной границы между соседних стран.

Тренд – медленное, постепенное изменение случайной переменной в течение рассматриваемого периода. Тренд может быть выделен и проанализирован методом наименьших квадратов. В простейшем случае тренд принимается линейным трендом.

Орошение – искусственное увлажнение почв с целью обеспечения необходимого водного и связанного с ним теплового режима на сельскохозяйственных площадях, испытывающих недостаток влаги для успешного развития возделываемых культур. Различают следующие виды:

1. регулярно действующие: а) самотечное; б) с механическим подъемом воды от места водосбора;

2. однократно действующие: а) паводковое (из каналов, работающих в периоды паводков в реке); б) лиманное – путем временного заполнения пониженных участков территории весенними водами.

Регулирование стока – искусственное перераспределение во времени стока в соответствии с требованиями потребления, выражающееся в увеличении или уменьшении стока в отдельные периоды времени по сравнению с естественным бытовым режимом. Это достигается временным задержанием воды в водохранилищах в периоды избытка воды над потребностью в ней и расходом накопленных запасов в периоды, когда потребление превышает естественный приток.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

| | |
|-------------------------|---|
| T | Температура воздуха, °С |
| P | Осадки, мм |
| H | Высота снежного покрова, см |
| $W_{\text{полез}}$ | Полезный объем водохранилища, млн. м ³ |
| E | Меридиональный тип формы атмосферной циркуляции |
| W | Широтная форма атмосферной циркуляции |
| C | Меридиональный тип формы атмосферной циркуляции |
| C_v | Коэффициент вариации |
| C_s | Коэффициент асимметрии |
| r_1 | Коэффициент автокорреляции |
| Q | Расход воды, м ³ /с |
| M | Модуль стока, л/с×км ² |
| k | Модульный коэффициент |
| Q_{max} | Максимальный расход воды, м ³ /с |
| Q_{min} | Минимальный расход воды, м ³ /с |
| σ_Q | Средняя квадратическая погрешность стока |
| σ_{Cv} | Средняя квадратическая погрешность коэффициента вариации |
| F | Площадь, км ² |
| r | Коэффициент регрессии |
| σ_r | Среднеквадратическая погрешность коэффициента регрессии |
| ϕ | Коэффициент естественной зарегулированности стока |
| P | Водность года расчетной обеспеченности |
| $\sum F_{\text{зер}}$ | Суммарная площадь зеркала прудов и водохранилищ, км ² |
| $W_{\text{доп.}}$ | Потери стока на испарение с водной поверхности |
| R | Уменьшение естественного стока |
| ΔH | Глубина затопления поймы, м |
| H_{max} | Максимальный уровень воды, м |
| H_n | Уровень выхода воды на пойму, м |
| $\Delta U_{\text{ком}}$ | Уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления |
| $Q_{\text{взб.ком}}$ | Объем водозабора на коммунальные нужды |
| $\Delta U_{\text{пр}}$ | Уменьшение среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления |
| $Q_{\text{изб.пр}}$ | Суммарные водозаборы на нужды промышленности |
| МС | Метеорологическая станция |
| НПУ | Нормально подпертый уровень |
| СССР | Союз Советских Социалистических Республик |
| ООН | Организация объединенных наций |
| СНГ | Союз Независимых Государств |
| РГП | Республиканское государственное предприятие |
| ЦУР | Цели устойчивого развития |

ВВЕДЕНИЕ

Для Казахстана, как и для многих стран Центральной Азии, водные ресурсы являются одним из главных факторов, определяющих устойчивое социально-экономическое развитие. По водообеспеченности наша республика занимает последнее место среди стран СНГ. Удельная водообеспеченность её территории равна 37 тыс. м³ на 1 км² или 6 тыс. м³ на одного человека. Отдельные регионы страны, в том числе рассматриваемая территория Есильского водохозяйственного бассейна, по уровню водообеспеченности, можно отнести к территориям с водным дефицитом. К тому же, использование этих скудных ресурсов затруднено рекордной временной изменчивостью стока равнинных рек. Поверхностные водотоки по территории распределены крайне неравномерно. Кроме того, существуют значительные сезонные колебания, как в многолетнем разрезе, так и во внутригодовом, что обуславливает неравномерную обеспеченность речными водами по территории.

Многообразие задач и вопросов, стоящих перед водным хозяйством, требует тщательного изучения водных ресурсов, их регулирования и управления на основе достоверной информации о состоянии водопользования населением и отраслями экономики, водообеспечения природных комплексов, качественного состояния водных ресурсов, как поверхностных, так и подземных.

В настоящее время во многих речных бассейнах Казахстана явственно прослеживаются крупные водохозяйственные проблемы, которые уже через несколько лет могут стать фактором, сдерживающим социально-экономическое развитие некоторых регионов. Поэтому назрела необходимость принятия безотлагательных мер с учетом долговременного характера разработки и реализации водохозяйственных проектов.

Решение этих вопросов зависит не только от внутригосударственного управления водными ресурсами, но также и от межгосударственного сотрудничества с сопредельными странами в области совместного использования и охраны трансграничных вод. Фактором, осложняющим принятие мер, безусловно, является недостаточная изученность влияния изменения социально-экономических и климатических условий на водохозяйственный комплекс, особенно в последние десятилетия.

При разработке и реализации долгосрочных программ в области рационального управления и охраны водных объектов, планирования и реализации капиталоемких водохозяйственных мероприятий, направленных на решение проблем водообеспечения, необходимо иметь научно обоснованные оценки происходящих и возможных в будущем изменений количества и качества водных ресурсов, водного режима рек под влиянием естественных и антропогенных факторов. Поэтому научное прогнозирование имеет большое значение для развития этой отрасли экономики [1-8].

Оценка состояния водных ресурсов, их качества и рационального использования, устойчивого развития регионов во второй половине XX в. –

начале XXI в. является одной из самых актуальных тем международных научно-практических конференций. За последние годы по этой проблематике вышла серия докладов под эгидой ООН. Начиная с 2000-х гг., UN-Water (Программа оценки водных ресурсов ЮНЕСКО) готовит доклады об освоении водных ресурсов мира (The United Nations World Water Development Report (WWDR)). Такое пристальное внимание научной общественности к проблемам использования и доступности водных ресурсов, прежде всего, питьевого качества не могло не сказаться на степени разработанности указанной тематики [4].

Усилиями ведущих научно-исследовательских учреждений (World Resources Institute, Государственный гидрологический институт, Институт географии и водной безопасности Республики Казахстан) получены достоверные результаты высокого уровня. К настоящему времени признано, что кризис водных ресурсов – это, в первую очередь, кризис управления, вода имеет решающее значение для благосостояния людей, является важным ресурсом экономической деятельности стран. Среди полученных достоверных результатов – сравнительные оценки современной и перспективной водообеспеченности стран мира и Казахстана.

В основу оценок водообеспеченности территорий положены: накопленный обширный банк наблюдаемых гидрологических и метеорологических данных, принципиальные подходы к изучению многолетней и внутригодовой изменчивости режима водных объектов, ретроспективный и перспективный анализ использования водных ресурсов и антропогенных воздействий на них.

Актуальность темы. На современном этапе развития управление водными ресурсами в Казахстане необходимо переводить на новый, более высокий уровень с применением принципов интегрированного управления водными ресурсами, как признанной в мире практики. На самом деле этот принцип не находит практического применения и только декларируется в теории. В качестве нового подхода мировая наука предлагает методологию интегрированного управления водными ресурсами, в рамках которой разработаны критерии оценки водообеспечения регионов, и которая в свете Концепции устойчивого развития позволяет более эффективно решать проблемы рационального водопользования. Преимуществом интегрированного управления водными ресурсами является возможность интегрированного, включенного в систему принятия решения, рассмотрения вопросов дефицита или нехватки вод питьевого качества, других водохозяйственных проблем на равных условиях с проблемами охраны и восстановления водных ресурсов, экологической реабилитации водных объектов [1-10].

Вместе с тем, дальнейшее развитие исследований данной тематики требует повышения корректности проводимых оценок на региональном уровне. Для этого нами предлагается продолжить работы по обобщению накопленных гидролого-климатических и водохозяйственных данных;

применение информационных технологий; разработка рекомендаций по управлению водными ресурсами Есильского водохозяйственного бассейна.

Связь темы с научно-исследовательскими работами. Научные исследования, проводимые по теме диссертации, вошли в качестве составной части выполняемых работ по проекту ИРН АР19679134 «Разработка и совершенствование методических основ расчета минимального стока рек равнинного Казахстана в условиях нестационарности климата и стока», Государственное Учреждение «Комитет науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан», период реализации проекта 2023-2025 гг.

Цель исследования: целью диссертационного исследования является разработка рекомендаций по управлению водными ресурсами Есильского водохозяйственного бассейна в условиях нестационарности климата и стока.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ и оценка природных условий формирования речного стока и особенностей гидрологического режима рек Есильского водохозяйственного бассейна (строение поверхности водосбора рассматриваемой территории, климатические факторы формирования стока, условия и факторы формирования снежного покрова, гидрографическая сеть, характеристика гидрологического режима рек, гидрологическая изученность территории).

2. Оценка пространственно-временных закономерностей изменения стока (оценка многолетних колебаний стока, статистическая структура временных рядов, группировки маловодных лет).

3. Анализ и оценка основных гидрологических характеристик рек Есильского водохозяйственного бассейна (годовой сток, внутригодовое распределение стока, максимальный сток, минимальный сток, обеспеченные величины стока рек).

4. Анализ и оценка нагрузки на водные ресурсы рассматриваемого региона (оценка влияния водохранилищ на речной сток, изменение нагрузки на водные ресурсы под влиянием климатических и антропогенных факторов).

5. Оценка опасности наводнений в бассейне р. Есиль (количественные оценки гидрологических экстремумов, характеризующих опасность наводнений, для Есильского водохозяйственного бассейна).

6. Анализ и обобщение концептуальных подходов и принципов оценок водообеспеченности Есильского водохозяйственного бассейна.

7. Разработка рекомендаций для концепции управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности климата и стока Есильского водохозяйственного бассейна в целях рационального использования и управления водными ресурсами.

Объектами исследования являются реки, водохранилища Есильского водохозяйственного бассейна.

Предмет исследования: основные гидрологические характеристики в условиях нестационарности климата и стока.

Использованные данные. При проведении диссертационного исследования использованы данные наблюдений на гидрометеорологической

сети рек Есильского водохозяйственного бассейна и фондовые фактические материалы РГП «Казгидромет» (среднемесячный, годовой, максимальный, минимальный сток рек рассматриваемой территории за весь период инструментальных наблюдений), использованы данные Бюро национальной статистики, агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан и данные Комитета по водным ресурсам.

Методика исследований. Среди подходов и методов, предлагаемых к решению поставленных задач, в качестве основных использованы: системный метод, сравнительный метод, количественный (математический) метод, статистический метод, картографический метод, метод компьютерной обработки информации и логического моделирования, концепция устойчивого развития, методология интегрированного управления водными ресурсами, современные методики оценки водообеспеченности населения и экономики вододефицитных территорий (реальная водообеспеченность), способы и приемы определения антропогенных нагрузок на водные объекты и их водосборные территории (прямые и косвенные воздействия).

Гидрологические изменения во времени определены на основании анализа гидрометеорологических рядов. Пространственные изменения гидрологических характеристик и обработка картографических материалов выполнены на основе геоинформационных технологий.

Научная новизна:

– методика и результаты оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на годовой сток рек Есильского водохозяйственного бассейна;

– методика оценки нормы и изменчивости годового, максимального и минимального стока в условиях его нестационарности в бассейнах рек Есильского водохозяйственного бассейна при различных уровнях хозяйственной деятельности;

– методика и результаты количественной оценки изменения нагрузки на водные ресурсы рассматриваемого региона под влиянием климатических и антропогенных факторов;

– методика и результаты количественной оценки гидрологических экстремумов, характеризующих опасность наводнений для Есильского водохозяйственного бассейна;

– рекомендации для концепции управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности климата и стока Есильского водохозяйственного бассейна в целях рационального использования и управления водными ресурсами.

Основные результаты, выносимые на защиту:

– методика и результаты оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на годовой сток рек Есильского водохозяйственного бассейна;

– оценка нормы и изменчивости годового, максимального и минимального стока в условиях его нестационарности в бассейнах рек

Есильского водохозяйственного бассейна при различных уровнях хозяйственной деятельности;

– результаты оценки изменения внутригодового распределения стока рек при различных уровнях хозяйственной деятельности;

– результаты количественной оценки влияния водохранилищ на речной сток в годы различной водности;

– результаты количественной оценки изменения нагрузки на водные ресурсы рассматриваемого региона под влиянием климатических и антропогенных факторов;

– результаты количественной оценки гидрологических экстремумов, характеризующих опасность наводнений для Есильского водохозяйственного бассейна;

– рекомендации для концепции управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности климата и стока Есильского водохозяйственного бассейна в целях рационального использования и управления водными ресурсами.

Практическая значимость. Полученные научные результаты могут быть использованы для оценки речного стока Есильского водохозяйственного бассейна, для разработки природоохранных мероприятий, использование рекомендаций позволит рационально использовать природные ресурсы региона и обосновывать модели адаптации хозяйственной деятельности к изменяющемуся климату и водным ресурсам рассматриваемой территории.

– произведена оценка пространственно-временных закономерностей изменения стока (оценка многолетних колебаний стока, статистическая структура временных рядов, группировки маловодных и многоводных лет);

– для исследуемого региона произведена детальная количественная оценка изменений годового стока, максимального стока, минимального стока рек с учетом климатического влияния и антропогенного воздействия на современный период;

– выявлены периоды речного стока с различным уровнем хозяйственной деятельности: условно-естественным и нарушенным стоком, восстановлен естественный сток в бассейнах рек Есильского водохозяйственного бассейна;

– выявлены количественные изменения внутригодового распределения стока рек Есильского водохозяйственного бассейна в результате антропогенного воздействия на режим стока;

– выявлены количественные изменения влияния водохранилищ на сток рек Есильского водохозяйственного бассейна в результате антропогенного воздействия на режим стока;

– выявлены количественные изменения гидрологических экстремумов, характеризующих опасность наводнений для Есильского водохозяйственного бассейна;

– выявлены количественные изменения нагрузки на водные ресурсы рассматриваемого региона под влиянием климатических и антропогенных факторов;

– выявлены количественные изменения использования водных ресурсов Есильского водохозяйственного бассейна в различных отраслях экономики;

– разработаны рекомендации для концепции управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности климата и стока Есильского водохозяйственного бассейна в целях рационального использования и управления водными ресурсами.

Личный вклад соискателя заключается в сборе и анализе исходной информации; в восстановлении рядов наблюдений, в выполнении гидрологических расчетов (оценка многолетних колебаний стока, статистическая структура временных рядов, группировки маловодных лет, оценка годового стока, оценка внутригодового распределения стока, оценка влияния водохранилищ на речной сток, оценка изменения нагрузки на водные ресурсы под влиянием климатических и антропогенных факторов, количественная оценка гидрологических экстремумов, характеризующих опасность наводнений), в разработке рекомендаций для концепции управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности климата и стока Есильского водохозяйственного бассейна в целях рационального использования и управления водными ресурсами.

Апробация работы. Основные положения, выводы и результаты диссертационной работы опубликованы на следующих международных научно-практических конференциях:

– Международная научно-практическая конференция «Управление водными ресурсами в условиях глобализации», г. Алматы (Республика Казахстан), 2021 г.

– Международная конференция, посвященная 70-летию юбилею Б.М. Койбакова «Климат и водные ресурсы: мелиорация и экология», г. Тараз (Республика Казахстан), 2022 г.

Публикация работы. По теме диссертации опубликовано 8 научных статей.

Состав и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 разделов, заключения и списка использованных источников из 151 наименований. Объем работы составляет 152 страниц компьютерного набора, работа иллюстрирована 41 таблицами и 19 рисунками.

1 ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА И ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

1.1 Строение поверхности водосбора рассматриваемой территории

По устройству поверхности рассматриваемая территория представляет собой холмистую равнину с преобладающими отметками от 300 до 400 м абс., над равниной возвышаются сопки и увалы, которые образуют небольшие горные кряжи, высотой от 700 до 800 м над уровнем моря. Возвышенности мелкосопочника имеют плавные очертания, крутизна склонов составляет от 5 до 10 м.

Понижения между холмами заняты широкими плоскими долинами или неглубокими замкнутыми котловинами. Депрессии рельефа выполнены осадочными породами – песчаниками, глинами, рыхлыми продуктами разрушения коренных пород. По речным долинам распространены аллювиальные отложения, представленные толщами песков, галечников и глин, достигающих мощности от 20 до 30 м.

Наиболее плоским рельефом отличается территория, расположенная вдоль р. Есиль, сопок здесь меньше, рельеф характеризуется большим количеством замкнутых понижений, обычно занятых озерами.

На общем фоне мелкосопочника выделяются обособленные горные поднятия, хребты, а местами отдельные низкогорные массивы. В западной части Карагандинской области таким массивом являются горы Улытау высотой до 1135 м абс. Менее высоки горы Аркалык и Нияз, расположенные на северо-востоке Карагандинской области (хребты поднимаются на высоту от 300 до 500 м).

Горный облик возвышенность имеет лишь в тех местах, где при значительной расчлененности рельефа относительные превышения холмов, сложенных массивно-кристаллическими породами, достигают от 80 до 100 м и более (верхние части водосборов рек Аршалы, Саркырама и др.).

Амплитуда высот в пределах Акмолинской области довольно значительна (около 600 м), что обусловлено не только наличием отдельных возвышенностей, но и расположением этой территории на границе с Западно-Сибирской низменностью. При выходе на неё долины рек Есиль и Селеты (Силеты) имеют абсолютные отметки всего около 200 м.

Таким образом, основным элементом рельефа является волнистая равнина с разбросанными по её поверхности изолированными сопками или группами возвышенностей. Отличительная черта поверхности рассматриваемой территории – большое количество плоских бессточных понижений, имеющих характер степных блюдец, диаметром от 100 до 1000 м, при глубине от 1-2 м до 4-5 м [11, 12].

1.2 Климатические факторы формирования стока

Центральный Казахстан характеризуется резко континентальным и засушливым климатом, что обусловлено удаленностью территории от

больших водных пространств, а также свободным доступом на её пределы теплого сухого субтропического воздуха пустынь Центральной Азии и холодного, бедного влагой арктического воздуха, перемещающихся в меридиональном направлении. Для теплого полугодия характерны высокая температура воздуха незначительные осадки и довольно большая относительная сухость воздуха. Для холодного полугодия – продолжительная суровая зима с устойчивым зимним покровом, значительными скоростями ветра и довольно частыми метелями.

Весна наступает в конце марта – начале апреля и длится всего один-два месяца. Лето продолжается четыре-пять месяцев. Осень, как и весна короткая. Зима начинается в ноябре, заканчивается в марте.

Температура воздуха. Внутригодовой ход температуры воздуха характеризуется устойчивыми сильными морозами в зимний период, интенсивным нарастанием тепла в короткий весенний сезон и жарой в течение продолжительного лета. Средняя годовая температура воздуха колеблется на рассматриваемой территории от 0,8 °С до 3,0°С (рисунок 1).

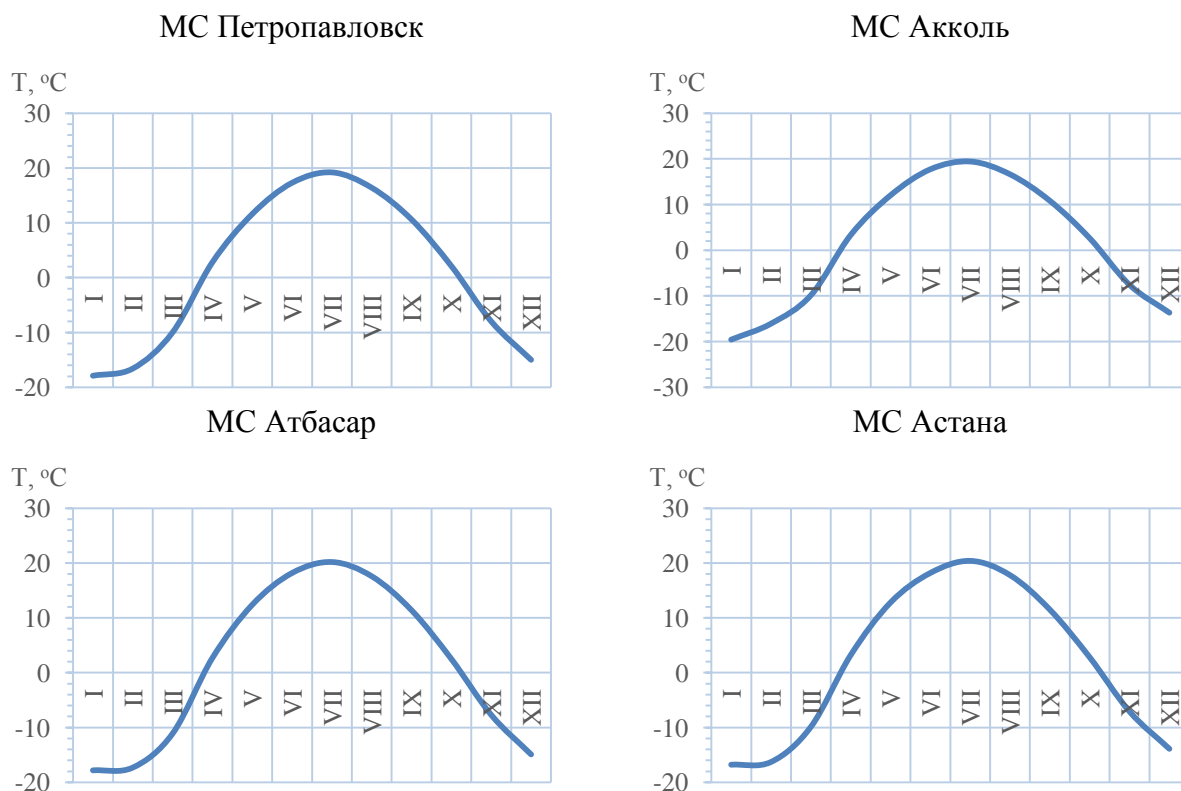


Рисунок 1 – Средняя годовая температура воздуха по метеостанциям рассматриваемой территории

Наиболее холодным месяцем является январь. Средняя температура воздуха в январе составляет от «минус» 14,8 °С до «минус» 19,6 °С (таблица 1). Абсолютные минимумы в отдельные годы достигают до «минус» 50 °С. Наиболее теплым месяцем является июль. Средняя температура воздуха в июле колеблется от 18,7 °С до 22,0 °С (таблица 1). Абсолютные максимумы

температуры воздуха достигают от 40 °С до 45 °С. Таким образом амплитуда колебаний среднемесячных температур воздуха составляет около 40 °С, абсолютная амплитуда превышает 90 °С [13, 14].

Таблица 1 – Среднемноголетняя месячная и годовая температура воздуха (в °С)

| Метеостанция | Высота, м | Месяцы | | | | | | | | | | | | Год |
|------------------|-----------|--------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-------|-----|
| | | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| Булаево | 132 | -17,7 | -16,4 | -9,5 | 3,3 | 11,9 | 17,5 | 19,2 | 16,2 | 10,5 | 2,3 | -8,3 | -14,9 | 1,2 |
| Петропавловск | 140 | -17,9 | -16,6 | -10,0 | 2,8 | 11,6 | 17,3 | 19,2 | 16,4 | 10,6 | 2,1 | -8,0 | -15,0 | 1,0 |
| Возвышенка | 126 | -18,1 | -17,3 | -10,6 | 2,8 | 11,9 | 17,7 | 19,5 | 16,5 | 10,6 | 2,2 | -8,6 | -15,1 | 1,0 |
| Явленка | 114 | -17,2 | -16,4 | -9,6 | 3,4 | 12,2 | 17,9 | 19,5 | 16,7 | 11,0 | 2,6 | -7,6 | -14,4 | 1,5 |
| Благовещенка | 150 | -17,4 | -16,4 | -9,7 | 3,5 | 12,3 | 17,9 | 19,5 | 16,7 | 11,0 | 2,6 | -7,7 | -14,2 | 1,5 |
| Сергеевка | 153 | -17,1 | -16,2 | -9,7 | 4,2 | 12,5 | 18,6 | 20,0 | 16,9 | 11,1 | 3,0 | -7,6 | -13,6 | 1,8 |
| Красноармейск | 155 | -16,8 | -16,1 | -9,2 | 3,8 | 12,2 | 18,2 | 19,7 | 16,9 | 11,1 | 2,9 | -7,6 | -14,1 | 1,8 |
| Свх. Восход | 169 | -16,8 | -16,3 | -9,4 | 4,1 | 12,7 | 18,4 | 20,1 | 17,0 | 11,1 | 2,6 | -7,3 | -13,5 | 1,9 |
| Кзылту | 137 | -17,2 | -16,6 | -9,5 | 3,9 | 12,6 | 18,9 | 20,6 | 17,2 | 11,2 | 2,6 | -7,8 | -14,1 | 1,8 |
| Чкалово | 165 | -15,4 | -14,7 | -8,3 | 4,6 | 12,7 | 18,7 | 20,1 | 16,9 | 11,1 | 3,0 | -6,8 | -12,4 | 2,4 |
| Балкашино | 398 | -17,4 | -16,7 | -10,4 | 2,6 | 11,5 | 17,0 | 18,7 | 15,9 | 10,2 | 1,8 | -8,5 | -14,7 | 0,8 |
| Степногорск АМСГ | 328 | -15,6 | -15,5 | -9,2 | 4,3 | 12,2 | 18,4 | 20,0 | 17,1 | 11,2 | 3,1 | -7,3 | -12,6 | 2,2 |
| Акколь | 383 | -19,6 | -16,1 | -9,9 | 3,3 | 12,0 | 17,7 | 19,4 | 16,6 | 10,8 | 2,6 | -7,6 | -13,7 | 1,5 |
| Жаксы | 386 | -16,1 | -15,7 | -9,4 | 4,2 | 12,9 | 19,0 | 20,3 | 17,6 | 11,6 | 3,0 | -7,4 | -12,9 | 2,3 |
| Есиль | 219 | -16,6 | -16,1 | -9,4 | 4,6 | 13,5 | 19,2 | 20,8 | 18,2 | 12,2 | 3,2 | -7,0 | -13,6 | 2,4 |
| Атбасар | 302 | -17,8 | -17,3 | -11,1 | 2,7 | 12,4 | 18,2 | 20,2 | 17,6 | 11,4 | 2,5 | -7,7 | -14,9 | 1,4 |
| Ерейментау | 397 | -14,8 | -14,8 | -9,0 | 3,8 | 12,3 | 18,3 | 20,0 | 17,2 | 11,5 | 2,9 | -6,7 | -12,3 | 2,4 |
| Жалтыр | 304 | -16,5 | -16,6 | -10,0 | 4,0 | 13,1 | 18,8 | 20,4 | 17,8 | 11,9 | 3,1 | -7,4 | -13,8 | 2,1 |
| Кийма | 270 | -15,5 | -16,0 | -10,3 | 4,3 | 13,1 | 19,8 | 21,4 | 18,8 | 11,8 | 4,0 | -7,8 | -13,5 | 2,5 |
| Астана | 349 | -16,8 | -16,3 | -9,9 | 3,2 | 12,8 | 18,2 | 20,4 | 17,8 | 11,5 | 2,8 | -7,1 | -13,9 | 1,9 |
| Егинлыколь | 341 | -15,4 | -16,0 | -10,0 | 4,6 | 13,5 | 19,7 | 21,1 | 18,6 | 12,3 | 3,6 | -7,1 | -13,2 | 2,6 |
| Державинск | 267 | -16,1 | -16,2 | -9,6 | 5,1 | 14,1 | 20,3 | 22,0 | 19,1 | 12,8 | 3,9 | -6,3 | -13,1 | 3,0 |
| Аршалы | 426 | -14,8 | -15,2 | -9,5 | 4,2 | 12,6 | 18,8 | 20,3 | 17,8 | 11,6 | 3,1 | -7,1 | -12,6 | 2,4 |

Коэффициент линейного тренда, характеризующий изменение среднего уровня температуры, составляет для января 0,2–0,8 °С/10 лет. Трендовая составляющая выражена коэффициентом детерминации, формула вычисления и интерпретация которого приведена во многих работах, включая [15]. В последние 10 лет преобладали положительные отклонения температуры приземного воздуха в холодный период.

Повышение температуры приземного воздуха холодного периода происходило со скоростью 0,5 °С за каждые 10 лет. На территории Акмолинской области можно выделить несколько лет с аномально низкими температурами холодного периода. Это зимы 1966-1967, 1968-1969, 1976-1977, 1984-1985, 1993-1994 гг., когда отрицательные аномалии составляли 0,2-7 °С.

В последние 20 лет температура воздуха холодного периода чаще была выше нормы, рассчитанной за современный период. Самая высокая температура холодного периода на рассматриваемой территории Акмолинской области наблюдалась зимой 1982-1983 гг. и 2001-2002 гг., когда температура была выше нормы на 4-5 °С.

На территории Северо-Казахстанской области также можно выделить несколько лет с аномально низкими температурами холодного периода. Это зимы 1968-1969, 1976-1977, 1984-1985, 1993-1994 гг. (как и на территории Акмолинской области), когда отрицательные аномалии составляли 2-7 °С. Повышение температуры приземного воздуха холодного периода происходило со скоростью 0,6 °С за каждые 10 лет. Самая высокая температура холодного периода на рассматриваемой территории Северо-Казахстанской области наблюдалась зимой 1982-1983 гг. и 2001-2002 гг., когда температура была выше нормы на 5-6 °С.

Осадки. Атмосферные осадки на рассматриваемой территории распределяются весьма неравномерно. Закономерность уменьшения их с северо-запада на юго-восток часто нарушается под влиянием Центрально-Казахстанского мелкосопочника. Наибольшее за год количество осадков выпадает в горных районах мелкосопочника, а наименьшее среднегодовое количество осадков наблюдается в южных районах рассматриваемой территории (таблица 2) [16, 17].

Таблица 2 – Среднемноголетнее месячное, сезонное и годовое количество осадков (в мм)

| Метеостанция | Месяцы | | | | | | | | | | | | Год | XI-III | IV-X |
|------------------|--------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|--------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | | | |
| Булаево | 15 | 12 | 2 | 20 | 29 | 48 | 72 | 55 | 33 | 29 | 23 | 19 | 367 | 81 | 286 |
| Петропавловск | 16 | 12 | 11 | 20 | 31 | 49 | 61 | 50 | 32 | 30 | 24 | 20 | 356 | 83 | 273 |
| Возвышенка | 14 | 11 | 10 | 19 | 27 | 42 | 65 | 46 | 27 | 26 | 19 | 15 | 321 | 69 | 252 |
| Явленка | 13 | 11 | 10 | 20 | 31 | 49 | 68 | 49 | 30 | 30 | 20 | 16 | 347 | 70 | 277 |
| Благовещенка | 15 | 12 | 11 | 21 | 34 | 46 | 64 | 45 | 33 | 30 | 23 | 18 | 352 | 79 | 273 |
| Сергеевка | 19 | 16 | 13 | 22 | 31 | 38 | 59 | 46 | 32 | 32 | 24 | 22 | 354 | 94 | 260 |
| Красноармейск | 13 | 10 | 11 | 19 | 32 | 43 | 69 | 48 | 27 | 27 | 19 | 15 | 333 | 68 | 265 |
| Свх. Восход | 14 | 11 | 11 | 20 | 29 | 41 | 53 | 45 | 28 | 28 | 21 | 18 | 319 | 75 | 244 |
| Кзылту | 17 | 13 | 12 | 17 | 29 | 37 | 55 | 46 | 26 | 24 | 22 | 18 | 316 | 82 | 234 |
| Чкалово | 13 | 10 | 11 | 19 | 30 | 39 | 68 | 53 | 26 | 23 | 20 | 15 | 327 | 69 | 258 |
| Балкашино | 20 | 15 | 16 | 23 | 35 | 43 | 59 | 39 | 28 | 36 | 28 | 22 | 364 | 101 | 263 |
| Степногорск АМСГ | 18 | 15 | 14 | 24 | 32 | 37 | 53 | 41 | 24 | 24 | 21 | 18 | 321 | 86 | 235 |
| Акколь | 18 | 13 | 16 | 25 | 36 | 42 | 61 | 46 | 29 | 33 | 28 | 21 | 368 | 96 | 272 |
| Жаксы | 31 | 23 | 17 | 23 | 31 | 30 | 42 | 28 | 26 | 30 | 29 | 32 | 342 | 132 | 210 |
| Есиль | 14 | 9 | 10 | 18 | 32 | 34 | 40 | 28 | 21 | 24 | 17 | 16 | 263 | 66 | 197 |
| Атбасар | 22 | 18 | 21 | 22 | 31 | 38 | 46 | 32 | 25 | 26 | 25 | 25 | 331 | 111 | 220 |
| Ерейментау | 26 | 20 | 19 | 21 | 38 | 45 | 67 | 46 | 31 | 31 | 23 | 23 | 390 | 111 | 279 |
| Жалтыр | 17 | 14 | 15 | 20 | 32 | 41 | 55 | 33 | 25 | 27 | 23 | 20 | 322 | 89 | 233 |
| Кийма | 12 | 10 | 11 | 16 | 27 | 27 | 38 | 22 | 26 | 18 | 15 | 16 | 238 | 64 | 174 |
| Астана | 23 | 13 | 20 | 21 | 30 | 40 | 50 | 38 | 27 | 27 | 24 | 23 | 342 | 109 | 233 |
| Егинлыкколь | 21 | 17 | 13 | 21 | 29 | 31 | 39 | 25 | 21 | 24 | 23 | 21 | 285 | 95 | 190 |
| Державинск | 24 | 19 | 10 | 19 | 27 | 24 | 27 | 23 | 18 | 26 | 24 | 23 | 264 | 100 | 164 |
| Аршалы | 16 | 13 | 11 | 20 | 39 | 39 | 39 | 30 | 24 | 29 | 22 | 19 | 301 | 81 | 220 |

Максимум осадков наблюдается в июле, минимум в феврале – марте (рисунок 2), но нередко бывает и в первые зимние месяцы (в декабре), из года в год количество осадков колеблется в весьма значительных пределах. В исключительно засушливые годы сумма осадков может снизиться до 50-

100 мм. В исключительно многоснежные и дождливые годы количество осадков достигает до 600 мм [16, 17].

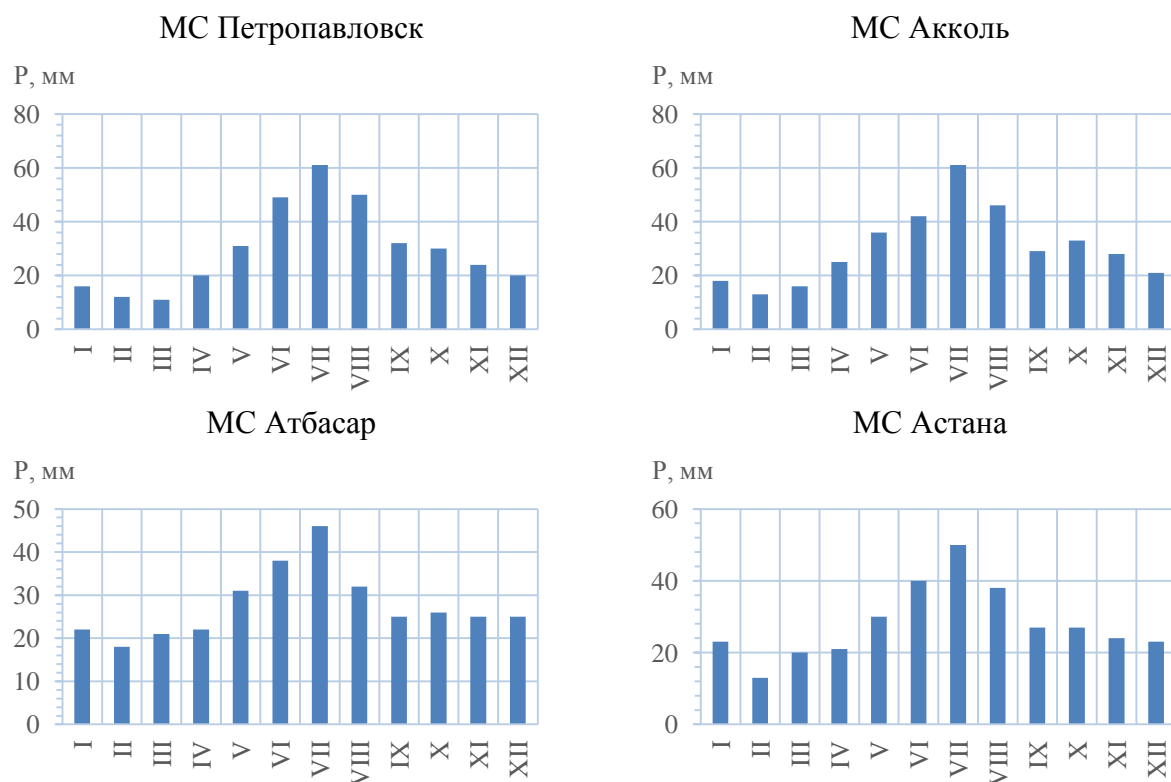


Рисунок 2 – Среднегодовое количество осадков по метеостанциям рассматриваемой территории

Анализ линейного тренда во временном ходе аномалий годовых сумм осадков и сумм осадков холодного периода показал, что значительных изменений за многолетний период не наблюдается, тренды не выявлены. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- повышение температуры приземного воздуха холодного периода происходило со скоростью 0,5-0,6 °С за каждые 10 лет, выделены несколько лет с аномально низкими температурами холодного периода. Это зимы 1968-1969, 1976-1977, 1984-1985, 1993-1994 гг., когда отрицательные аномалии составляли 2-7 °С.

- анализ линейного тренда во временном ходе аномалий годовых сумм осадков и сумм осадков холодного периода показал, что значительных изменений за многолетний период не наблюдается, тренды не выявлены.

1.3 Условия и факторы формирования снежного покрова

Распределение снежного покрова по рассматриваемой территории подчиняется широтной зональности (убывание высоты снежного покрова и запасов воды в нем, а также сокращение продолжительности залегания снежного покрова в направлении с севера на юг).

Однако закономерности в сроках установления и схода снежного покрова, а также в распределении снегозапасов по рассматриваемой территории значительно нарушаются под влиянием рельефа местности. Первые снегопады и неустойчивый снежный покров на севере территории иногда наблюдается уже в конце сентября. В большинстве случаев появление снежного покрова приходится на конец октября на севере и востоке и середину ноября на западе и юге. Устойчивый снежный покров в наибольшей части рассматриваемой территории устанавливается обычно во второй-третьей декадах ноября, а в южной части – в начале декабря. В отдельные годы образование устойчивого снежного покрова затягивается на севере до конца декабря, на юге территории до середины января. Таким образом, многолетние колебания дат образования устойчивого снежного покрова для большей части территории составляют 1,5 месяца, а на юге 2 месяца.

Продолжительность залегания снежного покрова в различных районах территории неодинакова. В повышенных частях мелкосопочника и на севере устойчивый снежный покров удерживается в среднем от 130 до 150 дней, а на юге от 100 до 120 дней. В отдельные годы число дней со снежным покровом на севере колеблется от 110 до 175 дней. На юге рассматриваемой территории в некоторые годы устойчивый снежный покров вообще не наблюдается [18, 19].

Поверхностный сток в границах рассматриваемой территории формируется в основном за счет талых снеговых вод. В условиях жаркого лета и высокой почвенной сухости дождевые осадки в большей части теряются на испарение, и их вклад в сток рек и временных водотоков данной области лишь незначителен в практическом отношении. Грунтовое питание водотоков остается чрезвычайно ограниченным, часто даже отсутствует, что объясняется глубоким расположением подземных вод, недостаточной резкостью речных долин и ограниченной мощностью сезонной верховодки. Следовательно, вследствие ключевой роли снега в формировании поверхностного стока, объем годового стока рек и временных водотоков в бассейне реки Есиль в значительной степени зависит от объема весеннего стока [153].

Устойчивый снежный покров устанавливается в пределах бассейна р. Есиль обычно к моменту понижения средней суточной температуры воздуха примерно до «минус» 5 °С. Примерно в 50-60 % всех зим установлению устойчивого снежного покрова предшествует выпадение первого снега (в конце октября – первых числах ноября), быстро стаивающего в результате наступающих потеплений.

Многолетняя амплитуда дат образования устойчивого снежного покрова составляет 1,5-2 месяцев. Ранние даты приходятся на третью декаду октября, а в северо-восточной части рассматриваемой территории – на первую половину октября; поздние сроки сдвигаются на начало – середину декабря. Таяние снежного покрова весной начинается обычно еще при отрицательных температурах воздуха (примерно при «минус» 10 °С) за счет притока тепла от солнечной радиации, в результате чего убыль снегозапасов

к началу интенсивного схода снежного покрова достигает в среднем порядка 20-30 %. С момента наступления положительных температур воздуха снеготаяние носит весьма интенсивный характер. На открытых местах снежный покров сходит в течение нескольких дней, нередко за 5-7 суток. Таяние скоплений снега у лесных опушек затягивается на значительно более длительный период (до 2-3 недель).

Разрушение масс снега, скопившихся в логах и балках, происходит главным образом под влиянием талых вод, поступающих с водосбора. Устойчивый снежный покров сходит в среднем около 5 апреля на юге области и около 10-15 апреля на севере, в районе Кокшетауской возвышенности. Многолетняя амплитуда дат схода устойчивого снежного покрова несколько меньше, чем амплитуда сроков его установления, и составляет около одного месяца – от третьей декады марта в ранние весны до третьей декады апреля в поздние.

Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова на рассматриваемой территории изменяется в довольно больших пределах. Так, в среднем многолетнем в районе г. Астана, г. Атбасар и г. Петропавловск этот период изменяется от 150 до 158 дней, в зависимости от суровости и продолжительности зимы эти величины в отдельные годы значительно колеблются (в районе г. Петропавловск крайние пределы колебания продолжительности устойчивого снежного покрова в отдельные годы составляют от 110 до 204 дней).

Процесс разрушения устойчивого снежного покрова на территории Есильского водохозяйственного бассейна в среднем многолетнем приходится на первую декаду апреля, а в центральной части равнинного Казахстана этот процесс происходит в последней декаде марта. В последние десятилетия начало разрушения устойчивого снежного покрова стало происходить значительно раньше. Например, по данным метеостанции Астана наблюдается следующая ситуация: смещение по средней дате 9 дней, по самой поздней дате 18 дней, а по самой ранней – 12 дней.

Окончательный сход снежного покрова происходит очень неравномерно как по термическим условиям, так и по условиям рельефа местности. Первыми оголяются гривы и склоны возвышенностей южных экспозиций. Снежные сугробы в колках у лесополос и в понижениях тают значительно позже.

Весенний сток. Основным фактором формирования весеннего стока на территории бассейна р. Есиль является снежный покров. Однако в ряде случаев величина весеннего стока в большей степени определяется другими факторами, в частности потерями талых вод на фильтрацию в почву, зависящими от состояния почвы к началу снеготаяния (её увлажнения и промерзания) и, отчасти, интенсивности снеготаяния. Величина потерь при этом изменяется от года к году в значительно больших пределах по сравнению с величиной снегозапасов. Этим и объясняется существенная роль потерь в формировании весеннего стока и резкие колебания стока во времени.

Особенностями условия формирования стока на территории бассейна р. Есиль являются большие потери талых вод на поверхностную аккумуляцию в пределах бессточных площадей водосборов, а также задержание части весеннего стока, затем расходуемой на испарение в речных плесах. Относительная величина этого задержания, меняющаяся в зависимости от водности года, особенно велика в маловодные годы.

Наряду с перечисленными факторами, на величину поверхностного стока оказывает влияние также ряд постоянно действующих факторов – строение поверхности, высотное положение и уклоны водосборов, экспозиция склонов, почво-грунты, обуславливающих особенности распределения по территории области снеготазов, потерь талых вод и объемом весеннего стока.

По условиям формирования весеннего стока на территории бассейна р. Есиль выделяются два района – северный, с относительно большими снеготазами и повышенным стоком, и южный (к югу от р. Есиль) – с более ограниченными водными ресурсами.

Запасы воды в снежном покрове и их распределение по территории. Снежный покров, являющийся основным источником формирования стока на рассматриваемой территории, отличается сравнительно небольшой мощностью. Средние запасы воды в снеге к началу его таяния в пределах большей части исследуемой территории составляют 60-80 мм. В наиболее многоснежные зимы содержание воды в снеге достигает 130-170 мм, а в малоснежные зимы падает до 30-70 мм.

Максимальные запасы воды в снежном покрове перед началом весеннего снеготаяния на большей части территории бассейна р. Есиль составляют в среднем 80-90 мм и лишь в её северной части повышаются до 130 мм и более (Кокшетауская возвышенность). В малоснежные зимы максимальные снеготазы уменьшаются до 50-70 мм на севере бассейна и до 25-30 мм в её южных районах. В многоснежные зимы запасы воды в снеге (перед началом таяния) почти повсеместно превышают 100 мм.

Период снеготакпления при продвижении с севера на юг Казахстана последовательно уменьшается. Так нарастание снежного покрова в северных районах происходит в течение всего зимнего периода. В северных районах Казахстана средняя из наибольшей декадной высоты снега отмечается в первой и второй декаде марта, в центральных районах – во второй и третьей декаде февраля. Средняя из наибольших декадных высота снежного покрова колеблется в значительных пределах. Она последовательно убывает с севера на юг рассматриваемой территории.

Между продолжительностью залегания снежного покрова и мощностью снежного покрова существует удовлетворительная связь, так 2001-2002 гг. по данным метеостанции Астана отмечалась самая короткая продолжительность залегания снежного покрова 86 дней, соответственно значение высоты снежного покрова незначительное всего 18 см, при среднемноголетнем значении – 26 см.

Зима 1976-1977 гг. была многоснежной, максимальная высота снежного покрова составила 39 см, а продолжительность залегания снежного покрова длилась 176 дней. Наибольшая высота снежного покрова перед началом весеннего снеготаяния на открытых участках в среднем достигает 25-35 см в северо-западной части области и 20-25 см – на остальной территории (рисунок 3).

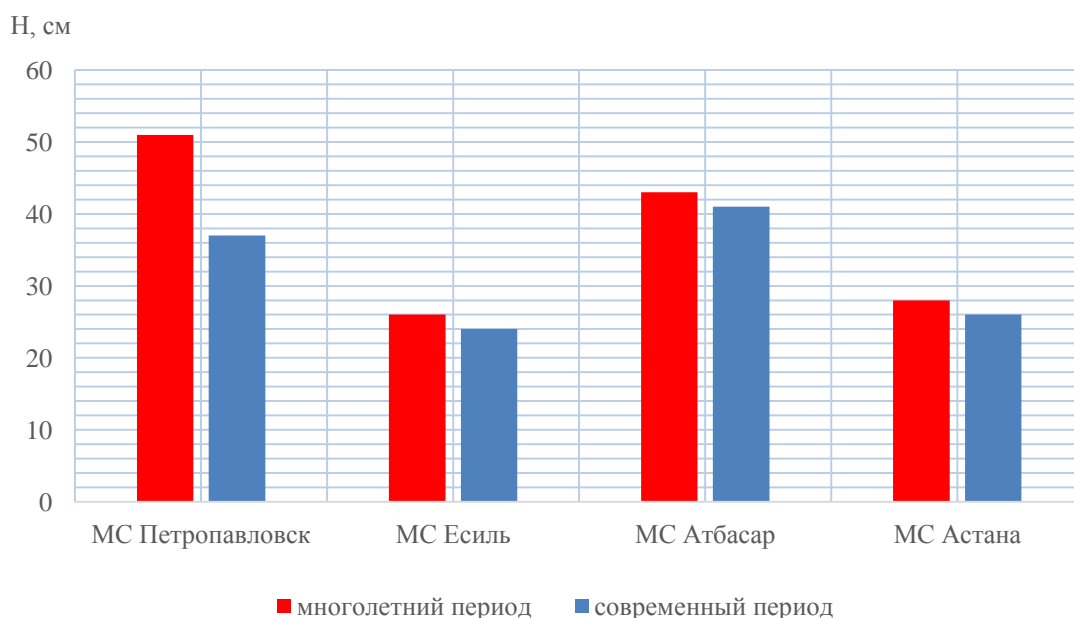


Рисунок 3 – Максимальная высота снежного по метеостанциям рассматриваемой территории

Максимальные значения высоты снежного покрова превышают средние многолетние значения современного периода примерно в 2 раза (осредненное значение по территории). Осредненные минимальные значения высоты снежного покрова отличаются от максимальных значений примерно в 6 раз. Самые наибольшие отличия минимальных и максимальных значений высоты снежного покрова наблюдаются на метеостанциях Атбасар и Петропавловск соответственно 13 и 9 раз [20-23].

Высота снежного покрова изменяется в значительных пределах – в отдельные годы, в течение всей зимы, а также в зависимости от расположения метеостанции. Хорошо прослеживается общая закономерность залегания снежного покрова. Наибольшая высота наблюдается на севере и на северо-западе рассматриваемой территории. Средняя высота снежного покрова по территории за современный период составляет 32 см. В малоснежные зимы высота снежного покрова составляет всего около 15 см в северной части территории и 10 см – в южной части территории. В многоснежные зимы максимальная высота снега увеличивается до 50-60 см на севере бассейна р. Есиль и до 30-40 см – в южной её части.

1.4 Гидрографическая сеть

Территория Акмолинской и Северо-Казахстанской областей является основным районом питания р. Есиль, так как за пределами (ниже впадения р. Иманбурлык) река, выходя на Западно-Сибирскую низменность, вплоть до самых низовьев не имеет притоков.

Особенности строения гидрографической сети на рассматриваемой территории в значительной мере обусловлены устройством её поверхности. Наличие низкогорного рельефа в восточной и западной частях, и понижение местности в целом на запад, юг и частично на север определяют основное направление стока от центра к окраинным частям территории.

Основной водной артерией является р. Есиль с рядом крупных притоков, стекающих на севере с возвышенности Кокшетау, а на юге с отрогов гор Улытау. Главные притоки: рр. Калкутан, Жабай, Терисаккан, Акканбурлык и Иманбурлык.

На рассматриваемой территории расположено 45 водохранилищ. Многолетнее глубокое регулирование стока р. Есиль осуществляется двумя водохранилищами: Астанинским (Вячеславским) ($W_{\text{полез}}=375,4$ млн. м³) и Сергеевским ($W_{\text{полез}}=635$ млн. м³). Крупное водохранилище построено на р. Силеты – Селетинское ($W_{\text{полез}}=220$ млн. м³).

Река Есиль – левобережный приток Ертиса, длина реки составляет 2450 км, площадь водосбора 177000 км², в том числе активная 141000 км².

Начинается река Есиль в Карагандинской области, в горах Нияз (северная окраина Казахского мелкосопочника), на отметке 560 м. Правобережные притоки Есиля – Калкутан и Жабай стекают с Кокшетауских гор. В бассейне главного левобережного притока, р. Терсаккан, на территорию Акмолинской области выходят отроги гор Улытау [24].

Рельеф водосбора отличается разнообразием. В верховьях бассейна расположены горы Нияз, по правобережью – южные склоны Кокшетауской возвышенности, а на юго-западе – отроги гор Улытау. Однако вследствие сглаженности рельефа даже этих повышенных районов мелкосопочника в целом водосбор характеризуется относительной выровненностью. Средняя высота бассейна в пределах Акмолинской области около 350 м, а до г. Астана – 460 м. Ниже г. Астана река выходит на равнину.

Левобережье представляет здесь плоскую, ровную, слабо расчлененную степь, отличается относительно редкой сетью временных водотоков и логов и сравнительно большим количеством мелких степных озер с соленой и солоноватой водой. Правобережная часть бассейна вблизи реки носит равнинный характер, а с удалением от неё постепенно повышается и переходит в холмистые предгорья Кокшетауской возвышенности. Это часть водосбора характеризуется значительной расчлененностью поверхности долинами рек и сухих логов, большой глубиной вреза речных долин и, благодаря грунтовому питанию, наличием в летнее время на большинстве водотоков постоянного стока [19].

На первых 80 км течения реки в пределах Акмолинской области близко к правому берегу подступают возвышенности. Затем долина расширяется –

сначала до 2-4 км, а ниже г. Астана до 5-7 км, с отдельными расширениями до 12-15 км и сужениями до 1 км. Её левый склон местами сливается с окружающей местностью.

Ниже г. Астана долина реки, в основном, имеет три террасы. Нижняя, высотой от 1,5 м до 2 м над меженью, затапливается ежегодно; вторая, высотой около 5 м, затапливается лишь в многоводные годы. Третья терраса – надпойменная – располагается в 9 м над уровнем воды в межень.

Пойма плоская, двухсторонняя, шириной до 3-4 км (а у с. Калкутан до 13-14 км). Здесь много староречий, есть пойменные озера. Пойма сложена суглинками, супесью, гравийно-галечниковыми отложениями.

Русло извилистое, разветвленное. Вниз по течению оно постепенно расширяется с 5-12 до 10-25 м, а местами до 75 м. Размеры плесов также возрастают вниз по течению до 0,5-1,5 км, при глубинах в них 1-3 м и более.

В пределах Акмолинской области Есиль – типично степная река с малой скоростью течения в межень. В 1967 г. в 84 км выше г. Астана началось наполнение Астанинского (Вячеславского) водохранилища, предназначенного для водоснабжения, г. Астана и поселков близ р. Есиль, а также для орошения. Водоохранилище стало функционировать в 1970 г. Его длина 32 км, средняя ширина 1,9 км, максимальная глубина около 29 м. Площадь его зеркала при НПУ (нормально подпертом уровне, т.е. при наполненном водохранилище) – 60,9 км², полный объем 419 млн. м³. Плотина земляная длиной 1154 м, создаёт напор 25 м. Ширина гребня 10 м.

Верховья реки и правобережные притоки характеризуются модулями стока 0,5-1,0 л/с×км², основная часть водосбора – 0,3-0,5 л/с×км², особенно низкие модули стока на юге. Выше г. Астана не действует в плане формирования стока примерно четверть площади водосбора.

От г. Астана до границ Акмолинской области средний годовой расход воды возрастает в несколько раз. Соответственно меняется и амплитуда колебаний уровней воды от 5-5,5 м в районе г. Астана до 8-9 м после принятия рекой притоков Калкутан, Жабай, Терисаккан. Выше г. Астана до создания Астанинского (Вячеславского) водохранилища река местами пересыхала, а зимой промерзала до дна, период промерзания составлял примерно 4 месяца.

Половодье высокое. У г. Астана максимальный расход воды может превосходить 1000 м³/с, а ниже по течению достигает 2-4 тыс. м³/с.

Ледостав образуется в среднем в первой декаде ноября, за зиму лед нарастает до 1,5 м. Ледяной покров разрушается в апреле, в среднем – в середине месяца. Ледоход бурный. Лед поднимается целой льдиной со своего плеса, его несет до поворота русла, где образуются заторы. Средняя продолжительность весеннего ледохода 3 дня, но в отдельные годы она может быть втрое больше, бывают и годы вообще без весеннего ледохода.

Река Калкутан. Площадь водосбора 17400 км², длина 233 км, средняя высота водосбора 360 м, густота речной сети 0,10 км/км². Падение от истока к устью составляет 83 м, средний уклон ложа – 37 см/км. Основные притоки – правобережные, стекающие с Кокшетауской возвышенности: р. Талкара

(площадь водосбора 2300 км², длина 48 км), р. Баксук (площадь водосбора 4830 км², длина 171 км), р. Аршалы (площадь водосбора 4160 км², длина 174 км).

Начало берет на плоской вспаханной равнине, в Есиль впадает двумя рукавами. Водосбор асимметричен, развита лишь его правобережная часть. Рельеф правобережья расчлененный, в верховьях притоков – мелкосопочный. Многочисленны бессточные понижения. Почвы черноземные, на 2 % их распространены солонцы. Растительность степная.

Долина реки в верхнем течении выражена неясно, в среднем течении её склоны крутые, высотой 4-6 м. Пойма двухсторонняя, её ширина вниз по течению увеличивается с 0,3-0,4 до 4-5 км, в районе между впадениями Баксука и Аршалы по правому берегу затапливается все междуречье.

Русло умеренно извилистое. Его ширина на перекатах растет от верхнего течения к нижнему от 2-5 до 10,5 м. Дно песчаное или песчано-галечниковое, в плесах – глинистое. Ниже основных притоков средний годовой расход воды приближается к 3,71 м³/с, а максимальный мгновенный – к 200 м³/с. В половодье уровень воды поднимается до 4-5 м. Характерен затяжной спад половодья – иногда до середины июня.

Река Жабай. Площадь водосбора 8800 км², длина 196 км, средняя высота водосбора 364 м, густота речной сети 0,11 км/км². Падение от истока к устью 233 м, средний уклон довольно значительный – 1,2 м/км. Основные притоки: Саркрома, или Сарымсакты (площадь – 1500 км², длина 79 км), Ацилы (площадь – 1060 км², длина 58 км), Жиландинка (Кереге-Тас) (площадь – 3650 км², длина 140 м).

Начинается из родников на южном склоне Кокшетауской возвышенности. Верхняя часть водосбора холмистая, нижняя – равнинная. Грунты суглинистые, по склонам сопок – обнажения гранита. На склонах – лесная растительность. Много пресных озер.

Долина реки хорошо выражена, вниз по течению её ширина увеличивается от 1,2-1,8 до 3,0-3,6 км, а высоты склонов уменьшаются с 50 до 9-14 м. Левый круче правого и залесен. Пойма имеет ширину от 100 до 400 м. Поверхность её ровная, грунты суглинистые, растительность луговая.

Русло слабо разветвленное, шириной 10-50 м, но ширина меженного потока – всего несколько метров. Разделено на плесы и перекаты, причем в нижнем течении длина плесов увеличивается до 3-5 км при ширине 20-30 м и глубине 2-3 м. Средний годовой расход воды в устье 8,04 м³/с, а максимальный мгновенный может превышать 1000 м³/с. Подъем уровня воды весной на нижнем участке доходит до 4-6 м.

В верхнем течении река ежегодно пересыхает, а на перекатах зимой перемерзает. Характерны наледи. Наибольшая за зиму толщина льда составляет в среднем 120-140 см, а в некоторые зимы до 160-180 см. Но весенний ледоход не мощный и не ежегодный.

Река Терисаккан. Площадь водосбора 19500 км², длина реки 334 км, средняя высота водосбора 350 м, падение 334 м, средний уклон 1 м/км, густота речной сети 0,15 км/км². Сухое русло реки начинается в отрогах гор

Улутау на высоте 640 м. Река впадает в Есиль в пределах Приесильской равнины. Твердые коренные породы покрыты суглинками, супесями, гравием. Растительность степная и полупустынная, в долинах рек кустарниковая. Примерно 7 % водосбора занимают бессточные понижения – 1300 км², суммарная площадь зеркала озер 117 км². Подъем уровня воды в половодье достигает 6,5 м [25].

Река Акканбурлык берет начало из озера Жаксы-Жангизтау с западного берега, впадает в р. Есиль справа на 1280 км от устья. Длина 176 км, площадь водосбора 6720 км², в том числе бессточная 731 км², общее падение реки 188 м, средний уклон 1 ‰. Водосбор асимметричен: площадь правобережья в два раза больше левобережья, представляет собой холмистую, слаборасчлененную равнину. Долина извилистая, асимметричная, с высоким правым склоном и более низким, неясно выраженным левым. Ширина долины колеблется от 0,1 км до 1,5 км.

Пойма высокая, сухая, поросшая кустарником, преобладающая ширина поймы 150-200 м. Берега на всем протяжении высокие и крутые, их высота от 4-5 м до 0,2-0,5 м. Максимум весеннего половодья обычно проходит во второй половине апреля. Продолжительность половодья достигает 40-50 дней, наибольшая амплитуда колебаний уровня составляет в нижнем течении 8-9 м, средняя – 3-5 м, наименьшая – 1,5-2 м. Зимой на перекатах река промерзает до дна, вскрытие сопровождается ледоходом продолжительностью 5-8 дней [11, 18].

Река Силеты тяготеет к бассейну р. Ертис, течет с юго-запада на северо-восток, впадает в бессточное соленое озеро Силеты-Тениз. Площадь водосбора 18500 км², длина 407 км, общее падение 361 м. Основные притоки: Акжар (длина 55 км), Акмурза (площадь – 2780 км², длина 97 км), Ацилыарык (длина 96 км), Кедей (площадь – 2250 км², длина 92 км), а кроме того – Шолкаркарасу, Киикпай, Шийлы. Последние 174 км река притоков не принимает.

Водосбор расположен преимущественно в пределах мелкосопочника, его рельеф среднехолмистый, а в нижней части – равнинный. Бессточные понижения занимают 16 % всей площади водосбора, в их пределах много озер. От истоков долина лишь постепенно приобретает выраженность. Ниже впадения р. Акмурза её ширина 150-200 м. Ниже по течению долина расширяется до 0,6-1 км, причем правый склон, обычно выше левого.

Ширина поймы, в основном, от 400-500 м до 2 км. На ней много сухих рукавов. Ширина русла увеличивается от 40-50 м в верхнем течении до 150-200 м в среднем, а на участке ущелья она составляет 80-100 м.

В верхнем течении река пересыхает, но в глубоких плесах сохраняется вода. Ниже впадения р. Акмурза сток постоянный. Глубины плесов достигают 12 м. Половодье длится 1,5 месяца, его пик совпадает с ледоходом, образуются заторы, поднятия уровня достигают 8-10 м. Зимой на перекатах река перемерзает, и сток отсутствует 3-4,5 месяца. Толщина льда доходит до 1,3 м [12, 24].

1.5 Характеристика водного режима рек

Годовой сток рек и временных водотоков рассматриваемой территории формируется под влиянием климатических факторов, а также рельефа, почво-грунтов и гидрогеологических особенностей водосборов.

Главными климатическими факторами, определяющими величину весеннего, а, следовательно, и годового стока рек бассейна р. Есиль, являются снегозапасы в бассейне реки к началу половодья, интенсивность снеготаяния, дождевые осадки в период половодья, степень увлажнения и глубина промерзания почво-грунтов водосбора. Снегозапасы, как указывалась выше, являются основным источником питания реки. Осадки, выпадающие в период половодья, имеют второстепенное значение в формировании весеннего стока на рассматриваемой территории. Они составляют в среднем 5-10 % и лишь в редкие годы 20-30 % от величины снегозапасов.

Важной особенностью формирования стока рек Есильского водохозяйственного бассейна является поверхностное задержание талых вод, которому в немалой степени способствует относительно плоский рельеф и большое количество макроронижений. Бессточные области могут составлять до половины площади водосбора реки и более. В маловодные годы почти весь талый сток тратится на заполнение депрессий рельефа и плесовых ложин в руслах водотоков, сток ничтожен, формируется он преимущественно скоплениями снега в русле, действующая площадь водосбора мала и гидрологические условия приближаются к условиям пустынь.

В многоводные годы депрессии рельефа переполняются, дают сток в основное русло, действующая водосборная площадь многократно увеличивается. В случае больших снегозапасов, малых потерь влаги на инфильтрацию (что связано с благоприятными условиями предыдущей осени) происходит исключительная концентрация талой воды [11, 12, 25]. Этим определяется специфичность гидрологических условий данного района – чрезвычайная неравномерность стока во времени как в многолетнем разрезе, так и в течение года.

Реки рассматриваемой территории относятся к казахстанскому типу по классификации Б.Д. Зайкова и к району исключительно снегового питания по классификации М.И. Львовича. Годовой сток рек рассматриваемой территории формируется исключительно в период весеннего половодья. Доля весеннего стока составляет 95-98 % от годового стока.

Весеннее половодье обычно инициируется в период с середины марта по начало апреля. Начальная фаза подъема уровня воды в первые дни половодья, как правило, характеризуется незначительной интенсивностью (до 5-10 см в сутки). Однако в дальнейшем данная интенсивность резко увеличивается, достигая в средние по водности года значения до 200 см в сутки. Спад весеннего половодья обычно протекает более плавно, чем его подъем. Интенсивность спада оказывается максимальной в первые дни после

достижения пика половодья, затем происходит постепенное замедление этого процесса в последующие дни [153].

Продолжительность весеннего половодья в значительной мере зависит от площади водосбора водотока. На малых реках (площади водосборов порядка 500-3000 км²) половодье в среднем продолжается 20-30 суток. На средних реках (3000-30000 км²) – от 30 до 80 суток и на больших (40000 км² и более) – 50 и более суток. Оканчивается весеннее половодье на малых и средних реках в конце апреля-начале мая, на больших – в конце мая-в июне.

Половодье обычно идет одной волной, на очень маленьких водотоках проявляется суточный ход водности. В некоторые годы с предшествующей засушливой осенью и малоснежной зимой половодья почти не бывает.

Максимальные подъемы уровня воды во время весеннего половодья на реках рассматриваемой территории достигают значительной величины. Высота волны половодья в зависимости от водности года, размеров площади водосбора, характера русла и поймы и строения берегов реки меняется в значительных пределах.

После окончания весеннего половодья на реках наступает летне-осенняя межень, характеризующаяся довольно устойчивыми низкими уровнями. В июне-июле большинство рек пересыхает, вода остается только в отдельных ямах-плесах, разобщающихся пересыхающими перекатами. Низшие летние уровни на средних реках наблюдаются преимущественно в июле-августе, а на больших реках, в связи с поздним спадом половодья, – в сентябре. Их колебания на малых реках не превышают 15-30 см, а на больших – 50 см.

Колебание зимних уровней на реках обычно незначительно, так как они отражают лишь его изменение в плесах; перекаты в этот период остаются сухими. Продолжительность летне-осенней и зимней межени составляет 9 (июль-март) – 11 (май-март) месяцев.

Зимний минимум уровней на большинстве рек приходится на ноябрь, а на водотоках с незначительным грунтовым питанием – на январь-февраль, когда грунтовые воды иссыкают и плесы перемерзают до дна. Зимние уровни, как правило, выше летних на 20-40 см. Годовая амплитуда колебаний уровня воды на реках рассматриваемой территории изменяется в значительных пределах.

В связи с сухостью климата дожди редко образуют паводки. Это под силу только самым значительным дождям или сериям дождей со слоем 30-50 мм и более. Дождевые паводки проходят в среднем раз в 3-5 лет. Обычно это бывает в июне-июле, и продолжительность паводка, как правило, не превышает 5-10 дней. Если половодье было низким, то расход на пике дождевого паводка на малых реках может быть выше максимального весеннего. Вообще же доля дождевого стока в годовом объеме обычно ничтожна.

Ледовые явления на реках начинаются с появления сала и заберегов. Осеннего ледохода, как правило, не бывает, поскольку реки в этот период слишком маловодны. Устойчивые забереги обычно образуются в третьей

декаде октября и сохраняются 5-10 дней. Замерзание рек происходит в конце октября – начале ноября, при поздней или затяжной осени во второй половине ноября-начале декабря. Ледостав длится 140-160 суток. По картам М.М. Бейлинсона [26] средняя дата начала ледостава на реках территории относится к 6-10 ноября, а средняя продолжительность ледостава составляет около 160 дней.

Лед интенсивно нарастает в первую половину зимы, когда снега мало и его теплоизолирующие свойства не проявляются еще в полной мере. В декабре толщина льда 40-60 см, и перекааты обычно уже перемерзают. Затем рост льда замедлен, тем более что во многих местах – малые глубины воды.

В среднем же толщина льда к концу зимы достигает 70-100 см, а в суровые малоснежные зимы – 90-120 см. В связи с перемерзанием перекаатов при ледоставе уровень воды повышается до 20-30 см. На малых водотоках нет весеннего ледохода, на более крупных – в зависимости от мощности половодья. В многоводные годы на сравнительно крупных реках происходят подвижки льда, ледоход, могут быть заторы. В маловодные годы лед тает на месте.

Вскрытие рек происходит по территории почти одновременно – в среднем 5-15 апреля, с колебаниями в отдельные годы от середины марта до конца апреля. Разница в сроках по широте составляет всего 3-5 дней. Продолжительность этой фазы ледового режима – примерно 10 дней. Интенсивны русловая и склоновая эрозия. Главная роль в формировании речных наносов принадлежит русловым водам. Максимальная мутность воды – на пике половодья или сразу после него.

Таким образом, поверхностный сток формируется главным образом за счет талых снеговых вод. Дождевые осадки в большинстве случаев только незначительно дополняют снеговое питание в период половодья. В летнее время дефицит влажности воздуха и иссушенность почвы настолько велики, что дождевые осадки почти полностью расходуются на смачивания верхнего слоя почвы и испарение и практического значения в формировании стока не имеют.

Осадки осеннего периода обуславливают степень увлажненности водосборов и оказывают лишь регулирующее влияние на весенний сток. Грунтовое питание большинства рек исследуемой территории невелико, а на временных водотоках оно вообще отсутствует, что связано с глубоким залеганием подземных вод, слабым врезом речных долин и малой мощностью сезонной верховодки. Таким образом, в связи с исключительной ролью снега в процессе формирования поверхностного стока основной фазой водного режима всех рек данного района является резко выраженное половодье [11, 12].

1.6 Гидрологическая изученность территории

Ранее проводившиеся исследования, главным образом экспедиционные, носили общий гидрографический характер и сопровождалась лишь эпизодическими измерениями расходов воды.

Гидрологические исследования рек носили рекогносцировочный характер. В процессе их производилось описание долины и русла, устанавливалось наличие или отсутствие грунтового питания водотоков, брались пробы воды на химический анализ. Расходы воды измерялись лишь эпизодически, при этом в большей части в период межени, вследствие чего режим водотоков области этими исследованиями был освещен крайне недостаточно.

Главнейшие итоги многолетних исследований этого периода обобщены в капитальном труде И.И. Жилинского «Очерк гидротехнических работ в районе Сибирской железной дороги по обводнению переселенческих участков Ишимской степи и осушению болот в Барабе 1895-1904 гг.» и в работах А.А. Козырева: «Грунтовые воды Кокчетавского, Акмолинского и Атбасарского уездов Акмолинской области» и «Гидрогеологическое описание южной части Акмолинской области». Большая часть материалов последнего периода этих исследований (1908-1915 гг.) не опубликована [18, 19].

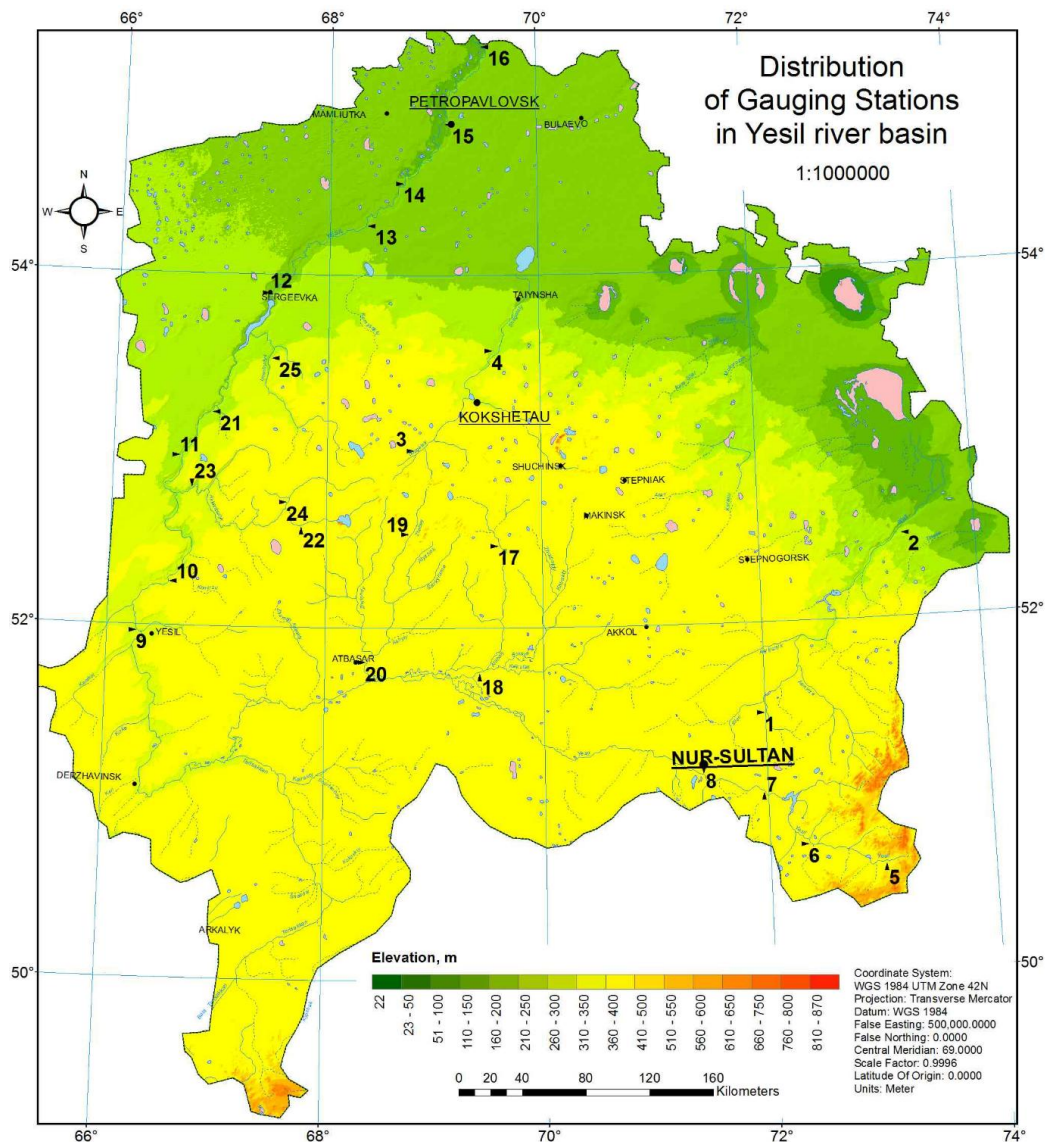
К числу ранних исследований, проведенных в конце 1920-х - начале 1930-х годов, относятся комплексные научные работы Академии наук СССР, которые были продолжены в последующие годы. Также стоит отметить экспедиционные исследования Государственного гидрологического института (ГГИ), организованные в 1931 году с целью изучения гидрологических условий малоисследованных районов Северного Казахстана. В пределах Акмолинской области работы ГГИ охватывали бассейн реки Ишим (от истока до города Атбасара), включая участок ее водораздела с рекой Нурой, а также водосбор реки Силеты. Исследования в основном имели рекогносцировочный характер, и в процессе их проведения осуществлялись гидрометрические измерения на временных створах. Эти измерения позволили получить оценку меженного стока реки Ишим и приблизительно определить максимальные расходы воды, протекающие через нее в весенний период [153].

Сеть гидрологических станций и постов на территории Акмолинской области начала создаваться в 30-х годах XX века, после организации Гидрометеорологической службы СССР. Развитие гидрометеорологической сети происходило весьма неравномерно как во времени, так и по территории.

В период с 1932 по 1936 год было создано восемь пунктов гидрометрических наблюдений на реке Ишим и ее основных притоках (реках Калкутан, Жабай, Терсаккан), а также на реке Силета. Дальнейшее расширение гидрологической сети на рассматриваемой территории произошло в период с 1945 по 1950 годы. В течение этих лет было создано пять дополнительных пунктов гидрометрических наблюдений: на среднем участке реки Ишим и на восточной части области – на реках Улента и Шортанда [153].

Распределение гидрометрических наблюдений по изучаемой территории является значительно неравномерным. Преобладающее количество пунктов наблюдений (60-70%) сосредоточено на средних и

крупных реках с площадью водосбора в пределах от 3 до 80 тысяч квадратных километров. В различные периоды времени на территории бассейна реки Есиль действовало 52 гидрометрических поста. Распределение этих постов по бассейну реки Есиль представлено на рисунке 4, а характеристики гидрологических постов в этом бассейне приведены в таблице 3 [153].



| Gauging N | River | Hydrological alignment | Gauging N | River | Hydrological alignment | Gauging N | River | Hydrological alignment |
|-----------|-----------|------------------------|-----------|----------|------------------------|-----------|-------------|------------------------|
| 1 | Silet'y | Prirechnoe | 10 | Yesil | Kalachi | 18 | Kalkutan | Kalkutan |
| 2 | Silet'y | Izobilnoe | 11 | Yesil | Zapadnoe | 19 | Zhabay | Balkashino |
| 3 | Shagalaly | Pavlovka | 12 | Yesil | Sergeevka | 20 | Atbasar | Atbasar |
| 4 | Shagalaly | Severnoe | 13 | Yesil | Pokrovka | 21 | Akkanburlyk | Privolnoe |
| 5 | Yesil | Priishimskoe | 14 | Yesil | Novonikolskoe | 22 | Akkanburlyk | Kovylnoe |
| 6 | Yesil | Turgen | 15 | Yesil | Petropavlovsk | 23 | Akkanburlyk | Vozvyshenka |
| 7 | Yesil | Volgodonovka | 16 | Yesil | Dolmatovo | 24 | Babykburlyk | Rukhlovka |
| 8 | Yesil | Nur-Sultan | 17 | Moiyl'dy | Nikolaevka | 25 | Imanburlyk | Sokolovka |
| 9 | Yesil | Kamennyi Karier | | | | | | |

Рисунок 4 – Гидрологическая изученность Есильского водохозяйственного бассейна (автор: Канатұлы Ә.)

Таблица 3 – Характеристики гидрологических постов в бассейне р. Есиль

| № поста | Река | Пост | Расстояние до устья, км | Период наблюдений | Площадь, км ² | Средняя высота бассейна, м |
|---------|--------------|--------------------|-------------------------|--|--------------------------|----------------------------|
| 1 | Силеты | с. Приречное | 343 | 1961-2019 | 1670 | 358 |
| 2 | Силеты | с. Изобильное | 134 | 1959-1965, 1968-2019 | 14600 | 340 |
| 3 | Шагалалы | с. Павловка | 185 | 1939-2019 | 1750 | 395 |
| 4 | Шагалалы | с. Северное | 78 | 1955-1962, 1964-1995, 1997 | <u>5040</u> 8360 | 317 |
| 5 | Есиль | с. Приишимское | 202 | 1949-1991, 2005-2019 | 2437 | 606 |
| 6 | Есиль | с. Турген | 2367 | 1974-2019 | 3240 | 524 |
| 7 | Есиль | с. Волгодоновка | 2299 | 1977-2019 | 5400 | - |
| 8 | Есиль | г. Астана | 2241 | 1933-2019 | 7400 | 209 |
| 9 | Есиль | с. Каменный Карьер | 1416 | 1947-1997, 2003-2019 | 86200 | 358 |
| 10 | Есиль | с. Калачи | 1461 | 2009-2019 | 87250 | - |
| 11 | Есиль | с. Западное | 1302 | 1974-1995, 2001-2019 | 90000 | 342 |
| 12 | Есиль | г. Сергеевка (ГЭС) | 1079 | 1971-2019 | <u>117</u> 109000 | - |
| 13 | Есиль | с. Покровка | 1043 | 1948-2002 | <u>104000</u> 115000 | 319 |
| 14 | Есиль | с. Новоникольское | 885 | 1976-1991, 1993-1994 | <u>105000</u> 117000 | - |
| 15 | Есиль | г. Петропавловск | 879 | 1926-1984, 1986-2019 | <u>106000</u> 118000 | 314 |
| 16 | Есиль | с. Долматово | 627 | 1982-1984, 1988-2019 | <u>142000</u> 113000 | - |
| 17 | Мойылды | с. Николаевка | 22 | 1973-1995, 2001-2019 | 472 | 530 |
| 18 | Калкутан | с. Калкутан | 44 | 1937-1940, 1955, 1956, 1958-2019 | 16500 | 361 |
| 19 | Жабай | с. Балкашино | 144 | 1960-2019 | 922 | 440 |
| 20 | Жабай | г. Атбасар | 16 | 1936-1940, 1944, 1945, 1947-2019 | 8530 | 364 |
| 21 | Акканбурлык | с. Привольное | 152 | 1956-1985, 1987-1999, 2001-2008 | 910 | 388 |
| 22 | Акканбурлык | с. Ковыльное | 164 | 2008-2019 | 910 | 388 |
| 23 | Акканбурлык | с. Возвышенка | 12 | 2008-2019 | <u>5620</u> 6250 | 315 |
| 24 | Бабьк-Бурлык | с. Рухловка | 7,2 | 1958-1998 | 1320 | 366 |
| 25 | Иманбурлык | с. Соколовка | 29,9 | 1950-2019 | <u>3870</u> 4070 | 282 |

Характерной особенностью изученности речного стока рассматриваемой территории является кратковременность наблюдений на большинстве постов и неравномерность их размещения по территории. Исходя из вышеизложенного, гидрологическая изученность рассматриваемого района недостаточна, преобладают пункты с очень короткими рядами наблюдений.

Выводы по первому разделу.

1. Основным элементом рельефа является волнистая равнина с разбросанными по её поверхности изолированными сопками или группами возвышенностей. Отличительная черта поверхности рассматриваемой территории – большое количество плоских бессточных понижений, имеющих характер степных блюдц, диаметром от 100 до 1000 м, при глубине от 1-2 м до 4-5 м.

2. Повышение температуры приземного воздуха холодного периода происходило со скоростью 0,5 °С за каждые 10 лет. В последние 20 лет температура воздуха холодного периода чаще была выше нормы, рассчитанной за современный период. Самая высокая температура холодного периода на рассматриваемой территории Есильского водохозяйственного бассейна наблюдалась зимой 1982-1983 гг. и 2001-2002 гг., когда температура была выше нормы на 4-5 °С.

3. Анализ линейного тренда во временном ходе аномалий годовых сумм осадков и сумм осадков холодного периода показал, что значительных изменений за многолетний период не наблюдается, тренды не выявлены.

4. Поверхностный сток формируется главным образом за счет талых снеговых вод. Дождевые осадки в большинстве случаев только незначительно дополняют снеговое питание в период половодья. В летнее время дефицит влажности воздуха и иссушенность почвы настолько велики, что дождевые осадки почти полностью расходуются на смачивания верхнего слоя почвы и испарение и практического значения в формировании стока не имеют.

5. Характерной особенностью изученности речного стока рассматриваемой территории является кратковременность наблюдений на большинстве постов и неравномерность их размещения по территории. Исходя из вышеизложенного, гидрологическая изученность рассматриваемого района недостаточна.

2 ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА

2.1 Многолетние колебания стока рек

Проблеме глобального изменения климата и его прогнозу сейчас уделяется огромное внимание в мире, эта проблема отражена, в частности, в следующих научных работах [27, 28, 29]. Согласно научным исследованиям, приведенных в [27] следует, что, по меньшей мере, с начала XX века происходит рост глобальной проблемы – по сглаженным значениям на $0,75^{\circ}\text{C}$. После временного похолодания с середины 1940-х по середину 1960-х гг. прошлого века отмечался уже непрерывный рост температуры, но, это очень показательно, исключительно мощное потепление происходит с середины 1970-х гг. Это явление отмечено гораздо раньше – так, О.А. Дроздов [30] указал на то, что новое потепление в мире началось в 1973 г. и на этой основе было высказано сомнение в возможности предсказания будущих водных ресурсов на основе длительных рядов наблюдений.

По исследованиям В.П. Мелешко [28] вероятность потепления с середины XX века связана с концентрацией парниковых газов более 90 %, из этого следует, что потепление будет продолжаться. Мало того что непрерывно увеличивается выброс газов в атмосферу, но даже при сокращении эмиссии уже накопленные там парниковые выбросы так или иначе будут вызывать увеличение температуры. Следовательно возврат к той ситуации, которая была, к примеру в середине прошлого века, до середины 70-х гг., мало вероятен, и временную гидроклиматическую обстановку надо оценивать по данным лишь последних 10-летий. В России потепление больше среднего глобального, за период 1972-2006 гг. температура приземного воздуха повысилась на $1,35 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ [28], при этом за холодный период она в среднем повысилась даже на $2,5^{\circ}\text{C}$ [31].

В Казахстане уже к 1990 гг. повышение температуры составило $1-1,3^{\circ}\text{C}$ [32, 33], по сведениям [34] только за период 1954-2003 гг. годовая температура воздуха повысилась на $1,5^{\circ}\text{C}$, как показывают данные метеорологических станций с продолжительными рядами наблюдений, а по некоторым метеостанциям (Павлодар, Семипалатинск) повышение на $2-2,5^{\circ}\text{C}$. По данным РГП «Казгидромет», в среднем по территории Казахстана, за период с 1976-2019 гг. наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха, составляющее $0,31^{\circ}\text{C}$ каждые 10 лет. Тренды годового количества осадков на большей территории Казахстана были, в основном, положительны, но незначимы, статистически значимое уменьшение количества осадков ($7-10\%/10$ лет) отмечено на метеорологических станциях Центрального и Южного Казахстана [35]. В связи с этим на равнинных реках республики происходит уменьшение стока из-за увеличения испарения и уменьшения величины осадков.

Существенное изменение температуры естественно влечет за собой изменение других метеорологических характеристик, а также речного стока,

и эти изменения особенно заметны с 1970-х гг., в частности, с середины 1970-х гг. систематически увеличивается повторяемость зональных форм макроциркуляции атмосферы.

При рассмотрении вопроса о влиянии вековых колебаний солнечной активности на характер изменений основных типов атмосферных циркуляций (по Г.Я. Вангенгейму) В.В. Голубцовым [36] произведено сопоставление интегральных кривых аномалий годовых значений чисел Вольфа с интегральными кривыми ежемесячных аномалий чисел дней с формами циркуляции E , W , C за период 1891-1957 гг. показано, что на фазе спада векового цикла солнечной активности в атмосфере развиваются процессы типа W , а на фазе подъема получают развитие типы циркуляции E и C . Это сравнение показывает, что однозначная зависимость широтного W и меридиональных E и C типов атмосферной циркуляции от солнечной активности проявляется только за довольно длительные периоды – фазы вековых циклов. Переломы в ходе кривой чисел Вольфа и кривых типов циркуляции W и $E+C$ происходит почти одновременно. Это дает основание считать, что атмосферные процессы сравнительно быстро реагирует на вековые изменения солнечной активности.

Для рек территории Казахстана В.В. Голубцов [36] показывает достаточно тесную зависимость водности рек от изменения солнечной активности и развития макроциркуляции. Он выделил в Казахстане районы с одинаковым характером колебаний водности рек по отношению к вековым изменениям солнечной активности. Агарков С.Г. [37] показал, что для каждого типа атмосферной циркуляции статистически значимыми являются две-четыре составляющие с продолжительностью циклов от 2-3 до 25-35 лет.

В Казахстане в большем числе случаев проявляются в стоке рек 5-7 летние циклы. Вторыми по достоверности, указывает Агарков С.Г., являются 2-3 летние, а третьими – 3-4 летние. Иногда выявляются 8-9, 17-22 и 13-15 летние циклы. В многолетних колебаниях атмосферной циркуляции, атмосферных осадков и годового стока рек четко выделяются 2-4 статистически значимые составляющие. Среди них чаще встречаются короткопериодические, а некоторые являются преобладающими. Следовательно, гипотеза о неслучайности циклов разной продолжительности во всех рассматриваемых условиях должна быть признана более правдоподобной, чем гипотеза об их случайности.

При сопоставлении водных ресурсов на значительной части европейской территории России за период 1978-2005 гг. с предыдущим периодом 1946-1977 гг. наблюдается их увеличение [31]. В научных исследованиях [29] содержится следующее утверждение, в распределении водных ресурсов в будущем: в районах избыточного увлажнения водные ресурсы будут увеличиваться, а в районах, где водообеспеченность сейчас недостаточна, предвидится дальнейшее её уменьшение. По-видимому, такая особенность динамики водных ресурсов характерна и для Казахстана. Действительно, во внутриконтинентальных районах средних широт повышение температуры вызывает увеличение испарения, сокращения

периода снегонакопления [20-23], что отрицательно сказывается на речном стоке.

Но, кроме того, при глобальном потеплении уменьшаются меридиональные контрасты температуры, ослабляется общая циркуляция атмосферы, и эти районы становятся менее доступны влагоносным воздушным массам, поставляемым океаном. Таким образом, климатические тенденции не обязательно должны иметь одинаковый знак даже на сравнительной ограниченной территории.

Главные климатические факторы, определяющие величину весеннего, а, следовательно, и годового стока рек бассейна Есиль – снегозапасы в бассейне реки к началу половодья, интенсивность снеготаяния, дождевые осадки во время половодья, степень осеннего увлажнения и глубина промерзания почво-грунтов водосбора. Снегозапасы являются основным источником питания реки. Осадки, выпадающие в период половодья, имеют второстепенное значение в формировании стока на рассматриваемой территории, они составляют в среднем 5-10 % и лишь в редкие годы 20-30 % величины снегозапасов.

Важная особенность формирования стока рек бассейна р. Есиль заключается в поверхностном задержании талых вод, которому в немало степени способствуют относительно плоский рельеф и большое количество макроронлений. В маловодные годы почти весь сток тратится на заполнение депрессий рельефа, сток ничтожен, гидрологические условия приближаются к условиям пустынь. В многоводные годы депрессии рельефа переполняются и дают сток в основное русло, действующая водосборная площадь многократно увеличивается.

Основными определяющими факторами минимального стока являются климатические и гидрогеологические условия. Территория водохозяйственного бассейна р. Есиль, характеризуется резко засушливым климатом и глубоким залеганием подземных вод. Вследствие крайне ограниченных запасов грунтовых вод в речных бассейнах значительная часть водотоков летом пересыхает, и сток на них возобновляется лишь в весенний сезон следующего года. Сток рек, в питании которых заметное участие принимают грунтовые воды, также периодически прекращается, но главным образом только в зимний период из-за промерзания перекатных участков, а иногда и плесов.

Меженный период на реке Есиль, протяженный по всей ее длине, имеет в среднем продолжительность девять месяцев, начиная с июля и заканчивая мартом. В летний период минимальные расходы воды отмечаются в июле-августе, в зимний период – с января по март. Минимальные расходы воды в рамках зимней межени являются наименьшими [154].

В диссертационной работе анализировались ряды годовых и максимальных расходов воды, а также ряды по минимальному стоку (минимальные среднемесячные и минимальные суточные расходы воды). Сведения о стоке рек получены из данных наблюдений на сети Республиканского государственного предприятия «Казгидромет»,

опубликованных кадастровых материалов, приведённых в следующих источниках: «Гидрологический ежегодник», «Основные гидрологические характеристики», «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши». [38-42]. Выбор границ расчетных периодов основан на результатах выполненного ранее анализа многолетних колебаний стока рек Есильского водохозяйственного бассейна и исследований авторов [11, 12]. Гидрологические расчеты и статистический анализ проведены с использованием стандартных пакетов Excel и Statistica, карты выполнены посредством программного обеспечения ArcGIS 10.6 (метод пространственного анализа).

Все расчеты выполнены в соответствии с нормативными документами «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» и «Методическими рекомендациями по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии, недостаточности, отсутствии данных гидрометрических наблюдений и по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным» [43-45].

2.2 Статистическая структура временных рядов

Анализ многолетних колебаний стока рек бассейна р. Есиль включает в себя оценку квазипериодичности, тренда и статистической однородности рядов. Для исследуемых рядов получены оценки математического ожидания Q_0 , дисперсии S_2 , среднеквадратического отклонения S , коэффициента вариации C_v , коэффициенты автокорреляции исследуемых рядов между стоком смежных лет r_1 и их погрешности [46]. Оценки проводились по методу моментов. Для автокорреляции введены поправки на смещение. Для выделения фаз повышенной и пониженной водности применялись разностные интегральные кривые.

Однородность (стационарность) рядов проверялась с привлечением критериев Стьюдента и Фишера. Критерий Стьюдента используется для проверки однородности гидрологических рядов по математическому ожиданию. С помощью критерия Фишера оценивают однородность рядов по дисперсии, критерий Фишера предназначен для анализа независимых рядов, подчиняющихся нормальному распределению, при расчете учитывались коэффициенты асимметрии C_s и автокорреляции r_1 [47].

Оценка изменений температуры воздуха и осадков. По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) за 1906-2005 гг. температура воздуха у поверхности земли повысилась на $0,74^{\circ}\text{C}$, последние 50 лет температура повышалась со скоростью $0,13^{\circ}\text{C}$ каждые 10 лет. В работе [48] представлены оценки изменения годовой и сезонной температуры приземного воздуха. Рост температуры воздуха зимнего сезона Есильского водохозяйственного бассейна достигает $0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет, весенняя температура воздуха повышалась темпами $0,44^{\circ}\text{C}/10$ лет, в летней температуре воздуха тенденция составила $0,19^{\circ}\text{C}/10$ лет, повышение температуры воздуха в осенний сезон составило $0,46^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Современные изменения климата на территории рассматриваемого региона исследованы в [48-50]. В целом в последние 20 лет в Казахстане преобладали значительные положительные отклонения средней годовой температуры приземного слоя, причем это характерно для всех сезонов года ($0,39^{\circ}\text{C}/10$ лет).

На территории Есильского водохозяйственного бассейна годовое количество осадков увеличивается повсеместно до 300-380 мм. Максимум осадков в годовом ходе приходится на летний период, минимум – на зимний с большой амплитудой. Осадки теплого периода в 2,5-3,0 раза превышают осадки холодного периода. Сумма осадков на метеостанции Астана: годовая – 308 мм, теплое полугодие – 219 мм. Среднее квадратическое отклонение колеблется от 25-30 мм в июле (максимальное значение на метеорологической станции Петропавловск – 42 мм), до 5-10 мм в феврале (минимальное значение на метеорологической станции Есиль – 4 мм).

Режим осадков менялся неоднозначно по территории Казахстана и по сезонам года. На территории Есильского водохозяйственного бассейна осадки зимнего периода существенно увеличились, для аномалий годовых сумм осадков незначительны положительные тренды ($0,1-0,4$ мм/10 лет). Оценка тенденций за последние 40 лет показала, что за исключением Жайык-Каспийского бассейна, на территории остальных бассейнов осадки начали возрастать, причем в среднем для Арало-Сырдаринского, Балкаш-Алакольского, Нура-Сарысуйского и Шу-Таласского бассейнов, как и в среднем для Казахстана, эти тенденции составили 6,4-18,1 мм/10 лет при значениях коэффициента детерминации 5-8 % [48].

Оценка изменений годового, максимального и минимального стока. Анализ колебаний годового стока. Выбор расчетного периода в условиях меняющегося климата для такой большой и сложной в орографическом отношении территории, как Казахстан, очень непросто. Во-первых, трудно ожидать полной согласованности колебаний гидроклиматических характеристик во всех бассейнах. Во-вторых, на сток рек влияет хозяйственная деятельность, но она неодинакова в различных частях территории и существенно меняется во времени. Далее, вполне очевидно, что общие гидроклиматические закономерности должны лучше проявляться в больших бассейнах.

Практически на всех крупных и средних реках Казахстана климатический сток сильно искажен, в частности, водохранилищами, в том числе и в Есильском водохозяйственном бассейне. При анализе нужно иметь в виду особенности временных рядов стока на значительной части Казахстана: исключительное, не имеющее вследствие аналогов, маловодье в 1930-е гг., и очень высокий сток в 1940-е гг.

Разностные интегральные кривые широко используются для выявления фаз повышенной и пониженной водности рек, моменты смены этих фаз. Но, следует иметь в виду, что они иллюстрируют ход накопленной аномалии только относительно выборочного среднего.

Анализ динамики стока р. Есиль показывает, что колебания стока происходят циклично (таблица 4, рисунок 5-7), что неоднократно отмечалось большинством исследователей [51, 52]. Анализ данных по всем гидрологическим рядам рассматриваемой территории выявляет одну общую черту многолетнего хода, – рост значений стока с середины 70-х гг. независимо от того, относится этот период к маловодной или многоводной фазе. Момент перехода к многоводной фазе соответствует данным по многолетнему ходу глобальных метеорологических характеристик [31, 36].

Таблица 4 – Многоводные и маловодные периоды на реках Есильского бассейна

| Маловодные периоды | | | Многоводные периоды | | | Продолжительность цикла | Средний расход за период, м ³ /с |
|-----------------------------|-----------|---|---------------------|-----------|---|-------------------------|---|
| Период, годы | Цикл, лет | Средний расход за период, м ³ /с | Период, годы | Цикл, лет | Средний расход за период, м ³ /с | | |
| р. Есиль – г. Петропавловск | | | | | | | |
| 1933-1939 | 7 | 13,9 | 1940-1949 | 10 | 111 | 17 | 70,7 |
| 1950-1953 | 4 | 18,7 | 1954-1964 | 11 | 66,8 | 15 | 54,0 |
| 1965-1969 | 5 | 22,8 | 1970-1974 | 5 | 67,2 | 10 | 45,0 |
| 1975-1982 | 8 | 26,5 | 1983-1997 | 15 | 81,9 | 23 | 62,7 |
| 1998-2001 | 4 | 15,5 | 2002-2007 | 6 | 69,6 | 10 | 48,0 |
| 2008-2013 | 6 | 19,5 | 2014-2019 | 6 | 115 | 12 | 67,5 |
| р. Силеты – с. Изобильное | | | | | | | |
| 1933-1939 | 7 | 4,25 | 1940-1948 | 9 | 11,8 | 16 | 8,51 |
| 1949-1951 | 3 | 5,20 | 1952-1964 | 13 | 7,70 | 16 | 7,24 |
| 1965-1969 | 5 | 3,12 | 1970-1973 | 4 | 10,3 | 9 | 6,33 |
| 1974-1982 | 9 | 1,46 | 1983-1988 | 6 | 9,21 | 15 | 4,56 |
| 1989-1994 | 6 | 3,94 | 1995-1997 | 3 | 8,95 | 9 | 5,61 |
| 1998-2001 | 4 | 2,96 | 2002-2008 | 7 | 6,80 | 11 | 5,40 |
| 2009-2016 | 8 | 2,35 | 2017-2019 | 3 | 11,6 | 11 | 4,80 |
| р. Жабай – г. Атбасар | | | | | | | |
| 1933-1939 | 7 | 3,17 | 1940-1942 | 3 | 11,0 | 10 | 5,51 |
| 1943-1945 | 3 | 3,93 | 1946-1949 | 4 | 13,1 | 7 | 9,19 |
| 1950-1952 | 3 | 2,80 | 1953-1955 | 3 | 8,82 | 6 | 5,81 |
| 1956-1960 | 5 | 5,72 | 1961-1966 | 6 | 7,79 | 11 | 6,85 |
| 1967-1977 | 11 | 5,11 | 1978-1995 | 18 | 12,3 | 29 | 9,56 |
| 1996-2000 | 5 | 4,09 | 2001-2007 | 7 | 10,1 | 12 | 7,60 |
| 2008-2013 | 6 | 5,50 | 2014-2019 | 6 | 29,6 | 12 | 17,6 |

Многоводные фазы продолжительностью 10-23 лет сменяются маловодными фазами продолжительностью от 4 лет. За период гидрологических наблюдений выявлено два полных цикла (1940-1982 гг. и 1983-2013 гг.). Наиболее низкие среднегодовые расходы воды в г. Петропавловск наблюдались в 1968 г. (1,38 м³/с) и в 1977 г. (7,26 м³/с). Наиболее высокие среднегодовые расходы воды наблюдались в 1941 г. (175 м³/с), в 1948 г. (227 м³/с), в 2017 г. (196 м³/с) и в 1990 г. (127 м³/с).

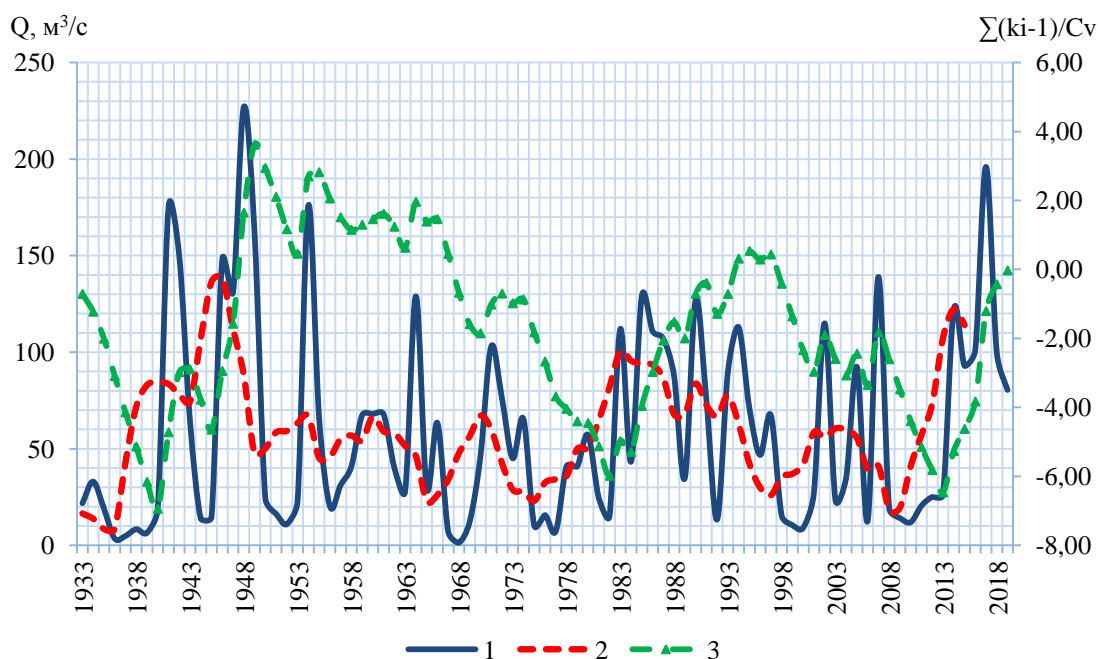


Рисунок 5 – Колебания среднего годового расхода воды р. Есиль – г. Петропавловск (1 – фактические значения, 2 – скользящее 5-летнее среднее, 3 – разностная интегральная кривая)

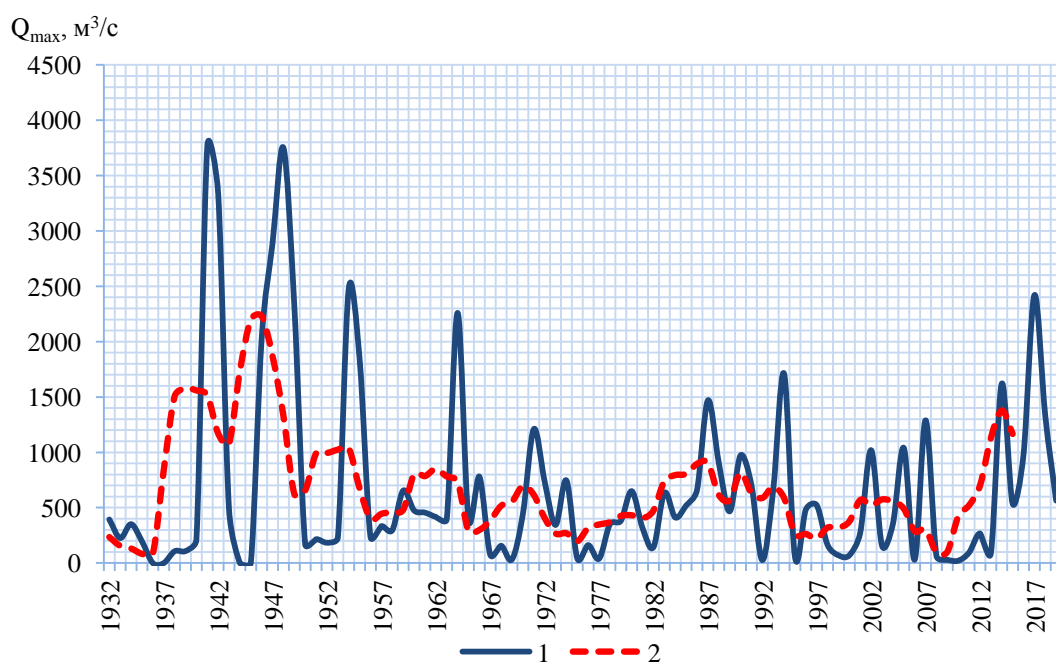


Рисунок 6 – Колебания максимального расхода воды р. Есиль – г. Петропавловск (1 – фактические значения, 2 – скользящее 5-летнее среднее)

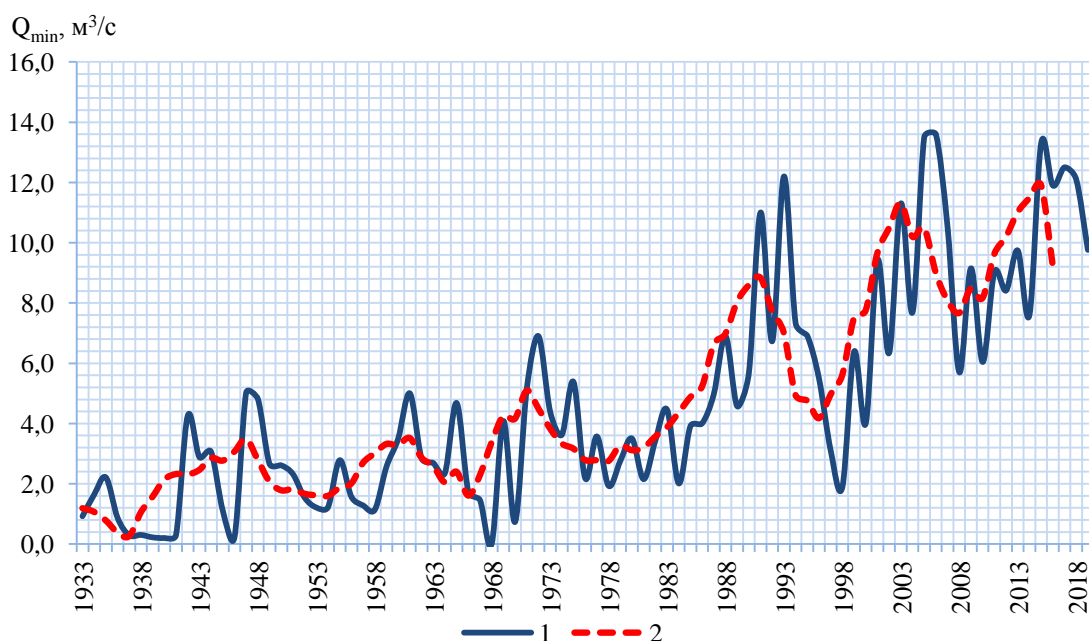


Рисунок 7 – Колебания минимального зимнего 30-суточного расхода воды р. Есиль – г. Петропавловск (1 – фактические значения, 2 – скользящее 5-летнее среднее)

При сопоставлении динамики годового стока притоков р. Есиль обнаруживается асинхронность их колебаний (рисунок 8).

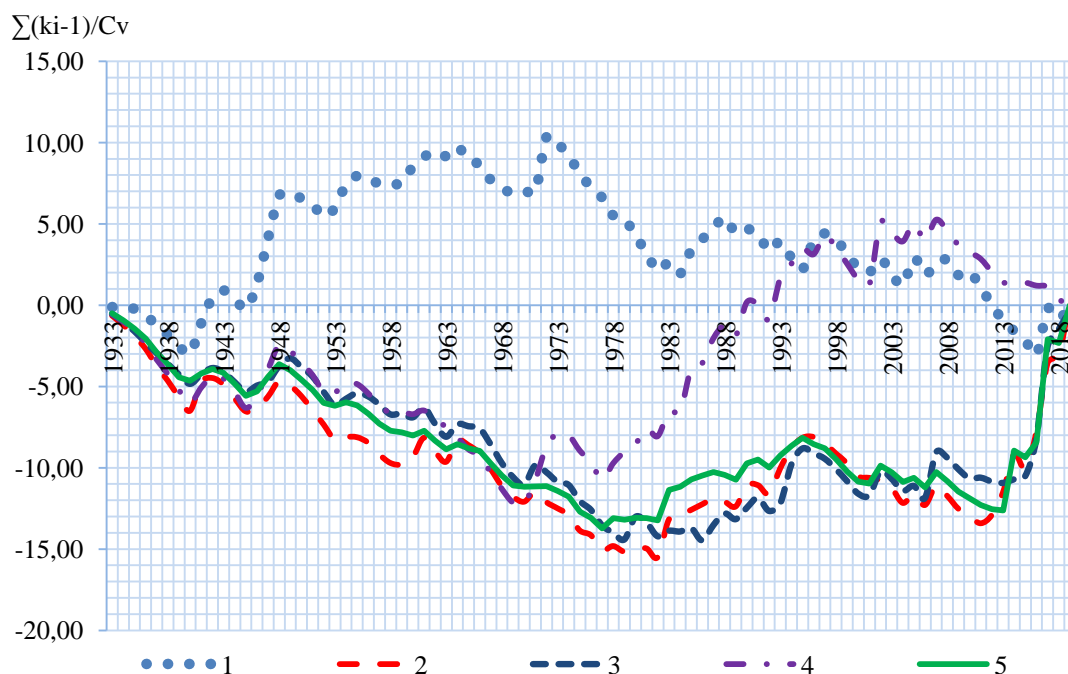


Рисунок 8 – Разностные интегральные кривые годового стока притоков р. Есиль
 1) Силеты – Изобильное; 2) Шагалалы – Павловка; 3) Акканбурлук – Ковыльное; 4) Калкутан – Калкутан; 5) Жабай – Атбасар

Сток р. Жабай (правый приток р. Есиль) после 1974 г. вырос в 2 раза по сравнению с периодом до 1973 г. (норма годового стока за период 1933-1973 гг. составляет 6,60 м³/с, а за период 1974-2019 гг. составляет 11,7 м³/с). Сток р. Калкутан (правый приток р. Есиль) после 1974 г. вырос в 1,4 раза по сравнению с периодом до 1973 г. (норма годового стока за период 1933-1973 гг. составляет 6,00 м³/с, а за период 1974-2019 гг. составляет 8,47 м³/с). В стоке рек Ертис-Есильского междуречья наблюдается снижение стока на р. Силеты (сток уменьшился в 1,5 раза, норма годового стока за период 1933-1973 гг. составляет 7,53 м³/с, а за период 1974-2019 гг. составляет 5,02 м³/с). На р. Шагалалы наблюдается увеличение стока в 1,7 раза – норма годового стока за период 1933-1973 гг. составляет 1,06 м³/с, а за период 1974-2019 гг. составляет 1,78 м³/с.

Отрицательный тренд наблюдается на четырех постах, ряды среднегодовых расходов воды проверены на однородность (стационарность) с помощью критериев Фишера и Стьюдента, ряды были разбиты на два периода: 1933-1973 гг. и 1974-2019 гг., при этом, как показывает анализ, изменения среднего квадратического отклонения годового стока часто бывают заметнее, чем изменения самой величины стока (соответственно статистика Фишера для двух частей ряда оказывается более значимой, чем статистика Стьюдента).

Решающее влияние на распределение циклических фаз элементов климата и гидрологического режима по территории оказывают процессы атмосферной циркуляции. Кроме того, в этом распределении также немалую роль играют условия, подстилающей поверхности, особенно в отношении циклических фаз атмосферных осадков и речного стока. Выявленная цикличность стока может быть связана как с регулирующей способностью водосборов, так и с другими факторами (особенности циркуляции атмосферы и т.д.). Отражением климатической изменчивости может быть и изменение вариации стока во времени. Под циклами водности понимается ряд смежных лет стока, включающий по одной маловодной и многоводной группе лет одного порядка продолжительности. Изменения водности в указанные периоды обусловлены преобладанием определенных типов атмосферных циркуляций.

Первопричиной формирования циклических колебаний элементов климата и гидрологического режима на поверхности Земли является геоактивная радиация Солнца. Солнечной активности свойственны разного порядка закономерные циклические колебания. Установленными считают следующие циклы: 11-летний цикл длительностью в 9-14 лет; 22-летний или двойной цикл длительностью в 19-25 лет; вековой цикл длительностью 80-90 лет; многовековой цикл длительностью около 1800-1900 лет. Длительность таких эпохальных изменений атмосферной циркуляции соизмерима с продолжительностью 11-летних циклов солнечной активности [53, 54].

Для рек Есильского водохозяйственного бассейна была обнаружена достаточно выраженная тенденция к образованию группировок многоводных и маловодных лет, вероятность следования за многоводным маловодного

года составляет 50 %, за маловодным маловодного 55 %. С другой стороны, за многоводным годом маловодный следует ожидать на р. Есиль с вероятностью всего 14 %, за маловодным вероятностью проявления многоводного года составляет 30 %.

Таким образом, есть все основания считать, что определенная фаза климата и стока, характеризующая текущей период, началась в 60-70 гг. XX столетия, интенсификация хозяйственной деятельности в Казахстане также произошла в этот период. С 70-х гг. началась новая фаза в изменениях водных ресурсов огромных территорий, при этом некоторое замедление процесса или даже группировки лет противоположного знака аномалии с конца 90-х гг. не дают оснований считать, что эта фаза закончилась и сменилась новой, это просто случайные группировки на фоне установившейся тенденции. Современным периодом в многолетнем ходе водности рек рассматриваемой территории можно считать период с середины 70-х гг. прошлого столетия. Для рек бассейна Есильского водохозяйственного бассейна характерна цикличность стока с периодом 10-25 лет, обнаруживаются явно выраженная тенденция к образованию группировки маловодных лет. Здесь в 30-х годах маловодье затянулось до 10-11 лет. Продолжительность многоводных циклов рек бассейна невелика и составляет 3-5 лет.

Анализ колебаний максимального стока. Для большей части рассмотренных гидрологических постов преобладают следующие особенности: уменьшение за многолетний период значений как непосредственно Q_{\max} , так и его абсолютной изменчивости σ_Q . Уменьшение его абсолютной изменчивости в определенной степени связано с рядом особенностей многолетнего хода стока вообще и максимальных расходов в частности: соседство во времени очень маловодных 1930 гг. и несколько выдающихся максимумов стока в 1940 гг. (3750 м³/с – 1948 г. в створе города Петропавловск). Естественно, в ряду, включающем оба эти десятилетия изменчивость стока повышена. Именно наличием нескольких многоводных лет в 1940 гг. можно объяснить и общее последующее уменьшение Q_{\max} во времени. Но это только самые общие черты многолетнего хода, в разных створах могут наблюдаться свои особенности. В бассейне р. Есиль после спада значений Q_{\max} (в 1,5-2 раза) примерно с 20-летия 1956-1975 гг. – новый рост значений максимального расхода, причем по р. Калкутан – более чем в 2 раза. По р. Жабай наблюдается некоторое снижение Q_{\max} за многолетний период, по р. Иманбурлык с 1950 гг. наблюдается некоторое увеличение максимального стока. Относительно абсолютной изменчивости стока – на реках бассейна Есиль Жабай и Калкутан снижение σ_Q было более постепенным, показатель изменчивости стока снизился вдвое к 20-летию 1973-1992 гг., затем наступил его рост, но в целом значение σ_Q уменьшилось.

Анализ колебаний минимального стока. В отношении минимальных расходов воды рек Казахстана, их многолетнего хода и состояния именно в современный период – пока полная неопределенность. Маловодная фаза на

реках наблюдается в летне-осенние и зимние периоды. Её общая продолжительность может достигать 200-300 дней и более.

На территории водохозяйственного бассейна р. Есиль пересыхающими являются не только малые водотоки, но и сравнительно крупные реки с водосборной площадью порядка 5000-10000 км². Повторяемость пересыхания водотоков существенно зависит от гидрогеологических особенностей речных бассейнов и их размеров. К непересыхающим малым водотокам относится ряд небольших притоков рек Есиль, Силеты, Жабай.

Прекращение стока в летний меженный период типично для водотоков южной части Есильского водохозяйственного бассейна. Все водотоки, расположенные к югу от р. Есиль, в той или иной степени являются пересыхающими. На территории северной части водохозяйственного бассейна, где условия увлажнения более благоприятны, наряду с временными водотоками имеются также непересыхающие реки. Отсутствие стока в летний период большей частью наблюдается на реках со сравнительно небольшой водосборной площадью ($F < 3000$ км²). Пересыхание более крупных рек наблюдается лишь в отдельные годы. В частности, река Есиль за 80-летний период наблюдения пересыхала непродолжительное время 8 раз, а более месяца - всего 1 раз. Река Жабай у г. Атбасар за период с 1937 по 2019 гг. пересыхала всего дважды [55, 56].

Прекращение стока вследствие промерзания типично для всех водотоков территории, сохраняющих сток до начала зимнего сезона. Малые непересыхающие водотоки промерзают ежегодно во второй половине ноября (р. Есиль – с. Пришимское и др.). Отсутствие стока на них наблюдается в течение около 120-140 дней. На относительно крупных реках (р. Есиль – г. Астана и р. Жабай – г. Атбасар) продолжительность промерзания снижается до 80-100 дней. За период с естественным режимом стока (до 1973 г.) в отдельные редкие годы сток на этих реках один раз 5-10 лет и реже наблюдался в течение всего года. После 1980 г. в результате попусков из водохранилищ сток на этих реках наблюдается в течение всего года.

Минимальный суточный расход воды р. Есиль – г. Астана за зимний период не имел нулевых значений (после 1980 г.) и изменялся от 0,018 до 1,73 м³/с, в среднем сток составлял 0,54 м³/с. На р. Жабай – г. Атбасар минимальный суточный расход воды изменялся (после 1980 г.) в пределах от 0,094 до 0,80 м³/с и в среднем составлял 0,45 м³/с.

Меженный период на р. Есиль по всей его длине длится в среднем девять месяцев (с июля по март). В летний период минимальные расходы воды наблюдались в июле-августе, в зимний период – январе-марте. Наименьшие из минимальных расходов приходятся на зимнюю межень.

Выводы по второму разделу.

1. В отношении равнинного Казахстана ожидаются следующие тенденции:

– сравнительное простое устройство поверхности благоприятствует согласованности колебаний, как метеорологических характеристик, так и стока рек;

– большие размеры территории могут способствовать определенным метеорологическим и гидрологическим различиям;

– для рек бассейна Есильского водохозяйственного бассейна характерна цикличность стока с периодом 15-25 лет;

– норму стока целесообразно рассчитывать в двух вариантах: за многолетний период и за период, характеризующий текущую фазу климата и современный уровень антропогенных влияний на сток, современную фазу климата в основном характеризует период с середины 1970-х гг.

2. В результате анализа многолетнего хода величин максимальных расходов воды можно сделать следующие выводы:

– заметные различия в многолетнем ходе как непосредственно величин максимальных расходов, так и их абсолютной изменчивости;

– по большинству рек многолетний ход Q_{\max} отчасти повторяет особенности хода годового стока (общее уменьшение расходов воды, заметное уменьшение с первой половины 1970 гг., неопределенный ход даже некоторое увеличение расходов воды в последние 10-летия);

– для рек Есильского водохозяйственного бассейна была обнаружена достаточно выраженная тенденция к образованию группировок многоводных и маловодных лет, вероятность следования за многоводным маловодного года составляет 50 %, за маловодным маловодного 55 % (с другой стороны, за многоводным годом маловодный следует ожидать на р. Есиль с вероятностью всего 14 %, за маловодным вероятностью проявления многоводного года составляет 30 %).

3. В результате анализа многолетнего хода величин минимальных расходов воды можно сделать следующие выводы:

– выявлено, что ряды минимального зимнего и летне-осеннего стока на значительной части постов бассейна р. Есиль являются неоднородными – неоднородность рядов характеристик стока бассейна Есиль обусловлена обоими факторами: климатическими изменениями и антропогенной нагрузкой (вероятнее всего, концепция стационарности стока при оценке водных ресурсов не может быть принята как единственная);

– в условиях континентального климата и скудного грунтового питания многие реки – временно действующие, пересыхают летом и промерзают до дна зимой (общая продолжительность периода без стока может достигать 10-11 месяцев).

3 ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

3.1 Определение расчетных гидрологических характеристик

Для оценки гидрологических характеристик района необходимо располагать репрезентативными рядами наблюдений, позволяющими надежно оценить расчетные характеристики годового стока. В связи с отсутствием по большинству рек данных возникают задачи восстановления пропущенных величин стока, привлекая материалы рек-аналогов, т.е. применяя метод гидрологической аналогии.

При выборе рек-аналогов учитывалось следующее:

- расчетная река и потенциальная река-аналог должны находиться в максимальной географической близости;
- климатические условия, определяющие формирование стока рассматриваемых рек, должны быть практически одинаковыми;
- колебания годового стока на сравниваемых реках должны быть синхронными;
- рельеф водосбора, почво-грунты и гидрогеологические условия в бассейнах рассматриваемых рек не должны существенно отличаться;
- площади водосборов не должны различаться более чем в 10 раз для равнинных рек, а в горах различие в средней высоте водосборов должно быть в пределах 300 м;
- продолжительность совместных лет наблюдений за годовым стоком на расчетной реке и реке-аналоге должна быть не менее 10 лет.

Объективным критерием правильности выбора пункта-аналога, в соответствии с требованиями СП 33-101-2003 [57], является достаточно тесная связь величин стока за годы одновременных наблюдений, характеризуемая коэффициентом корреляции (парной или множественной) и отношением коэффициента регрессии r к его среднеквадратической погрешности σ_r при условии $r \geq 0,70$ и $r/\sigma_r \geq 2$ [57, 58].

За аналог может быть принят один или несколько пунктов наблюдений за стоком, отвечающих вышеперечисленным требованиям. Подобрать аналог, а тем более несколько аналогов, полностью отвечающих требованиям, предъявляемым к бассейну-аналогу, нередко бывает очень трудно. При восстановлении годового стока данного района обязательно соблюдалось условие $r \geq 0,70$, остальные требования в отдельных случаях соблюдались не столь строго. Это касалось, например, различий в площадях водосбора.

Приведение данных гидрологических характеристик стока рек к длительному периоду может осуществляться графическим, аналитическим или графоаналитическим способами.

Графический метод чаще всего применяется при выборе лишь одного пункта-аналога и для определения среднего многолетнего значения стока. Графические зависимости могут быть построены при наличии не менее 6 соответственных значений годового стока в расчетном створе и створе реки-аналога. Однако графический способ восстановления стока не позволяет в

явном виде учесть коэффициент корреляции и ошибки используемых характеристик, хотя и является более наглядным и относительно быстрым способом расчета [57, 58]. Графоаналитический способ применяется для приведения параметров стока методом Г.А. Алексеева по опорным точкам кривой обеспеченности пункта-аналога, а не для восстановления годовых значений стока.

При массовых расчетах целесообразно применять аналитический способ приведения данных годового стока рек к длительному периоду. В этом случае в явном виде учитывается коэффициент корреляции между значениями стока в пункте приведения и пунктах-аналогах, а также можно оценить ошибки расчета характеристик стока. Поэтому в данном исследовании для восстановления годового стока использован аналитический способ. Графический способ использован в отдельных случаях, при восстановлении величин годового стока в зависимости от значений стока за вегетационный период. В этом случае связь бывает довольно тесной.

3.2 Годовой сток. Обеспеченные величины годового стока рек

Годовой сток рек временных водотоков рассматриваемой территории формируется под влиянием климатических факторов, а также рельефа, почво-грунтов и гидрогеологических особенностей водосборов. Важной особенностью формирования стока рек бассейна Есиль является поверхностное задержание талых вод, которому в немалой степени способствует относительно плоский рельеф и большое количество макропонижений.

В периоды низкого стока почти весь сезонный сток, вызванный таянием снега, направляется на наполнение низин рельефа и плоских ложбин в руслах водотоков, причем объем стока незначителен. В основном сток формируется за счет скопления снега в русле, характеризуется ограниченной площадью водосбора, и гидрологические условия становятся схожими с пустынными [153].

В многоводные годы депрессии рельефа переполняются, дают сток в основное русло, действующая водосборная площадь многократно увеличивается. Специфичность гидрологических условий данного района – чрезвычайная неравномерность стока во времени как в многолетнем разрезе, так и в течение года. На р. Есиль, например, экстремальные значения максимальных расходов воды различаются приблизительно в 250 раз.

Коэффициенты вариации годовых и максимальных расходов воды могут превосходить 1,1-1,4. Здесь очень высокие коэффициенты вариации стока (C_v). Значит, для получения надежных статистических характеристик нужны ряды большей длительности, нежели в других регионах.

Исходные данные. Исходными материалами для анализа характеристик годового стока рек бассейна р. Есиль послужили ежегодные данные стока по 52 гидрологическим постам, в том числе и ранее закрытым, с рядами наблюдений от 4 до 93 лет. Площади водосборов для створов, использованные в расчетах и обобщениях, изменяются от 26,3 км² (Лог

Безымянный – Передовик) до 149000 км² (р. Есиль – с. Долматово). Средняя продолжительность наблюдений за годовыми расходами воды составляет 35 лет. Самые продолжительные наблюдения за стоком производились с 1893 г. на р. Есиль – г. Петропавловск. Период наблюдений по 2 постам имеют продолжительность менее 6 лет. 10 постов имеют продолжительность от 7 до 10 лет, от 10 до 30 лет – 16 постов. Более 40 лет наблюдений проводились на 18 постах.

Анализ исходной информации показал, что максимальные годовые расходы воды на реках наблюдались в 1948, 1949, 1964, 1990, 1993, 2007, 2014, 2017 гг. Большинство случаев экстремально низкого годового стока на реках бассейна наблюдалось в конце 60-х, в середине 70-х годов прошлого столетия, и в 2011, 2012 гг. Исходные данные наблюдений рядов годового стока были приведены к многолетнему периоду, согласно методике изложенной [43-45]. В результате приведения продолжительность рядов годового стока увеличилась в среднем на 50 лет.

Однородность и стационарность. Анализ годовых расходов воды рек бассейна Есиль показал, что в многолетнем ходе стока одновременно с большой его изменчивостью по годам заметно наличие цикличности, многоводные группировки лет сменяются маловодными. Цикличность в ходе стока рек бассейна Есиль можно частично объяснить относительно большой зависимостью стока данного года от стока предшествующего года.

В периоды низкого стока резервы влаги в бассейне уменьшаются, проявляясь в снижении уровней озер, засушливости всех безводных впадин и уменьшении влагоемкости почв. Это приводит к тому, что последующие годы, несмотря на возможно значительные снегозапасы, также будут характеризоваться низким стоком или будут к нему приближены; обратная картина наблюдается в годах, последующих после периодов повышенного стока. Продолжительность маловодных периодов велика, в то время как периоды повышенного стока более кратковременны и составляют 3-5 лет [152].

На основе анализа результатов установлено, что годовой сток рек бассейна Есиль однороден только примерно на 55 %, неоднородны по критериям Стьюдента и Фишера примерно 45 % наблюдений по рассматриваемым рядам годового стока. Неоднородность характерна для рек с зарегулированным стоком.

Расчетные параметры распределения. По рядам годового стока, приведенным к многолетнему периоду, рассчитаны параметры распределения (среднее, коэффициенты вариации и асимметрии, коэффициент автокорреляции) и значения годового стока заданной обеспеченности. При расчетах статистических параметров и значений стока различной обеспеченности использованы аналитические кривые обеспеченности (распределение Крицкого – Менкеля или распределение Пирсона III типа).

Расчетные параметры (среднее многолетнее значение, коэффициенты вариации, автокорреляции и соотношения коэффициентов асимметрии к коэффициентам вариации) (таблицы 5-6).

Таблица 5 – Параметры и расчетные значения среднегодового стока рек Есильского водохозяйственного бассейна (многолетний период 1933-2019 гг.)

| Код поста | Река-пост | Площадь водосбора, км ² | Число лет наблюдений | Характерные значения стока за период наблюдений | | | | | Параметры стока по ряду, приведенному к многолетнему периоду | | | | |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|----------------------|---|--|------|---------------------------------------|------|--|-----------------------------------|--------------------------|-------|---------------------------------------|
| | | | | средний многолетний, м ³ /с | максимальный расход, м ³ /с | год | минимальный расход, м ³ /с | год | расход воды, м ³ /с | модуль стока, л/с×км ² | коэффициент вариации, Cv | Cs/Cv | коэффициент автокорреляции γ_1 |
| 11272 | Силеты – с. Приречное | 1670 | 53 | 1,34 | 4,49 | 2005 | 0,068 | 2012 | 1,19 | 0,71 | 0,90 | 2 | 0,15 |
| 11275 | Силеты – с. Изобильное | 14600 | 46 | 5,12 | 16,0 | 1996 | 0,18 | 1978 | 6,16 | 0,42 | 0,89 | 2 | 0,26 |
| 11291 | Шаглинка – с. Павловка | 1750 | 64 | 1,49 | 6,66 | 2017 | 0,15 | 1968 | 1,45 | 0,83 | 0,82 | 2 | 0,29 |
| 11293 | Шаглинка – пос. Северный | <u>5040</u> 8360 | 42 | 1,54 | 11,0 | 1941 | 0,046 | 1976 | 1,30 | 0,26 | 1,29 | 2 | 0,18 |
| 11398 | Есиль – г. Астана | 7400 | 62 | 5,15 | 22,0 | 1948 | 0,097 | 1967 | 4,85 | 0,65 | 0,86 | 2 | 0,34 |
| 11402 | Есиль – с. Державинское | 76000 | 36 | 29,8 | 84,7 | 1964 | 1,89 | 1964 | 29,9 | 0,39 | 0,95 | 2 | 0,36 |
| 11404 | Есиль – с. Каменный Карьер | 86200 | 64 | 40,8 | 176 | 1948 | 3,93 | 1967 | 39,7 | 0,46 | 0,87 | 2 | 0,35 |
| 11405 | Есиль – с. Западное | 90000 | 27 | 67,8 | 223 | 2017 | 5,13 | 1977 | 62,6 | 0,69 | 0,80 | 2 | 0,095 |
| 11410 | Есиль – г. Петропавловск | <u>106000</u> 118000 | 77 | 59,5 | 227 | 1948 | 2,57 | 1972 | 59,1 | 0,56 | 0,89 | 2 | 0,32 |
| 11668 | Есиль – с. Долматово | <u>142000</u> 113000 | 23 | 63,3 | 146 | 2017 | 16,2 | 1999 | 57,6 | 0,51 | 0,46 | 2 | 0,13 |
| 11424 | Калкутан – Калкутан | 16500 | 56 | 7,72 | 33,3 | 2002 | 0,10 | 1977 | 7,34 | 0,44 | 0,93 | 2 | 0,18 |
| 11432 | Жабай – с. Балкашино | 922 | 54 | 1,60 | 3,45 | 2017 | 0,32 | 1968 | 1,40 | 1,73 | 0,64 | 2 | 0,30 |
| 11433 | Жабай – г. Атбасар | 8530 | 74 | 9,11 | 70,5 | 2017 | 0,97 | 1937 | 8,93 | 0,97 | 1,05 | 2 | 0,22 |
| 11455 | Акканбурлук – с. Григорьевка | <u>5820</u> 6520 | 48 | 6,12 | 15,5 | 2014 | 0,96 | 1968 | 6,53 | 1,12 | 0,61 | 2 | 0,18 |
| 11461 | Иманбурлук – с. Соколовка | <u>3870</u> 4070 | 59 | 2,95 | 11,8 | 2017 | 0,26 | 1968 | 2,75 | 0,71 | 0,88 | 2 | 0,18 |

Среднемноголетние значения модулей годового стока, рассчитанные по рядам, приведенным к многолетнему периоду, изменяются для рек данного бассейна от 0,26 л/сек×км² до 1,73 л/сек×км² (многолетний период), от 0,46 л/сек×км² до 1,05 л/сек×км² (современный период). Средняя квадратическая погрешность расчета среднемноголетнего модуля изменяется в пределах от 2 до 33 %, в среднем ошибка составляет 13 %.

Коэффициенты вариации годового стока (C_v) рек бассейна Есиль изменяются от 0,46 до 1,29 (многолетний период), от 0,55 до 1,05 (современный период). Средние квадратические относительные погрешности расчетов коэффициентов вариации изменяются в пределах от 2 до 38 %, в среднем ошибка составляет 16 %. Наибольшие погрешности расчетных параметров характерны для рек с небольшим периодом наблюдений и малыми площадями водосборов.

Таблица 6 – Параметры и расчетные значения среднегодового стока рек Есильского водохозяйственного бассейна (современный период 1974-2019 гг.)

| Код поста | Река-пост | Площадь водосбора, км ² | Число лет наблюдений | Характерные значения стока за период наблюдений | | | | | Параметры стока по ряду, приведенному к многолетнему периоду | | | | |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|----------------------|---|--|------|---------------------------------------|------|--|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|----------------------------------|
| | | | | средний многолетний, м ³ /с | максимальный расход, м ³ /с | год | минимальный расход, м ³ /с | год | расход воды, м ³ /с | модуль стока, л/с×км ² | коэффициент вариации, C_v | C_s/C_v | коэффициент автокорреляции r_1 |
| 11272 | Силеты – с. Приречное | 1670 | 43 | 1,37 | 4,49 | 2005 | 0,068 | 2012 | 1,30 | 0,78 | 0,95 | 2 | 0,17 |
| 11275 | Силеты – с. Изобильное | 14600 | 37 | 4,59 | 21,5 | 2017 | 0,18 | 1978 | 4,90 | 0,34 | 1,04 | 2 | 0,21 |
| 11291 | Шаглинка – с. Павловка | 1750 | 29 | 1,74 | 6,66 | 2017 | 0,26 | 1975 | 1,70 | 0,97 | 0,78 | 2 | 0,19 |
| 11293 | Шаглинка – пос. Северный | <u>5040</u> 8360 | 24 | 1,62 | 5,50 | 2014 | 0,046 | 1976 | 1,40 | 0,28 | 0,99 | 2 | 0,22 |
| 11398 | Есиль – г. Астана | 7400 | 29 | 4,01 | 13,0 | 1993 | 0,20 | 1999 | 3,76 | 0,51 | 0,80 | 2 | 0,28 |
| 11402 | Есиль – с. Державинское | 76000 | 36 | 26,7 | 40,3 | 1974 | 3,29 | 1975 | 29,9 | 0,39 | 0,83 | 2 | 0,32 |
| 11404 | Есиль – с. Каменный Карьер | 86200 | 43 | 36,2 | 94,6 | 2017 | 4,03 | 2009 | 36,7 | 0,43 | 0,66 | 2 | 0,29 |
| 11405 | Есиль – с. Западное | 90000 | 27 | 67,8 | 223 | 2017 | 5,13 | 1977 | 62,6 | 0,69 | 0,80 | 2 | 0,095 |
| 11410 | Есиль – г. Петропавловск | <u>106000</u> 118000 | 38 | 59,1 | 196 | 2017 | 7,26 | 1977 | 60,3 | 0,57 | 0,77 | 2 | 0,35 |
| 11668 | Есиль – с. Долматово | <u>142000</u> 113000 | 23 | 63,3 | 146 | 2017 | 16,2 | 1999 | 57,6 | 0,51 | 0,46 | 2 | 0,13 |
| 11424 | Калкутан – Калкутан | 16500 | 42 | 8,95 | 33,3 | 2002 | 0,10 | 1977 | 8,56 | 0,52 | 0,89 | 2 | 0,15 |
| 11432 | Жабай – с. Балкашино | 922 | 40 | 1,69 | 3,45 | 2017 | 0,34 | 1975 | 1,56 | 1,69 | 0,55 | 2 | 0,25 |
| 11433 | Жабай – г. Атбасар | 8530 | 45 | 11,1 | 70,5 | 2017 | 1,84 | 1999 | 11,3 | 1,32 | 1,05 | 2 | 0,23 |
| 11455 | Акканбурлук – с. Григорьевка | <u>5820</u> 6520 | 24 | 6,88 | 15,5 | 2014 | 1,90 | 1975 | 7,20 | 1,24 | 0,64 | 2 | 0,21 |
| 11461 | Иманбурлук – с. Соколовка | <u>3870</u> 4070 | 36 | 3,63 | 11,8 | 2017 | 0,40 | 2006 | 3,34 | 0,86 | 0,87 | 2 | 0,17 |

Коэффициент автокорреляции (коэффициент корреляции между стоком смежных членов ряда), характеризующий переходящую из года в год влагу в

бассейнах рек, изменяется от 0,095 до 0,36. Для большинства створов коэффициент автокорреляции составил 0,18-0,26.

Значения годового стока заданной вероятности превышения от 1 до 97 %, определенные по рядам, приведенным к многолетнему периоду, представлены в таблицах 7-8.

Таблица 7 – Среднегодовой расход воды различной обеспеченности рек Есильского водохозяйственного бассейна (многолетний период 1933-2019 гг.)

| Код поста | Река-пост | Среднегодовой расход воды (м ³ /с) различной обеспеченности (%) | | | | | | | | |
|-----------|------------------------------|--|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 95 | 97 |
| 11272 | Силеты – с. Приречное | 5,08 | 3,28 | 2,63 | 1,63 | 0,86 | 0,39 | 0,17 | 0,088 | 0,050 |
| 11275 | Силеты – с. Изобильное | 25,7 | 17,5 | 13,9 | 8,7 | 4,69 | 2,20 | 0,93 | 0,54 | 0,33 |
| 11291 | Шаглинка – с. Павловка | 4,86 | 3,34 | 2,71 | 1,82 | 1,06 | 0,56 | 0,26 | 0,16 | 0,11 |
| 11293 | Шаглинка – пос. Северный | 7,44 | 4,46 | 3,22 | 1,75 | 0,71 | 0,21 | 0,049 | 0,017 | 0,008 |
| 11398 | Есиль – г. Астана | 23,3 | 14,6 | 11,2 | 6,72 | 3,46 | 1,54 | 0,66 | 0,33 | 0,20 |
| 11402 | Есиль – с. Державинское | 153 | 96,5 | 74,1 | 44,1 | 22,1 | 9,17 | 4,04 | 1,68 | 0,90 |
| 11404 | Есиль – с. Каменный Карьер | 194 | 122 | 94,4 | 51,4 | 27,8 | 11,6 | 5,44 | 2,07 | 1,21 |
| 11405 | Есиль – с. Западное | 210 | 146 | 125 | 78,2 | 45,3 | 23,6 | 11,8 | 6,80 | 4,98 |
| 11410 | Есиль – г. Петропавловск | 262 | 169 | 130 | 79,3 | 40,3 | 17,8 | 7,47 | 3,50 | 1,94 |
| 11668 | Есиль – с. Долматово | 239 | 161 | 127 | 79,2 | 45,7 | 22,8 | 10,6 | 5,78 | 4,17 |
| 11424 | Калкутан – Калкутан | 33,4 | 21,9 | 16,9 | 10,4 | 5,22 | 2,23 | 1,12 | 0,42 | 0,25 |
| 11432 | Жабай – с. Балкашино | 4,77 | 3,37 | 2,79 | 1,89 | 1,14 | 0,63 | 0,34 | 0,22 | 0,16 |
| 11433 | Жабай – г. Атбасар | 28,5 | 20,2 | 16,7 | 11,3 | 6,83 | 3,80 | 2,03 | 1,30 | 0,98 |
| 11455 | Акканбурлук – с. Григорьевка | 18,7 | 13,8 | 11,5 | 8,39 | 5,53 | 3,42 | 2,12 | 1,52 | 1,19 |
| 11461 | Иманбурлук – с. Соколовка | 9,35 | 6,48 | 5,19 | 3,48 | 2,02 | 1,05 | 0,52 | 0,30 | 0,22 |

Таблица 8 – Среднегодовой расход воды различной обеспеченности рек Есильского водохозяйственного бассейна (современный период 1974-2019 гг.)

| Код поста | Река-пост | Среднегодовой расход воды (м ³ /с) различной обеспеченности (%) | | | | | | | | |
|-----------|--------------------------|--|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 95 | 97 |
| 11272 | Силеты – с. Приречное | 5,23 | 3,47 | 2,71 | 1,63 | 0,89 | 0,41 | 0,19 | 0,09 | 0,05 |
| 11275 | Силеты – с. Изобильное | 21,1 | 13,8 | 10,6 | 6,56 | 3,29 | 1,40 | 0,70 | 0,27 | 0,16 |
| 11291 | Шаглинка – с. Павловка | 5,07 | 3,63 | 2,99 | 2,09 | 1,30 | 0,75 | 0,42 | 0,28 | 0,14 |
| 11293 | Шаглинка – пос. Северный | 7,33 | 4,45 | 3,22 | 1,75 | 0,70 | 0,22 | 0,050 | 0,016 | 0,008 |
| 11398 | Есиль – г. Астана | 15,7 | 10,4 | 8,16 | 5,14 | 2,68 | 1,22 | 0,56 | 0,27 | 0,15 |
| 11402 | Есиль – с. Державинское | 131 | 86,4 | 67,1 | 41,9 | 21,5 | 9,57 | 4,54 | 1,99 | 1,14 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 11404 | Есиль – с. Каменный Карьер | 167 | 109 | 83,7 | 51,1 | 25,2 | 10,5 | 5,46 | 1,86 | 1,09 |
| 11405 | Есиль – с. Западное | 210 | 146 | 117 | 78,2 | 45,3 | 23,6 | 11,8 | 6,80 | 4,98 |
| 11410 | Есиль – г. Петропавловск | 239 | 158 | 123 | 77,9 | 41,1 | 18,9 | 8,60 | 5,51 | 3,96 |
| 11668 | Есиль – с. Долматово | 198 | 140 | 116 | 77,7 | 46,7 | 25,7 | 13,6 | 8,56 | 6,46 |
| 11424 | Калкутан – Калкутан | 6,42 | 4,14 | 3,13 | 1,86 | 0,89 | 0,35 | 0,15 | 0,054 | 0,031 |
| 11432 | Жабай – с. Балкашино | 4,40 | 3,16 | 2,61 | 1,87 | 1,23 | 0,81 | 0,59 | 0,49 | 0,46 |
| 11433 | Жабай – г. Атбасар | 31,4 | 22,5 | 18,5 | 13,0 | 8,17 | 4,78 | 2,72 | 1,86 | 1,46 |
| 11455 | Акканбурлук – с. Григорьевка | 18,9 | 13,4 | 11,0 | 7,69 | 4,78 | 2,84 | 1,70 | 1,26 | 1,03 |
| 11461 | Иманбурлук – с. Соколовка | 9,71 | 6,73 | 5,42 | 3,67 | 2,19 | 1,28 | 0,77 | 0,59 | 0,51 |

Выводы по третьему разделу.

1. Коэффициент автокорреляции изменяется от 0,095 до 0,36. Для большинства створов коэффициент автокорреляции составил 0,18-0,26.

2. Среднемноголетние значения модулей годового стока для рек данного бассейна изменяются от 0,26 л/сек×км² до 1,73 л/сек×км² (многолетний период), от 0,46 л/сек×км² до 1,05 л/сек×км² (современный период).

3. Коэффициенты вариации годового стока изменяются от 0,46 до 1,29 (многолетний период), от 0,55 до 1,05 (современный период).

4 НАГРУЗКА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ЕСИЛЬСКОГО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО БАССЕЙНА

4.1 Внутригодовое распределение стока

Исследование закономерностей внутригодового распределения стока рек является одним из важнейших вопросов, решение, которого необходимо для рационального и комплексного использования водных ресурсов.

Внутригодовое распределение стока, прежде всего, определяет основные параметры водохозяйственных сооружений: гарантированную отдачу воды из водохранилища, ёмкость регулирования, характер регулирования стока из водохранилищ, а, следовательно, экономическую эффективность водохозяйственных мероприятий и объектов. Внутригодовое распределение стока от года к году постоянно изменяется вследствие различия в величинах расхода воды в одинаковые фазы водного режима (пики половодья, паводков, низкая межень) и из-за сдвига времени наступления однозначных фаз режима в различные годы. Данные о внутригодовом распределении стока используются при разработке мероприятий по борьбе с наводнениями, при орошении, при разработке проектов промышленного и хозяйственного водоснабжения.

На внутригодовое распределение стока рек оказывают влияние различные факторы. Это климатические условия (количество и режим выпадения осадков, температура воздуха в период таяния сезонных снегов и ледников, испарение с поверхности бассейнов), рельеф местности, тип питания рек, гидрогеология и т.д. Немаловажный факт, что к анализу методов и приемов расчета внутригодового распределения стока надо подходить одновременно как с точки зрения правильного отражения ими существующих природных закономерностей внутригодового хода стока, так и с точки зрения удовлетворения требований проектирования.

Для расчета внутригодового распределения к настоящему времени имеется ряд методов. Наиболее известны следующие группы методов: среднеарифметического (фиктивного) гидрографа, гидрографа реального характерного года, равнообеспеченного гидрографа, применение специальных показателей расчета внутригодового распределения стока, использование кривых продолжительности суточных расходов для описания внутригодового распределения стока, метод компановки.

Метод среднеарифметического (фиктивного) гидрографа расчета внутригодового распределения стока получил в практике большое распространение. Данный метод обладает тем преимуществом, что исключаются нетипичные особенности режима стока отдельных лет, а получаемые характеристики имеют большую устойчивость и мало изменяются с добавлением новых лет наблюдений. Недостаток метода в том, что получается более выровненное внутригодовое распределение, чем в отдельные фактические годы, поэтому такое распределение получило в практике название «среднего фиктивного» и может применяться лишь для приближенной оценки.

Метод «равнообеспеченного гидрографа» впервые был предложен Д.И. Качериным, а его теоретическое обоснование было сделано Г.А. Алексеевым. При расчете этим методом строятся эмпирические кривые обеспеченности среднемесячных расходов воды за каждый месяц. С них снимаются значения среднемесячных расходов различной обеспеченности (25, 50, 75, 90 %). На практике этот метод не применяется, так как реальный год не состоит из месячного стока одинаковой обеспеченности.

Сущность применения специальных показателей расчета внутригодового распределения стока заключается в том, что для расчета внутригодового распределения стока применяются специальные показатели. Эти показатели в основном дают общую характеристику внутригодового распределения стока. Известно несколько десятков показателей: коэффициент естественной зарегулированности, внутригодовой неравномерности и др. [59-63].

Расчет с использованием кривых продолжительности суточных расходов для описания внутригодового распределения стока представляется не только по месяцам или сезонам, но и в виде кривых продолжительности суточных расходов, которые выражают продолжительность стояния расходов, равных данному или превышающих его [64]. Существенным недостатком кривой продолжительности расходов является отсутствие представления о календарной последовательности расходов воды.

Метод компановки получил наибольшее распространение в практике гидрологических расчетов. Впервые метод компановки был разработан Г.И. Швецом для рек Украины [65]. По предложенной схеме год разделялся на 3 сезона: весна, лето-осень зима. Обеспеченность стока двух сезонов (критический период) в зависимости от задач проектирования принималась равной обеспеченности года, а сток третьего сезона определялся как разность между стоком за год и суммарным стоком за два сезона. Достоинство этой схемы – учитываются требования проектирования. Недостатки – обеспеченность, равная обеспеченности года, задается сразу для двух сезонов из трех. Это приводит к тому, что сток нелимитирующего сезона, определяемый как разность стока за год и суммарного стока за два сезона одинаковой обеспеченности, оказывается более редкой повторяемости, чем в том случае, когда он определяется как разность между годовым стоком и стоком одного сезона.

В.Г. Андреев [66] учел этот недостаток и разработал метод расчета внутригодового распределения стока, который пригоден для любых задач проектирования и любых физико-географических условий, при любых типах внутригодового хода. В этой схеме принимается одинаковая обеспеченность стока за год, за лимитирующий период года и внутри последнего – за лимитирующий сезон. Обеспеченность принимается заданной. Расчет внутригодового распределения производится для нескольких градаций водности. Раздельно рассматривается посезонное и внутрисезонное распределение стока. Лимитирующий период и сезон выбираются в зависимости от преобладающего вида хозяйственного использования. Эта

методика вошла в СНиП 2.01.14-83, как основная, рекомендуемая для расчета внутригодового распределения стока. В качестве расчетных интервалов времени принимаются обычно месяцы и сезоны, реже – декады и недели. При наличии материалов наблюдений расчет выполняется по рядам, имеющим продолжительность не менее 15 лет. Данный метод и принят при расчете внутригодового распределения стока рек Есильского водохозяйственного бассейна.

Метод Андреянова В.Г. дает наилучшие результаты для тех рек, на которых наблюдается зависимость внутригодового распределения стока от водности года – это равнинные реки, имеющие снеговое питание. Метод основан на принятии равенства обеспеченности стока за год, лимитирующий период и лимитирующий сезон. Расчет значений стока за год, лимитирующий период и лимитирующий сезон обычно осуществляется по следующим четырем градациям водности: многоводная (P=25 %), средняя (P=50 %), маловодная (P=75 %) и очень маловодная (P=95 %).

Из множества возможных сочетаний стока за отдельные сезоны и их части для гидрологического обоснования проектов должно быть выбрано одно расчетное сочетание (в особых случаях два или три), удовлетворяющее требованиям проектирования применительно к намечаемой схеме использования водных ресурсов. Расчетное сочетание для проектирования должно выбираться как возможное невыгодное, но не слишком редкой повторяемости, обеспечивающее задаваемую степень гарантии безаварийной и бесперебойной работы рассматриваемого водопотребителя. В связи с этим при расчете должно обращать внимание не только на водность года, но и на водность тех периодов и сезонов, которые являются лимитирующими [66].

Согласно российскому Своду правил [67] расчёт внутригодового распределения стока выполняется тремя методами: компановки; реального года; среднего распределения стока за год характерной градации водности. Оценка границ гидрологических сезонов и расчеты внутригодового распределения стока производилась по данным наблюдений на основных гидрологических постах методом компановки. Сроки гидрологических сезонов для рек Есильского водохозяйственного бассейна представлены в (таблица 9).

Таблица 9 – Сроки гидрологических сезонов для рек бассейна Есиль

| Бассейн | Сезон | | |
|-------------------------------------|-------|------------|--------|
| | Весна | Лето-осень | Зима |
| Есильский водохозяйственный бассейн | IV-V | VI-X | XI-III |

Внутригодовое распределение стока рек заметно меняется по территории в соответствии с изменением климатических условий, помимо

климатических факторов большое влияние на распределение стока внутри года оказывают местные условия.

В последние десятилетия водный режим рек Есильского водохозяйственного бассейна и характер их внутригодового распределения стока существенным образом изменился. Рассмотрим более подробно современные особенности внутригодового распределения стока и водного режима для отдельных гидрологических постов.

В условиях хозяйственной деятельности особую роль в изменении внутригодового распределения стока рек играет русловое регулирование, орошение, промышленное водоснабжение, коммунально-бытовое хозяйство, агролесомелиорация.

Основными факторами хозяйственной деятельности, оказывающими влияние на внутригодовое распределение стока рек в рассматриваемом бассейне, являются: русловое регулирование – водохранилища многолетнего и сезонного регулирования (Вячеславское (Астанинское), Сергеевское, Петропавловское), многочисленные пруды, различные водозаборы, сбросы сточных вод, а также распаханность водосборов. Водоохранилища же оказывают доминирующее влияние на сток среди перечисленных выше видов хозяйственной деятельности.

В настоящее время в бассейне реки Есиль насчитывается 45 водохранилищ: 3 водохранилища комплексного назначения объемом более 100 млн. м³; 6 – объемом более 10 млн. м³; 36 водохранилищ целевого назначения емкостью от 1 до 10 млн. м³. Суммарная полная емкость водохранилищ комплексного назначения и водохранилищ целевого назначения по проекту составляет 1584 млн. м³, суммарная полезная емкость составляет 1446 млн. м³, что составляет 80 % годового объема базисного стока бассейна р. Есиль. Площадь водного зеркала водохранилищ составляет 312 км² [67] (таблица 10).

Анализ осредненных месячных сумм осадков и среднемесячных температур воздуха за 30-40 лет показал относительную стабильность их внутригодового распределения в бассейнах рек Есильского водохозяйственного бассейна, они не могут привести к существенным сдвигам во внутригодовом распределении стока [68].

Анализ внутригодового распределения годового стока в многолетнем разрезе может осуществляться с использованием метода скользящих средних, интегральных кривых месячного стока, а также путем сопоставления распределения месячного стока различных лет с различным уровнем регулирования стока на водосборе, но примерно с одинаковыми метеорологическими условиями. Используются также и расчетные способы, когда зарегулированный наблюдаемый сток сравнивают с восстановленными значениями. Однако ретрансформация месячного и декадного стока существующими приемами расчета затруднительна ввиду того, что ошибки при восстановлении стока нередко соизмеримы с месячным стоком.

Таблица 10 – Сведения о действующих водохранилищах в бассейне р. Есиль

| № п/п | Наименование водохранилища | Водоток или местность образования водохранилища | Год ввода | Емкость по проекту, млн. м ³ | | Площадь зеркала, км ² | | Вид регулирования |
|------------------------------|----------------------------|---|-----------|---|----------|----------------------------------|---------|-------------------|
| | | | | полная | полезная | при НПУ | при УМО | |
| Акмолинская область | | | | | | | | |
| 1 | Ишимское | р. Есиль | 1958 | 9,2 | 8,2 | 2,3 | - | Сезонное |
| 2 | Вячеславское (Астанинское) | р. Есиль | 1971 | 410,9 | 375,4 | 60,9 | 9,94 | Многолетнее |
| 3 | Селетинское | р. Силеты | 1966 | 230,0 | 220,0 | 36,3 | 2,1 | Многолетнее |
| 4 | Шаглинское | р. Шаггалалы | 1970 | 28 | 27,2 | 9,7 | 4,13 | Многолетнее |
| 5 | Анаркульское | оз. Анаркуль | 1946 | 3,48 | 2,8 | 4,05 | 3,02 | Многолетнее |
| 6 | Кара-Адырское | р. Талдысай | 1948 | 2,64 | 2,26 | 1,7 | 0,15 | Сезонное |
| 7 | Богембайское | р. Богембай | 1955 | 4,5 | 3,82 | 1,46 | 0,2 | Многолетнее |
| 8 | Берсуатское | р. Актасты | 1960 | 34,0 | 32,5 | 11,0 | 0,12 | Сезонное |
| 9 | Дамсинское | р. Дамса | 1962 | 1,51 | 0,8 | 1,03 | 0,13 | Сезонное |
| 10 | Ащилы-Айрык | р. Ащилы-Айрык | 1963 | 3,71 | 3,04 | 1,3 | 0,5 | Сезонное |
| 11 | Ждановское | р. Дамса | 1963 | 1,02 | 0,52 | 0,34 | 0,25 | Сезонное |
| 12 | Основное | р. Дамса | 1967 | 7,5 | 4,0 | 3,0 | 0,14 | Многолетнее |
| 13 | Жиланды-2 | р. Жиланды | 1971 | 1,51 | 1,33 | 0,6 | 0,14 | Сезонное |
| 14 | Карабулакское | р. Аксу | 1974 | 12,34 | 11,89 | 5,50 | 0,45 | Сезонное |
| 15 | Прохоровское | р. Кайракты | 1974 | 4,98 | 4,52 | 2,67 | 0,46 | Сезонное |
| 16 | Губернаторское | балка Безымянная | 1975 | 3,48 | 3,42 | 1,59 | 0,35 | Сезонное |
| 17 | Ушаковское | р. Кошубай | 1975 | 2,17 | 2,10 | 1,37 | 0,03 | Многолетнее |
| 18 | Мат | р. Мат | 1976 | 1,45 | 0,35 | 0,90 | 0,18 | Многолетнее |
| 19 | Асыксай | р. Асыксай | 1977 | 1,47 | 1,41 | 0,84 | 0,10 | Многолетнее |
| 20 | Осычки | лог Осычки | 1977 | 1,0 | 0,90 | 0,52 | 0,06 | Многолетнее |
| 21 | Урюпинское | р. Степная | 1978 | 10,82 | 10,7 | 3,06 | 2,15 | Многолетнее |
| 22 | Тасмола | р. Тасмола | 1978 | 3,68 | 3,61 | 2,04 | 0,01 | Многолетнее |
| 23 | Точим | лог Точим | 1978 | 1,57 | 1,54 | 0,64 | 0,05 | Многолетнее |
| 24 | Донец | р. Донец | 1979 | 2,04 | 2,01 | 1,15 | 0,08 | Многолетнее |
| 25 | Сарыкамыс | лог Сарыкамыс | 1980 | 2,17 | 2,13 | 0,6 | 0,04 | Многолетнее |
| 26 | Кенетай | р. Шортанды | 1980 | 16,41 | 10,0 | 5,22 | 1,66 | Многолетнее |
| 27 | Дальнее | приток Колутона | 1981 | 1,19 | 1,17 | 0,88 | 0,02 | Многолетнее |
| 28 | Аксуат | р. Аксуат | 1982 | 3,41 | 3,24 | 1,82 | 0,03 | Сезонное |
| 29 | Зимбулак | р. Зимбулак | 1982 | 2,25 | 2,16 | 0,65 | 0,05 | Многолетнее |
| 30 | Кызылсай | лог Кызылсай | 1983 | 1,13 | 1,1 | 0,51 | 0,02 | Сезонное |
| 31 | Ергольское | р. Жолболды | 1983 | 8,65 | 7,74 | 2,73 | 0,49 | Сезонное |
| 32 | Акжарское | р. Акжар | 1984 | 1,62 | 1,58 | 0,66 | 0,04 | Сезонное |
| 33 | Советское | приток Колутона | 1986 | 2,04 | 2,02 | 0,76 | 0,11 | Многолетнее |
| 34 | Первомайское | лог Сарыкамыс | 1988 | 3,0 | 2,59 | 0,9 | 0,02 | Многолетнее |
| 35 | Верхнее | р. Шортанбай | 1988 | 9,95 | 6,69 | 6,5 | 2,64 | Сезонное |
| 36 | Коянды | р. Коянды | 1989 | 5,79 | 5,16 | 1,78 | 0,04 | Многолетнее |
| 37 | Нижнее | р. Шортанбай | 1989 | 2,76 | 1,88 | 1,75 | 0,89 | Сезонное |
| 38 | Карасу | ручей Карасу | 1990 | 9,97 | 7,34 | 2,32 | 0,83 | Многолетнее |
| 39 | Петровское | руч. Безымянный | 1991 | 2,8 | 2,33 | 1,53 | 0,50 | Многолетнее |
| 40 | Красноозерное | р. Жиланды | 1993 | 3,05 | 2,44 | 1,01 | 0,24 | Сезонное |
| 41 | Бель-Агаческое | р. Жаман-Кайракты | 1962 | 2,24 | 2,14 | 1,67 | 0,07 | Многолетнее |
| 42 | Свободное | р. Соленая балка | 1988 | 1,66 | 1,33 | 0,48 | 0,02 | Сезонное |
| Северо-Казахстанская область | | | | | | | | |
| 43 | Сергеевское | р. Есиль | 1969 | 693 | 635 | 116,7 | 19,2 | Многолетнее |
| 44 | Петропавловское | р. Есиль | 1973 | 19,2 | 16,1 | 9,7 | 3,7 | Сезонное |
| 45 | Шарыкское | р. Шарык | 1987 | 8,26 | 7,9 | 2,12 | 1,14 | Многолетнее |

Окончательный результат оценки изменения внутригодового распределения стока в году зависит не только от способов анализа и сравнения месячного стока и его распределения в многолетнем разрезе с динамикой хозяйственной деятельности на водосборе, но и в определенной степени от сравнения естественного и нарушенного распределения стока.

Следует отметить, что при описании внутригодового распределения стока, очевидно, нет, и не может быть универсальных методов, пригодных для применения на любых реках. Как уже было сказано, внутригодовое распределение стока в условиях естественного режима является довольно устойчивой характеристикой речного водосбора, и только сооружение крупных водохранилищ приводит к хорошо заметным сдвигам в режиме внутригодового распределения стока в замыкающем створе.

В условиях регулируемого стока нарушение естественного гидрологического режима наступает при заполнении водохранилища. В дальнейшем, в процессе эксплуатации водохранилища, гидрологический режим в верхнем и нижнем бьефах может подвергнуться изменениям из-за ввода новых водохранилищ, увеличения водопотребления в бассейне реки и изменений в режиме регулирования [153].

При анализе изменения внутригодового распределения стока под воздействием водохранилищ необходимо учитывать, что водохозяйственные системы конкретного речного бассейна постоянно развиваются. Поэтому, помимо усредненных характеристик стока, важно иметь данные о распределении стока для каждого отдельного года [153].

В верхнем течении реки Есиль функционирует Ишимское водохранилище, обладающее сезонной регуляцией стока и имеющее общий объем 9,2 млн. м³, при этом полезный объем составляет 8,2 млн. м³. Несмотря на ограниченные размеры полезной емкости Ишимского водохранилища, его влияние на сток в нижнем течении реки ограничено. Главным регулятором стока в верхнем Есиле выступает Вячеславское (Астанинское) водохранилище, предназначенное для многолетнего регулирования, с общим объемом 411 млн. м³ и полезным объемом 378 млн. м³ [153]. В Нижнем Есиле ключевыми регуляторами являются Сергеевское водохранилище с общим объемом 693 млн. м³ и полезным объемом 635 млн. м³, а также Петропавловское водохранилище, как завершающий элемент каскада реки, с общим объемом 19,2 млн. м³ и полезным объемом 16,1 млн. м³, предназначенное для осуществления сезонного регулирования стока. После введения в эксплуатацию указанных водохранилищ внутригодовое распределение стока реки Есиль в створе г. Астана и замыкающем створе г. Петропавловск заметно изменено, и эти изменения проявляются в различных створах разнообразным образом [153].

Для квантитативной оценки изменений внутригодового распределения стока в бассейне реки Есиль были проведены расчеты по двум характерным периодам [153]:

Первый период (1933-1973 гг.) представляет собой условно-естественный временной интервал до формирования основных

водохранилищ и характеризуется ограниченным воздействием человеческой деятельности на гидрологический режим [153].

Второй период (1974-2019 гг.) отличается значительным нарушением гидрологического режима из-за интенсивного многолетнего регулирования стока Вячеславским (Астанинским) и Сергеевским водохранилищами [153].

Для подкрепления вышеизложенного приведены сведения о внутригодовом распределении стока в бассейне реки Есиль в условиях естественного режима и режима, подвергнувшегося существенным изменениям вследствие создания крупных водохранилищ на водоразделе (таблица 11) [153].

Таблица 11 – Внутригодовое распределение стока р. Есиль (м³/с) за условно-естественный (1933-1973 гг.) и нарушенный (1974-2019 гг.) периоды и его изменение

| Водность года | Характеристики стока | Месяц | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III |
| р. Есиль – г. Астана | | | | | | | | | | | | | |
| Многоводный | Естественный | 82,9 | 8,08 | 2,53 | 1,22 | 0,88 | 0,66 | 1,07 | 1,42 | 0,58 | 0,36 | 0,15 | 0,10 |
| | Нарушенный | 65,2 | 7,17 | 4,11 | 3,43 | 3,25 | 2,81 | 2,38 | 2,60 | 1,85 | 0,96 | 0,78 | 5,46 |
| | Изменение | 17,7 | 0,91 | -1,58 | -2,21 | -2,37 | -2,15 | -1,31 | -1,18 | -1,27 | -0,60 | -0,63 | -5,36 |
| Средний | Естественный | 79,0 | 14,8 | 2,40 | 0,91 | 0,40 | 0,56 | 0,69 | 0,84 | 0,33 | 0,08 | 0,03 | 0,01 |
| | Нарушенный | 51,0 | 12,7 | 7,07 | 5,77 | 4,34 | 3,20 | 2,27 | 3,49 | 2,39 | 1,60 | 1,14 | 4,99 |
| | Изменение | 28,0 | 2,10 | -4,67 | -4,86 | -3,94 | -2,64 | -1,58 | -2,65 | -2,06 | -1,52 | -1,11 | -4,98 |
| Маловодный | Естественный | 51,7 | 43,7 | 2,22 | 0,81 | 0,23 | 0,34 | 0,54 | 0,32 | 0,08 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Нарушенный | 35,6 | 16,9 | 11,3 | 7,44 | 6,09 | 3,92 | 2,54 | 6,61 | 4,33 | 2,41 | 1,58 | 1,29 |
| | Изменение | 16,1 | 26,8 | -9,08 | -6,63 | -5,86 | -3,58 | -2,00 | -6,29 | -4,25 | -2,41 | -1,58 | -1,29 |
| р. Есиль – г. Петропавловск | | | | | | | | | | | | | |
| Многоводный | Естественный | 17,6 | 59,3 | 13,3 | 3,24 | 1,51 | 1,01 | 0,85 | 1,00 | 0,76 | 0,53 | 0,48 | 0,43 |
| | Нарушенный | 21,2 | 48,5 | 13,2 | 3,96 | 2,23 | 1,66 | 1,37 | 1,58 | 1,25 | 1,70 | 1,43 | 1,88 |
| | Изменение | -3,60 | 10,8 | 0,10 | -0,72 | -0,72 | -0,65 | -0,52 | -0,58 | -0,49 | -1,17 | -0,95 | -1,45 |
| Средний | Естественный | 26,0 | 42,5 | 12,9 | 4,50 | 3,55 | 2,65 | 2,50 | 1,90 | 1,51 | 0,74 | 0,64 | 0,55 |
| | Нарушенный | 13,6 | 50,8 | 11,0 | 4,53 | 3,34 | 2,99 | 2,78 | 1,78 | 2,23 | 1,51 | 2,51 | 2,95 |
| | Изменение | 12,4 | -8,30 | 1,90 | -0,03 | 0,21 | -0,34 | -0,28 | 0,12 | -0,72 | -0,77 | -1,87 | -2,40 |
| Маловодный | Естественный | 26,4 | 27,8 | 17,9 | 7,48 | 4,65 | 3,39 | 2,89 | 3,07 | 2,21 | 1,75 | 1,07 | 1,48 |
| | Нарушенный | 20,6 | 34,7 | 12,6 | 5,53 | 4,11 | 3,61 | 3,09 | 3,59 | 2,22 | 3,13 | 2,60 | 4,23 |
| | Изменение | 5,80 | -6,90 | 5,30 | 1,95 | 0,54 | -0,22 | -0,20 | -0,52 | -0,01 | -1,38 | -1,53 | -2,75 |

Регулирование стока в бассейне реки Есиль осуществляется в интересах промышленного, коммунально-бытового и сельскохозяйственного водоснабжения, лиманного и регулярного орошения и рыбного хозяйства. Результаты расчетов внутригодового распределения стока по методу компановки для двух периодов в Есильском водохозяйственном бассейне сведены в (таблица 12).

Путем сопоставления результатов расчетов за два временных отрезка можно утверждать, что воздействие регулирования стока на гидрологический режим верховий реки Есиль оказалось незначительным. В многоводные годы весенний период с апреля по май в участке реки Есиль в городе Астана составляет 91% от годового стока в условно-естественном периоде, летне-осенний период – 6,36%, зимний период – 2,61% [153]. В измененных условиях за нарушенный период 72,4% годового стока приходится на весенний период, 16,0% – на летне-осенний, и 11,6% – на зимний период [153].

Таблица 12 – Внутригодовое распределение стока (в процентах от годового стока) рек Есильского водохозяйственного бассейна в годы различной водности

| № | Код поста | Река – пост | F, км ² | Расчетный период | Водность года | Сезонный сток (%) | | |
|----|-----------|------------------------------|-------------------------|------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|
| | | | | | | Весна (IV-V) | Лето-осень (VI-X) | Зима (XI-III) |
| 1 | 11272 | Силеты – с. Приречное | 1670 | 1961-2019 | Многоводные | 94,6 | 2,56 | 2,82 |
| | | | | | Средние | 97,2 | 2,28 | 0,48 |
| | | | | | Маловодные | 98,2 | 1,78 | 0,00 |
| 2 | 11275 | Силеты – с. Изобильное | 14600 | 1959-2019 | Многоводные | 88,7 | 6,02 | 5,24 |
| | | | | | Средние | 87,0 | 8,27 | 4,75 |
| | | | | | Маловодные | 83,1 | 12,5 | 4,39 |
| 3 | 11291 | Шаглинка – с. Павловка | 1750 | 1939-1973 | Многоводные | 91,4 | 7,15 | 1,46 |
| | | | | | Средние | 91,3 | 7,75 | 0,97 |
| | | | | | Маловодные | 90,5 | 8,93 | 0,60 |
| | | | | 1974-2019 | Многоводные | 87,6 | 11,5 | 0,89 |
| | | | | | Средние | 86,6 | 12,9 | 0,48 |
| | | | | | Маловодные | 86,8 | 12,9 | 0,27 |
| 4 | 11398 | Есиль – г. Астана | 7400 | 1933-1973 | Многоводные | 91,0 | 6,36 | 2,61 |
| | | | | | Средние | 93,8 | 4,96 | 1,29 |
| | | | | | Маловодные | 95,5 | 4,14 | 0,41 |
| | | | | 1974-2019 | Многоводные | 72,4 | 16,0 | 11,6 |
| | | | | | Средние | 63,7 | 22,7 | 13,6 |
| | | | | | Маловодные | 52,5 | 31,3 | 16,2 |
| 5 | 11404 | Есиль – с. Каменный Карьер | 86200 | 1947-1973 | Многоводные | 83,4 | 13,5 | 3,07 |
| | | | | | Средние | 79,0 | 16,7 | 4,20 |
| | | | | | Маловодные | 72,9 | 20,9 | 6,26 |
| | | | | 1974-2019 | Многоводные | 78,1 | 19,1 | 2,86 |
| | | | | | Средние | 80,4 | 16,1 | 3,47 |
| | | | | | Маловодные | 81,6 | 13,8 | 4,67 |
| 6 | 11410 | Есиль – г. Петропавловск | $\frac{106000}{118000}$ | 1932-1973 | Многоводные | 76,9 | 19,9 | 3,20 |
| | | | | | Средние | 68,5 | 26,1 | 5,34 |
| | | | | | Маловодные | 54,1 | 36,3 | 9,57 |
| | | | | 1974-2019 | Многоводные | 69,7 | 22,4 | 7,83 |
| | | | | | Средние | 64,4 | 24,7 | 11,0 |
| | | | | | Маловодные | 55,3 | 28,9 | 15,8 |
| 7 | 11424 | Калкутан – с. Калкутан | 16500 | 1937-1973 | Многоводные | 90,9 | 7,63 | 1,47 |
| | | | | | Средние | 91,6 | 7,05 | 1,30 |
| | | | | | Маловодные | 94,1 | 5,84 | 0,09 |
| | | | | 1974-2019 | Многоводные | 96,7 | 3,23 | 0,07 |
| | | | | | Средние | 97,9 | 2,09 | 0,00 |
| | | | | | Маловодные | 98,4 | 1,62 | 0,00 |
| 8 | 11433 | Жабай – г. Атбасар | 8530 | 1936-1973 | Многоводные | 68,5 | 30,1 | 1,36 |
| | | | | | Средние | 67,6 | 31,6 | 0,77 |
| | | | | | Маловодные | 66,3 | 33,3 | 0,36 |
| | | | | 1974-2019 | Многоводные | 88,2 | 8,44 | 3,36 |
| | | | | | Средние | 87,3 | 8,68 | 4,04 |
| | | | | | Маловодные | 87,3 | 8,49 | 4,18 |
| 9 | 11455 | Акканбурлук – с. Григорьевка | $\frac{5820}{6520}$ | 1938-1973 | Многоводные | 90,6 | 6,28 | 3,08 |
| | | | | | Средние | 93,0 | 5,58 | 1,43 |
| | | | | | Маловодные | 95,0 | 4,96 | 0,13 |
| | | | | 1974-2019 | Многоводные | 91,7 | 6,37 | 1,93 |
| | | | | | Средние | 93,7 | 5,01 | 1,31 |
| | | | | | Маловодные | 95,8 | 3,73 | 0,46 |
| 10 | 11461 | Иманбурлук – с. Соколовка | $\frac{3870}{4070}$ | 1950-1973 | Многоводные | 93,7 | 4,46 | 1,81 |
| | | | | | Средние | 92,0 | 6,77 | 1,23 |
| | | | | | Маловодные | 86,8 | 12,3 | 0,86 |
| | | | | 1974-2019 | Многоводные | 89,2 | 8,59 | 2,24 |
| | | | | | Средние | 88,2 | 9,05 | 2,75 |
| | | | | | Маловодные | 85,1 | 9,86 | 5,05 |

В летне-осенний и зимний периоды, когда осуществляется сработка водохранилищ, зарегулированные расходы воды в многоводные и средние по водности годы существенно выше естественных расходов воды.

В створе г. Петропавловска естественные расходы воды за апрель месяц уменьшаются под влиянием Сергеевского водохранилища в многоводные годы до 10 %, а в средние и маловодные годы по водности практически не изменяются. В летне-осенний и зимний периоды суммы зарегулированных расходов воды превышают естественные расходы воды значительно (таблица 12). Оценка изменения внутригодового распределения стока в створе г. Петропавловск отражает влияние четырех крупных водохранилищ многолетнего и сезонного регулирования.

Расчеты внутригодового распределения стока для конкретных лет различной водности (25, 50, 75 и 95 %) в условиях условно-естественного и зарегулированного режима (по формуле Чагодаева) позволили оценить изменения внутригодового распределения стока путем графического сопоставления естественных и нарушенных гидрографов стока р. Есиль по отдельным створам (рисунок 9).

В верхнем течении реки Есиль прослеживается наиболее выраженное уменьшение весеннего стока. В нижнем течении, в зоне города Петропавловск, весенний сток за период с измененным режимом существенно превышает весенний сток за естественный период. Заметно увеличение сезонного стока, особенно зимнего стока, наблюдается в периоды с низким уровнем воды с обеспеченностью в 95%. Среди прочих факторов хозяйственной деятельности следует выделить лиманное и регулярное орошение, охватывающее более 57,95 тысяч гектаров в бассейне реки Есиль [153].

Влияние на сток и гидрологический режим крупных и средних рек агролесомелиоративных мероприятий (распашка земель, лесопосадка, снегозадержание), промышленно-коммунального водоснабжения, лиманного и регулярного орошения и некоторых других видов хозяйственной деятельности не выходит за пределы точности учета стока.

Окончательный результат оценки изменения внутригодового распределения стока в году зависит не только от способов анализа и сравнения месячного стока и его распределения в многолетнем разрезе с динамикой хозяйственной деятельности на водосборе, но и в определенной степени от сравнения естественного и нарушенного распределения стока.

Следует отметить, что при описании внутригодового распределения стока, очевидно, нет, и не может быть универсальных методов, пригодных для применения на любых реках. При изучении внутригодового распределения стока рек кроме хронологического (календарного) описания распределения стока используется анализ его некалендарного распределения в форме кривых продолжительности суточных расходов воды. Они дают возможность оценить продолжительность расходов воды, равных заданной величине или превышающих ее. Более распространено использование коэффициента естественной зарегулированности ϕ для характеристики

неравномерности внутригодичного распределения стока воды, который соответствует доле «базисного» стока в годовом объеме стока.

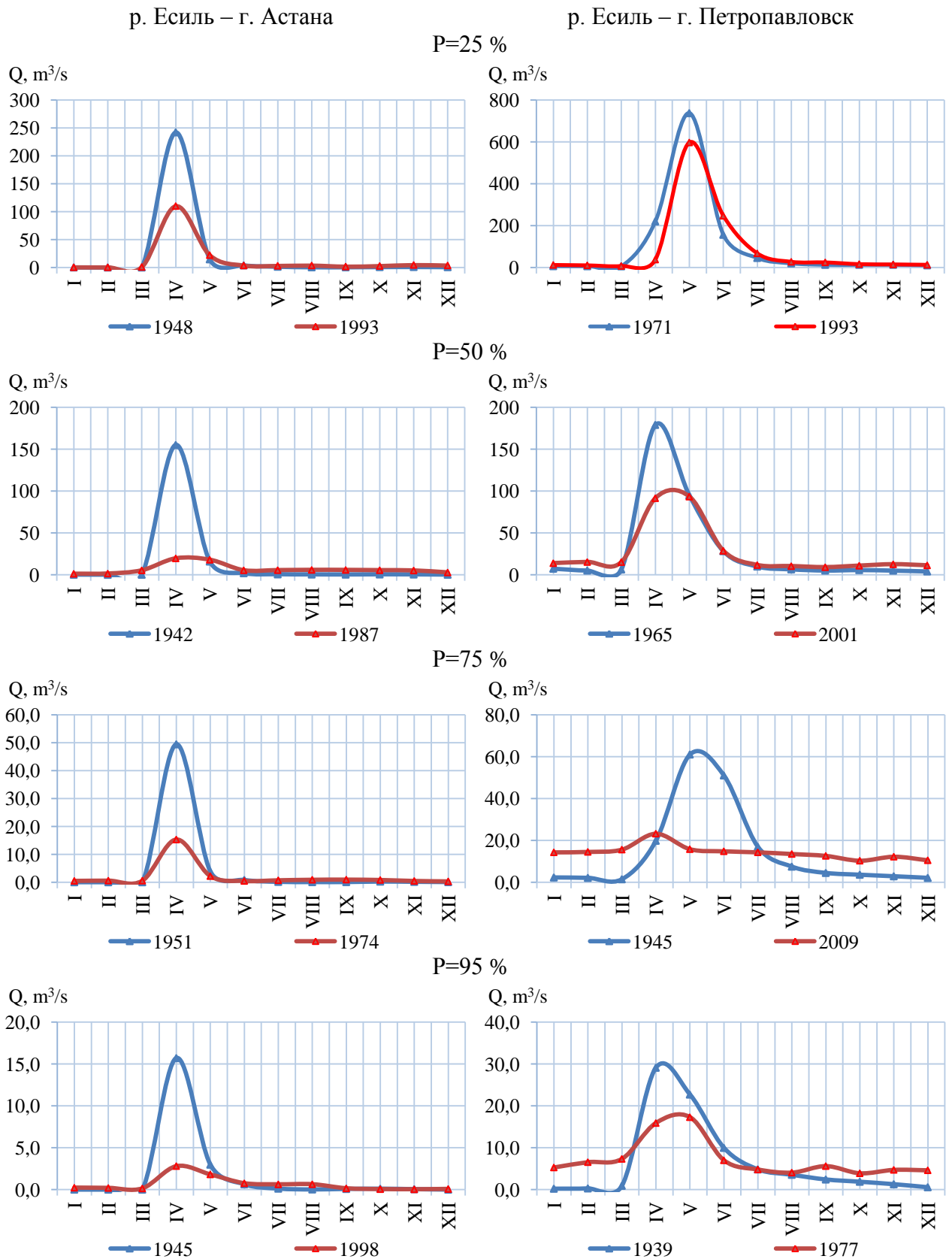


Рисунок 9 – Гидрографы стока в условно-естественных и зарегулированных водохранилищами условиях для лет различной водности

Коэффициент естественной зарегулированности стока ϕ выражает степень неравномерности внутригодового распределения стока и определяется по гидрографу, исходя из соотношения базисного объема стока к годовому объему.

Базисная часть стока отражает естественную зарегулированность водосбора и его аккумулирующую способность, поэтому значение коэффициента зарегулированности уменьшается при уменьшении озерности. Этот коэффициент применяется в основном для сравнительной характеристики разных рек или районов в отношении величины наиболее устойчивых («базисных») водных ресурсов. Для конкретной реки величина коэффициента зарегулированности меняется год от года в зависимости от особенностей в первую очередь многоводной фазы водного режима [69].

В диссертационном исследовании для гидрологических постов Есильского водохозяйственного бассейна были рассчитаны коэффициенты естественной зарегулированности стока за два периода 1933-1973 гг. и 1974-2019 гг. Проведенные расчеты и анализ показывают увеличение значений коэффициента естественной зарегулированности во втором периоде (1974-2019 гг.), который характеризуется существенным нарушением гидрологического режима в результате глубокого многолетнего регулирования стока водохранилищами по сравнению с первым периодом с условно-естественным стоком (1933-1973 гг.), который характеризуется незначительным влиянием хозяйственной деятельности.

Рассчитанные значения коэффициента естественной зарегулированности только двух гидрологических постов (Силеты – с. Изобильное, Есиль – г. Петропавловск) имеют меньшее значение за второй период (1974-2019 гг.) по сравнению с первым периодом (1933-1973 гг.). Таким образом, для рек Есильского водохозяйственного бассейна выявлено устойчивое увеличение неравномерности стока за период после 1974 г. В результате для бассейна р. Есиль были построены следующие карты, выполненные посредством программного обеспечения ArcGIS 10.6 (метод пространственного анализа): среднее значение коэффициента естественной зарегулированности за 1933-1973 гг. (рисунок 10); среднее значение коэффициента естественной зарегулированности за 1974-2019 гг. (рисунок 11).

Влияние водности года на степень естественной зарегулированности рек имеет важное значение для хозяйствующих субъектов и населения. Водопользователи и водопотребители заинтересованы в основном в постоянном, стабильном стоке без перебоев и резких подъемов. Это означает, что для них наиболее благоприятен сток рек с высокой степенью естественной зарегулированности. Например, для орошаемого земледелия – важен зарегулированный сток в теплый (вегетационный) период года. Немаловажный факт, низкая степень естественной зарегулированности стока рек представляет для всех огромную опасность в виде паводков и наводнений, приносящих разрушения и даже человеческие жертвы на прилегающих затопляемых территориях.

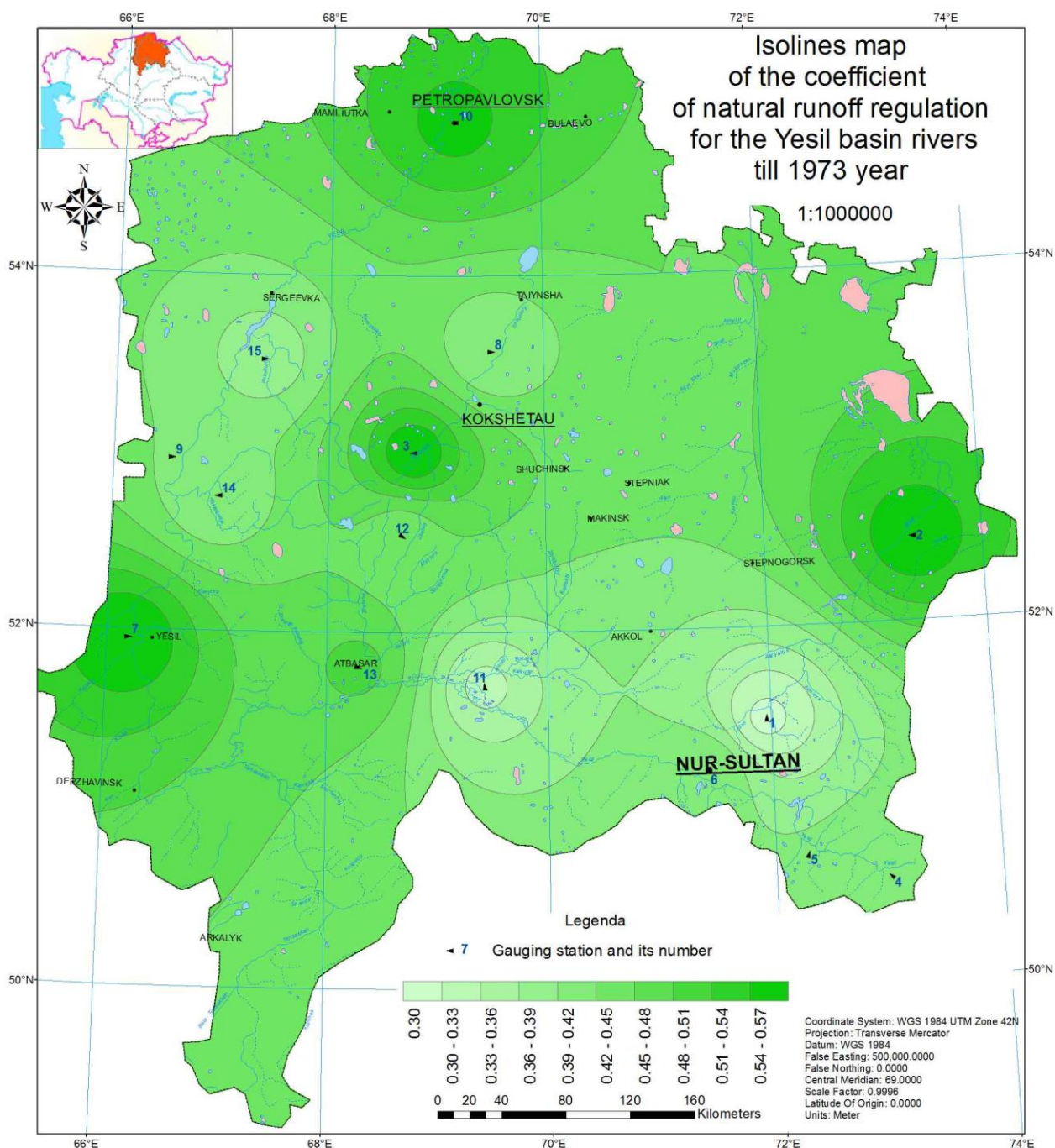


Рисунок 10 – Среднее значение коэффициента естественной зарегулированности за 1933-1973 гг. в Есильском водохозяйственном бассейне (автор: Канатұлы Ә.)

Таким образом анализ пространственно-временных закономерностей формирования стока рек Есильского водохозяйственного бассейна показал, что имеется существенное изменение внутригодового распределения стока рек в последние десятилетия (современный период).

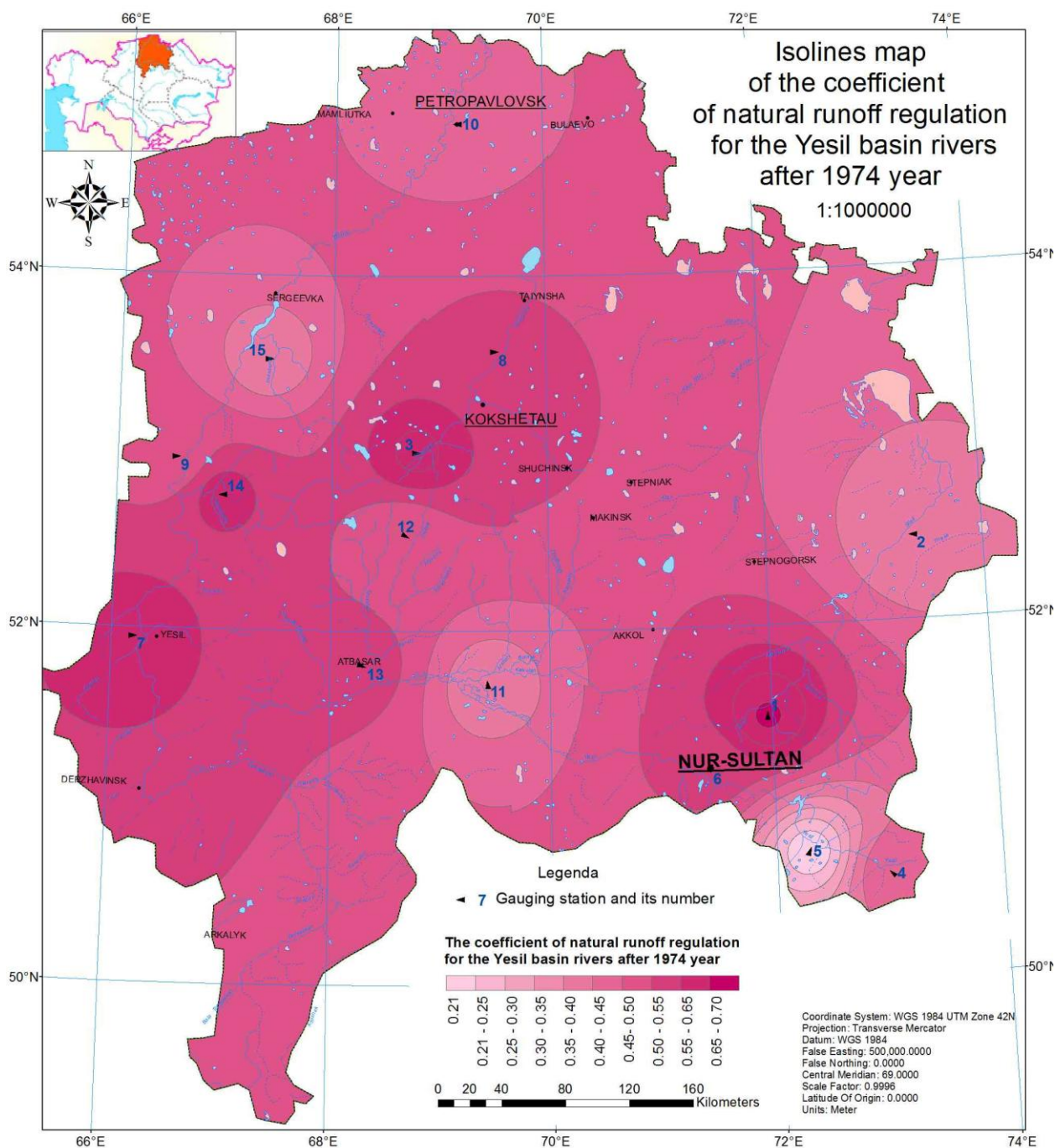


Рисунок 11 – Среднее значение коэффициента естественной зарегулированности за 1974-2019 гг. в Есильском водохозяйственном бассейне (автор: Канатұлы Ә.)

Из анализа изменения стока и его внутригодового распределения стока, очевидно, что гидрологический режим р. Есиль претерпел серьезные изменения на большей своей части. При этом в верхнем течении до г. Астана режим стока, выровненный и преобразованный.

В верхнем течении р. Есиль наиболее заметно снижение весеннего стока. В нижнем течении реки в створе г. Петропавловск весенний сток за период с нарушенным режимом намного выше весеннего стока за

естественный период, повышение сезонного стока, особенно зимнего стока, отмечается в маловодные годы 95 % обеспеченности.

Коэффициент естественной зарегулированности стока ϕ в бассейне рек зависит от зональных факторов с одной стороны, а с другой от размера площади водосбора, определяющего степень естественной зарегулированности стока. Увеличение коэффициента ϕ естественной зарегулированности стока, который выражает комплексное влияние физико-географических факторов на внутригодовое распределение стока сопровождается существенным уменьшением стока за половодье и со значимым увеличением меженного стока за зимний и летний периоды. В результате увеличения коэффициента естественной зарегулированности стока зимний сток p . Есиль в среднем течении увеличился в два-три раза.

4.2 Оценка влияния водохранилищ на речной сток

В течение многих сотен лет влияние деятельности человека на сток рек было очень незначительным и имело локальный характер. Замечательные свойства природных вод – их возобновление в процессе круговорота и способность к очищению – позволяли в течение долгого времени сохранять относительную чистоту, количество и качество пресных вод. Положение коренным образом изменилось в последние десятилетия: во многих районах и странах мира стали обнаруживаться плоды многолетней, неразумной деятельности в использовании водных ресурсов и преобразования поверхности речных водосборов, где они формируются. Прежде всего, это коснулось малых и средних рек, во многих густонаселенных регионах их водный режим претерпел кардинальные изменения [31].

Антропогенная деятельность неизбежно оказывает воздействие на водные ресурсы. В связи с ростом населения и экономики роль водных ресурсов постоянно возрастает. В отличие от других природных ресурсов вода возобновляется в процессе ее круговорота в природе. Но водные ресурсы, основу которых составляет речной сток, распределены крайне неравномерно по территории и во времени. Во многих районах мира имеющиеся водные ресурсы не могут удовлетворить потребность в воде, тем более что она часто загрязнена отходами хозяйственной деятельности. Это в полной мере относится и к водохозяйственным бассейнам Казахстана.

Начиная с 70-х гг. XX века актуальность надежной оценки водных ресурсов и их прогнозируемых изменений под влиянием хозяйственной деятельности еще более возросла в связи с реально возникшей проблемой изменений глобальных и региональных климатических характеристик. Эти изменения уже имеют место и в Есильском водохозяйственном бассейне и могут привести к масштабным преобразованиям гидрологического цикла, изменениям водных ресурсов и их использования, распределения во времени и в пространстве, экстремальных характеристик речного стока и их изменчивости.

В последние годы интерес к оценке и прогнозу количественных изменений водных ресурсов и учёту этих изменений в перспективном

планировании еще более возрос в связи с реально возникшей проблемой возможных в ближайшей перспективе весьма значительных изменений глобальных климатических характеристик (температуры воздуха, осадков), с ростом концентрации углекислого газа. Антропогенные изменения климатических характеристик могут быть столь значительными, что приведут к существенным нарушениям гидрологического цикла, количества водных ресурсов, их распределения во времени и по территории, экстремальных характеристик речного стока и их изменчивости, которые нельзя не учитывать при разработке долгосрочных планов комплексного использования при проектировании долговременных водохозяйственных мероприятий.

Водохранилища являются основополагающими природно-техногенными элементами гидротехнических и водохозяйственных систем любого уровня. Они дают возможность регулировать водные ресурсы рек и озер в необходимом для устойчивого развития экономики и населения объеме. В связи с этим создание водохранилищ получило широкое распространение, как в Казахстане, так и во всем мире.

По характеру регулирования стока различают водохранилища многолетнего, сезонного (годового), месячного, недельного и суточного регулирования. Многолетнее регулирование осуществляется для аккумуляции стока многоводных лет и его дальнейшего использования в маловодные годы. Сезонное регулирование – для задержки стока многоводных периодов и его использования в маловодные сезоны годы. Месячное, недельное и суточное регулирование стока характерно практически для всех водохранилищ гидроэлектростанций. На территории Есильского водохозяйственного бассейна преобладают водохранилища с многолетним регулированием, что составляет 60 % от общего количества водохранилищ рассматриваемого региона.

Развитие гидротехнического строительства в Казахстане, которое сопровождалось сооружением крупнейших водохранилищ и каскадов ГЭС, привело к коренным изменениям естественного гидрологического режима большинства речных систем, сложившихся под влиянием природных условий. Проблемы управления поверхностным стоком рек решаются при помощи создания и эксплуатации водохранилищ многолетнего, сезонного, недельного и суточного регулирования, обеспечивающих перераспределение водных ресурсов во времени. На крупных реках республики в основном созданы и эксплуатируются водохранилища многолетнего и сезонного регулирования стока.

Проблема изменений годового стока рек под влиянием водохранилищ изучена достаточно хорошо [11, 70-76]. Однако решающее влияние в регулировании речного стока водохранилищами проявляется, прежде всего, во внутригодовом распределении стока в замыкающем створе. Здесь роль водохранилищ заключается в устранении естественной неравномерности стока: увеличение объема стока в меженные периоды за счет уменьшения паводочного стока [55, 67, 77-79].

Следовательно, главная задача водохранилищ – регулирование речного стока с целью устранения дефицита водных ресурсов в маловодные сезоны или годы. Вместе с тем сооружение крупных водохранилищ не только осуществляет регулирование стока, но и может значительно увеличивать объем безвозвратных потерь в результате испарения с их водной поверхности. Увеличивая испарение в результате затопления больших территорий в зонах недостаточного увлажнения, водохранилища уменьшают суммарные водные ресурсы, выступая в качестве одного из потребителей пресной воды. В связи с этим представляется необходимым учитывать эту роль водохранилищ при оценках суммарного и безвозвратного водопотребления, особенно в районах с сухим климатом. Объем дополнительных потерь за счет сооружения водохранилищ оценивается по разности величин испарения с водного зеркала водохранилища и той же территории до затопления, включающей поверхность суши и реки в естественных условиях.

Как правило, водохранилища, сооруженные в зонах переменного и недостаточного увлажнения, а тем более в аридных районах, уменьшают суммарные водные ресурсы водосбора за счет большего испарения с водной поверхности по сравнению с затопленной сушей. Для водохранилищ руслового типа величина этого уменьшения обычно незначительна ввиду того, что дополнительная площадь водной поверхности невелика, а испарение с пойменных участков суши близко к испарению с водного зеркала.

Методы оценки дополнительных потерь воды на испарение. Сооружение водохранилищ влечет за собой некоторое уменьшение возобновляемых водных ресурсов за счет дополнительного испарения в бассейне. В отдельных регионах это уменьшение может составлять значительную долю общего безвозвратного потребления воды на хозяйственные нужды, поэтому данный аспект довольно важен в общем комплексе проблем влияния деятельности человека на водные ресурсы.

В результате сооружения водохранилищ происходит изменение объема стока в замыкающем створе реки (ΔR) за счет изменения суммарного испарения в бассейне (U), а также в результате заполнения чаши водохранилища и увеличения запасов подземных вод (W):

$$\Delta R = U + W \quad (1)$$

Первая составляющая уравнения (1) U является постоянно действующим фактором за все время существования водохранилищ. Величина W представляет собой временные потери для замыкающего створа реки, действующие в период с начала заполнения водохранилища до наступления установившегося режима подземных вод, при этом продолжительность периода для крупных равнинных водохранилищ весьма велика и составляет 7-15 лет [31]. Величины U и W имеют, как правило, наибольшие значения при сооружении водохранилищ в зонах

недостаточного увлажнения: первая – за счет большей разницы испарения с водной поверхности по сравнению с сушей, а вторая – за счет более глубокого стояния в естественных условиях уровней грунтовых вод в районе сооружения водохранилищ.

Объем потерь воды за счет изменения испарения в бассейне U складывается из трех составляющих:

$$U = U_3 + U_{\Pi} = U_{НБ} \quad (2)$$

где U_3 – объем потерь с территории, затопленной водохранилищем; U_{Π} – то же с территории подтопления; $U_{НБ}$ – объем потерь за счет изменения процессов затопления в нижних бьефах водохранилищ.

Главную роль в уравнении (2) имеет первая составляющая U_3 , величина которой определяется площадью территории, затопленной водохранилищем A_3 и дополнительным слоем испарения E_3 с этой территории:

$$U_3 = E_3 \times A_3 \times 10^{-6} \quad (3)$$

где U_3 – км³, E_3 – мм, A_3 – км².

Величина E_3 может быть рассчитана за месяц, сезон или год по уравнению:

$$E_3 = E_{В\Pi} - P + R_3 \quad (4)$$

значение может быть получено по разности уравнений водного баланса участка водосбора до и после сооружения водохранилища.

В уравнении (4): $E_{В\Pi}$ – испарение с водной поверхности водохранилища; P – осадки на водную поверхность; R_3 – сток, который формируется с участка долины, занятой водохранилищем.

Площадь затопленной территории A_3 в формуле (3) будет равна:

$$A_3 = A_{В\Pi} - A_P \quad (5)$$

где $A_{В\Pi}$ – площадь водной поверхности водохранилища; A_P – площадь русла в естественных условиях на территории, занятой водохранилищем.

Потери на испарение с зоны подтопления прилегающих к водохранилищу земель U_{Π} определяются по выражению:

$$U_{\Pi} = (E_{\Pi} - E_C) \times A_{\Pi} \times 10^{-6} \quad (6)$$

где U_{Π} в км³; E_{Π} – испарение с зоны подтопления, в мм; E_C – испарение с суши до подтопления, в мм; A_{Π} – площадь подтопленной территории, в км², то есть это участок суши, прилегающий к контуру водохранилища с глубиной залегания уровня грунтовых вод обычно не более 2,0-2,5 м.

Во многих речных бассейнах влияние больших водохранилищ на испарение проявляется не только в пределах зон затопления, но и ниже расположения водохранилищ в связи с изменением режима и площадей затопления поймы реки и дельты. Обычно происходит уменьшение испарения ниже водохранилища $U_{НБ}$ вследствие сокращения площадей затопления поймы и дельты в результате уменьшения максимальных расходов воды при регулировании стока. Как показали исследования [31, 80], при неизменных метеорологических условиях в пределах рассматриваемых участков ниже водохранилища величина $U_{НБ}$ пропорциональна изменению параметра затопления, отражающего изменение максимальной площади и продолжительности затопления в результате снижения максимальных расходов и объемов половодья, обусловленных созданием водохранилищ.

При сооружении водохранилищ сток реки в замыкающем створе изменяется не только за счет дополнительного испарения, но и в результате аккумуляции в чаше водохранилища W_{AK} и пополнения запасов подземных вод $W_{ПВ}$:

$$W = W_{AK} + W_{ПВ} = W_{AK} + W_{ЛВ} + W_{БВ} \quad (7)$$

где $W_{ЛВ}$ – затраты воды на насыщение зоны аэрации ложа водохранилища; $W_{БВ}$ – объемы воды, поступающие в берега водохранилищ, при этом суммарные водные ресурсы в бассейне за счет W не уменьшаются, происходит лишь их перераспределение и переход одного вида водных ресурсов в другой.

Определение W_{AK} не составляет труда при наличии водных балансов водохранилищ. Величина $W_{ЛВ}$ определяется для каждого водохранилища в зависимости от мощности зоны аэрации ложа водохранилища до его сооружения и недостатка насыщения грунта, который зависит от характеристик грунтов зоны аэрации. Насыщение зоны аэрации происходит, как правило, в первые 10-20 суток после заполнения ложа водохранилища.

Гораздо сложнее определение объемов воды, формирующих искусственные запасы подземных вод в районах, прилегающих к водохранилищам ($W_{БВ}$). Пополнение запасов подземных вод для различных водохранилищ может происходить в течение многих лет после их заполнения и представляет собой весьма существенные значения, которые следует учитывать при комплексной оценке влияния водохранилища на сток рек.

Упрощенная схема оценки дополнительного испарения. Очевидно, что детальная методика комплексной оценки влияния водохранилищ на возобновляемые водные ресурсы ввиду отсутствия значительной части необходимых исходных данных не может быть применена для всех водосборов и тем более регионов. Поэтому в Государственном Гидрологическом Институте (Российская Федерация) на основании анализа полученных результатов расчета для большого количества водохранилищ разного вида, расположенных в различных физико-географических условиях, была разработана упрощенная схема расчета. Она базируется на

использовании имеющихся для каждого крупного водохранилища проектных данных, обобщенной информации по водному хозяйству, гидрометеорологическим и гидрогеологическим характеристикам, картографическим материалам.

Расчеты по упрощенной схеме выполняются не за каждый конкретный год, а в среднем не менее чем за 5-10 летние периоды, что дает возможность значительно сократить объем необходимой исходной информации и упростить вычисления.

Объем потерь с территории затопления U_3 определяется по формуле (3), однако для расчета слоя дополнительного испарения E_3 вместо формулы (4) применяется уравнение:

$$E_3 = E_{ВП} - E_C \quad (8)$$

данное уравнение нетрудно получить из уравнения (6) при осреднении элементов за многолетние периоды. В формуле (8) $E_{ВП}$ и E_C – нормы испарения соответственно с водной поверхности и суши для района расположения водохранилищ; они определяются по имеющимся формулам или картам изолиний.

Средняя площадь затопления A_3 рассчитывается приближённо в зависимости от типа водохранилища и проектной площади водной поверхности $A_{НПУ}$ с введением необходимых коэффициентов:

$$A_3 = K_P \times K_3 \times A_{НПУ} \quad K_P = A_{ВП} / A_{НПУ} \quad K_3 = A_3 / A_{ВП} \quad (9)$$

Значения коэффициентов K_P определяется отношением фактической средней за период площади водной поверхности $A_{ВП}$ к площади при НПУ при полном заполнении водохранилища и зависит, очевидно, от характера регулирования стока (суточное, недельное, месячное, сезонное, многолетнее) и вида кривой зависимости площади водохранилища от уровня. Для большей части горных и полугорных водохранилищ сезонного регулирования и равнинных суточного и недельного регулирования $K_P \approx 1$. Для равнинных водохранилищ сезонного регулирования $K_P = 0,80-0,90$ [31].

Значение коэффициента K_3 определяется отношением площадей затопления и водного зеркала водохранилища и зависит в основном от вида водохранилища (речное, долинное, озерное) и от амплитуды колебания уровней воды в реке в естественных условиях. Для озерных водохранилищ на равнинных реках – $K_3 = 0,90-1,0$; для озерно-долинных – $K_3 = 0,80-0,90$; для долинно-руслowych – $K_3 = 0,70-0,80$; для русловых – $K_3 = 0,65-0,70$.

Потери на дополнительное испарение с площадей подтопления водохранилищ U_{II} обычно составляют незначительную часть от величины U_3 , в пределах от 4 до 10 % для равнинных водохранилищ, в зависимости от глубины залегания подземных вод и климатических характеристик. Для горных и полугорных водохранилищ этой величиной практически можно пренебречь.

Величины $U_{НБ}$ могут играть важную роль при оценке комплексного влияния водохранилищ на сток и водный баланс таких рек, в нижних течениях которых в естественных условиях имели место значительные потери стока на непродуктивное испарение. Это, как правило, реки, имеющие паводочный режим в теплое время года. Для приближенной оценки в пределах крупных регионов величинами $U_{П}$ и $U_{НБ}$ можно пренебречь, тем более что по величине они в значительной степени компенсируют друг друга.

Уменьшение стока реки в замыкающем створе за счет аккумуляции воды в чаше водохранилища W_{AK} определяется приближенно по величине проектного полного объема водохранилища при НПУ и периоду его наполнения. В периоды после наполнения водохранилищ величина W_{AK} в среднем за многолетний период принимается равной нулю.

Единовременные потери на фильтрацию в ложе и берега водохранилищ на пополнение запасов подземных вод $W_{ПВ}$ обычно оцениваются приближенно в зависимости от площадей затопления и уровня залегания подземных вод в районе водохранилища. Эти потери имеют место в период от начала заполнения водохранилищ до установившегося режима подземных вод на прилегающих территориях. В последующие годы эти величины принимаются равными нулю [31].

Воздействие водохранилищ на гидрологический режим рек в бассейне реки Есиль. Водоохранилища и пруды строятся с целью регулирования стока как в сезонном, так и в многолетнем аспекте для обеспечения водой потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства. В Казахстане вода, содержащаяся в водохранилищах и прудах, в основном используется для водоснабжения, орошения, разведения рыбы и частично для полива сельскохозяйственных угодий, садов и огородов, а также для поения скота [154].

Гидрологический режим мелких рек в равнинном Казахстане отличается чрезвычайно неравномерным многолетним и внутригодовым распределением стока. Основная часть стока сосредоточена в период весеннего половодья и составляет 90-100% годового объема [153, 154]. В связи с этим в регионе широко распространено прудовое хозяйство. С целью сохранения воды для хозяйственного использования на реках устраивают плотины, запруды, которые накапливают часть весеннего стока. Аккумуляированные весенние воды используются ежегодно для хозяйственных нужд в остальные времена года [153].

Воздействие прудов и водохранилищ на сток рек проявляется в различных аспектах. Годовой и весенний сток обнаруживают тенденцию к уменьшению, что обусловлено заполнением емкостей, дополнительным испарением и хозяйственным использованием воды, накопленной в водоемах. Примечательно, что пруды и водохранилища, возведенные на реках с пересыхающим или очень низким стоком, в летний период способны повысить уровень стока [152].

Для оценки изменения годового (сезонного) стока под влиянием прудов и водохранилищ можно использовать два метода:

- 1) с учетом объема заполнения водоемов [152];
- 2) путем анализа дополнительного испарения с поверхности водных объектов по сравнению с испарением с суши до их создания. Эти методы предоставляют возможность оценить воздействие водохранилищ на гидрологический режим рек [152].

Следовательно, естественно, что использование вышеупомянутых методов расчета воздействия прудов на сток рек дает разнонаправленные результаты, которые, в определенных случаях, затруднительно сопоставить между собой. При анализе воздействия прудов на сток, основанном на объемах их заполнения, или учете прямых водозаборов для хозяйственных нужд, обнаруживается влияние не только прудов, рассматриваемых как искусственные элементы ландшафта, но и других факторов хозяйственной деятельности [153].

Снижение стока происходит в основном за счет маловодных лет, в то время как в многоводные годы эти нарушения не существенны. С ростом площадей затопления определенным образом меняются не только средние многолетние значения стока, а также и коэффициенты вариации и асимметрии. В процессе концептуального разработания водохозяйственных сооружений в областях с ограниченным уровнем влажности, использование статистических параметров временных рядов естественного стока, даже при сохранении однородности средних значений, не является закономерным. Недооценка данного аспекта может привести к завышению объемов стока, особенно в регионах с высокой степенью обеспеченности влагой [153].

При анализе воздействия хозяйственных мероприятий на компоненты гидрологического режима рек, включая формирование водохранилищ для долгосрочного регулирования, крайне важно учитывать изменения в климатическом контексте [153].

Методические приемы, основанные на использовании, главным образом, материалов сетевых наблюдений, дают только интегральную оценку влияния комплекса антропогенных факторов в бассейне, но не позволяют выявить роль каждого фактора в отдельности и тем самым не всегда обеспечивают возможность научно обоснованных прогнозов режима рек на перспективу с учетом планов развития экономики. Следовательно, для водосборов с высокой степенью использования водных ресурсов необходимо проводить оценку изменений стока с использованием двух независимых методов: через дифференцированный расчет водного баланса с учетом необратимых потерь воды в бассейне и анализ многолетних колебаний расходов воды в гидрометрических створах (с учетом изменений метеорологических факторов) [153]. При расчетах на перспективу важно оценить изменения стока под влиянием хозяйственной деятельности не только для средних по водности, но и для исключительно маловодных и многоводных лет.

Для анализа воздействия текущих водохранилищ на годовой сток рек Центрального Казахстана была применена упрощенная методика, разработанная Государственным гидрологическим институтом (ГГИ). Этот

подход позволяет количественно оценить изменения в стоке на уровне замыкающего створа, учитывая множество факторов, включая регулирование русла (дополнительные потери воды из-за испарения в зонах затопления и подтопления, аккумуляция воды в чаше водохранилища, компенсация убытков стока за счет сокращения заливаемых пойм в нижних бассейнах) [153].

Эффект прудов и водохранилищ на сток рек проявляется в разнообразных формах. Годовой расход воды, подвергнутый влиянию водохранилищ и прудов, демонстрирует тенденцию к снижению, что обусловлено их заполнением, дополнительным испарением и хозяйственным использованием [153].

Изменения в стоке, вызванные воздействием водохранилищ, были выявлены двумя методами: анализом дополнительного испарения с водной поверхности водоемов по сравнению с испарением с суши до их создания и оценкой объема заполнения прудов и водохранилищ [153].

Выбранные методы анализа неодинаковы: в первом случае безвозвратные потери ограничиваются лишь учетом дополнительного испарения с водной поверхности, во втором – включают в себя, помимо потерь на испарение, расходы на различные хозяйственные нужды [153].

Комитет водных ресурсов Республики Казахстан предоставила данные о суммарном объеме заполнения прудов и водохранилищ в изучаемом бассейне. Этот объем представляет собой долю годового стока и взят из материалов вышеупомянутого Комитета. Слой потерь на дополнительное испарение в среднем году для Центрального Казахстана составляет 800 мм и указан в источнике «Ресурсы...». Осадки и испарение при различных уровнях обеспеченности приведены в представленной таблице. Для перехода от средних многолетних значений испарения с водной поверхности к уровням обеспеченности использованы модульные коэффициенты [153].

Таблица 13 – Количественные показатели осадков и испарения при расчетной обеспеченности [153]

| Водность года расчетной обеспеченности, P % | Сумма осадков за теплый период (IV-X), P мм | Испарение с водной поверхности за теплый период (IV-X), E _в мм | Испарение с суши, E _с мм | $E'_s = E_s - E_c$, мм |
|---|---|---|-------------------------------------|-------------------------|
| 10 | 334 | 696 | 300 | 396 |
| 25 | 280 | 744 | 300 | 444 |
| 50 | 227 | 800 | 250 | 550 |
| 75 | 180 | 848 | 175 | 673 |
| 80 | 170 | 920 | 158 | 762 |
| 95 | 125 | 936 | 125 | 811 |

В таблице 14 представлены результаты расчетов, выполненных с использованием первого метода, учитывающего дополнительное испарение с водной поверхности. Эти расчеты проведены для трех участков вдоль реки Есиль. При оценке потерь стока реки из-за испарения с поверхности водоемов использовались следующие данные: [153]

- водность года расчетной обеспеченности, P , %;
- суммарная площадь зеркала прудов и водохранилищ, $\sum F_{зер.}$, км²;
- осадки на зеркало прудов и водохранилищ, P , мм;
- потери стока на испарение с водной поверхности, $W_{доп.}$, млн. м³;
- годовой сток, W_e , млн. м³;
- уменьшение естественного стока, R .

Таблица 14 – Расчеты потерь речного стока на испарение с водной поверхности

| Река – пункт | Водность года, P , % | $\sum F_{зер.}$, км ² | E_a' , мм | P , мм | $E_{доп.}$, мм | $W_{доп.}$, млн. м ³ | W_e , млн. м ³ | $R = 1 - \frac{W_{доп.}}{W_e}$ |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------|----------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| р. Есиль – г. Астана | 10 | 63,2 | 396 | 334 | 62 | 3,92 | 329 | 0,99 |
| | 25 | | 444 | 280 | 164 | 10,4 | 212 | 0,95 |
| | 50 | | 550 | 227 | 323 | 20,4 | 116 | 0,82 |
| | 75 | | 673 | 180 | 493 | 31,2 | 57,2 | 0,46 |
| | 80 | | 762 | 170 | 592 | 37,4 | 46,5 | 0,20 |
| | 95 | | 811 | 124 | 687 | 43,4 | 17,3 | 0 |
| р. Есиль – с. Каменный Карьер | 10 | 159,2 | 396 | 334 | 62 | 9,87 | 2688 | 0,996 |
| | 25 | | 444 | 280 | 164 | 26,1 | 1730 | 0,98 |
| | 50 | | 550 | 227 | 323 | 51,4 | 946 | 0,95 |
| | 75 | | 673 | 180 | 493 | 78,5 | 467 | 0,83 |
| | 80 | | 762 | 170 | 592 | 94,2 | 380 | 0,75 |
| | 95 | | 811 | 124 | 687 | 109 | 141 | 0,22 |
| р. Есиль – г. Петропавловск | 10 | 285,6 | 396 | 334 | 62 | 17,7 | 4045 | 0,996 |
| | 25 | | 444 | 280 | 164 | 46,8 | 2588 | 0,98 |
| | 50 | | 550 | 227 | 323 | 92,2 | 1396 | 0,93 |
| | 75 | | 673 | 180 | 493 | 141 | 668 | 0,79 |
| | 80 | | 762 | 170 | 592 | 169 | 536 | 0,68 |
| | 95 | | 811 | 124 | 687 | 196 | 171 | 0 |

Для отслеживания влияния хозяйственной деятельности на изменение стока в годы с различной обеспеченностью водой было рассчитано уменьшение естественного стока. Проведенный анализ расчетов показывает, что в многоводные годы (10 и 25% обеспеченности) уровень стока снижается до 5% из-за дополнительного испарения с водной поверхности искусственных водоемов. В средние по водности годы (50% обеспеченности) годовой сток уменьшается до 18% (река Есиль, уровень створа г. Астана) [153].

В маловодные годы (80 % обеспеченности) – уменьшение годового стока составляет от 25 до 80 % (р. Есиль – г. Астана уменьшение составляет 80 %, р. Есиль – с. Каменный Карьер уменьшение составляет 25 %, р. Есиль – г. Петропавловск уменьшение составляет 32 %).

В условиях исключительно маловодных лет (95% обеспеченности), весь годовой сток подвергается задержке в водохранилищах и подвергается

безвозвратным потерям в результате испарения и использования для хозяйственных нужд [153].

За период с 1982 по 2019 год рассчитано снижение стока на основе данных об объеме общего водопотребления для регулярного орошения, залива площадей лиманного орошения, коммунальных, бытовых и промышленных нужд, а также прудового хозяйства в бассейне реки Есиль [153]. Результаты расчетов сведены в таблицу 15.

При расчетах потерь речного стока на заполнение прудов и водохранилищ использовались следующие данные:

- водность года расчетной обеспеченности, P , %;
- суммарный полный объем водохранилищ, $W_{полн.}$, млн. м³;
- потери стока, W_n , млн. м³;
- годовой сток, W_e , млн. м³;
- уменьшение естественного стока, R_2 .

Таблица 15 – Расчет потерь речного стока на заполнение прудов и водохранилищ

| Год | P , % | $W_{полн.}$ млн. м ³ | W_n , млн. м ³ | W_e , млн. м ³ | $R_2 = 1 - \frac{W_n}{W_e}$ |
|---|---------|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| р. Есиль – г. Астана (Вячеславское водохранилище) | | | | | |
| 1982 | 82,2 | 410,9 | 37,2 | 13,9 | 0 |
| 1983 | 15,6 | 410,9 | 40,4 | 198 | 0,80 |
| 1984 | 48,9 | 410,9 | 44,9 | 150 | 0,70 |
| 1985 | 6,67 | 410,9 | 46,4 | 297 | 0,84 |
| 1986 | 17,8 | 410,9 | 51,6 | 257 | 0,80 |
| 1987 | 20,0 | 410,9 | 56,6 | 216 | 0,74 |
| 1988 | 31,1 | 410,9 | 56,4 | 195 | 0,71 |
| 1989 | 57,8 | 410,9 | 55,3 | 63,3 | 0,13 |
| 1990 | 8,89 | 410,9 | 55,6 | 328 | 0,83 |
| 1991 | 35,6 | 410,9 | 56,6 | 199 | 0,72 |
| 1992 | 86,7 | 410,9 | 44,5 | 41,3 | 0 |
| 1993 | 28,9 | 410,9 | 54,5 | 410 | 0,87 |
| 1994 | 22,2 | 410,9 | 42,5 | 46,3 | 0,08 |
| 1995 | 40,0 | 410,9 | 50,4 | 157 | 0,68 |
| 1996 | 44,4 | 410,9 | 42,4 | 188 | 0,77 |
| 1997 | 37,8 | 410,9 | 20,2 | 138 | 0,85 |
| 1998 | 75,6 | 410,9 | 22,5 | 19,8 | 0 |
| 1999 | 91,1 | 410,9 | 26,6 | 6,30 | 0 |
| 2000 | 95,5 | 410,9 | 37,6 | 6,62 | 0 |
| 2001 | 60,0 | 410,9 | 32,3 | 33,1 | 0,02 |
| 2002 | 13,3 | 410,9 | 52,3 | 177 | 0,70 |
| 2003 | 71,1 | 410,9 | 41,9 | 58,9 | 0,29 |
| 2004 | 55,6 | 410,9 | 34,2 | 71,8 | 0,52 |
| 2005 | 24,4 | 410,9 | 20,4 | 140 | 0,85 |
| 2006 | 88,9 | 410,9 | 20,7 | 14,9 | 0 |
| 2007 | 4,44 | 410,9 | 22,0 | 113 | 0,81 |
| 2008 | 66,7 | 410,9 | 20,2 | 106 | 0,81 |
| 2009 | 84,4 | 410,9 | 20,1 | 37,9 | 0,47 |
| 2010 | 77,8 | 410,9 | 20,8 | 140 | 0,85 |
| 2011 | 73,3 | 410,9 | 20,4 | 45,3 | 0,55 |
| 2012 | 64,4 | 410,9 | 20,3 | 59,9 | 0,66 |
| 2013 | 62,2 | 410,9 | 20,1 | 123 | 0,84 |

| | | | | | |
|---|------|--------|------|------|------|
| 2014 | 11,1 | 410,9 | 20,7 | 210 | 0,90 |
| 2015 | 33,3 | 410,9 | 19,5 | 175 | 0,89 |
| 2016 | 26,6 | 410,9 | 19,2 | 85,9 | 0,78 |
| 2017 | 2,22 | 410,9 | 35,1 | 119 | 0,71 |
| 2018 | 10,8 | 410,9 | 33,4 | 216 | 0,85 |
| 2019 | 59,8 | 410,9 | 31,7 | 313 | 0,90 |
| р. Есиль – г. Петропавловск (Сергеевское водохранилище) | | | | | |
| 1982 | 80,0 | 1103,9 | 188 | 479 | 0,61 |
| 1983 | 17,8 | 1103,9 | 185 | 3528 | 0,95 |
| 1984 | 48,9 | 1103,9 | 171 | 1364 | 0,87 |
| 1985 | 6,67 | 1103,9 | 152 | 4064 | 0,96 |
| 1986 | 20,0 | 1103,9 | 165 | 3497 | 0,95 |
| 1987 | 22,2 | 1103,9 | 171 | 3371 | 0,95 |
| 1988 | 33,3 | 1103,9 | 156 | 2766 | 0,94 |
| 1989 | 57,8 | 1103,9 | 191 | 1096 | 0,83 |
| 1990 | 8,89 | 1103,9 | 145 | 4001 | 0,96 |
| 1991 | 35,6 | 1103,9 | 186 | 2388 | 0,92 |
| 1992 | 84,4 | 1103,9 | 172 | 422 | 0,59 |

Продолжение таблицы 15

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|------|--------|-----|------|------|
| 1993 | 31,1 | 1103,9 | 144 | 2819 | 0,95 |
| 1994 | 15,6 | 1103,9 | 179 | 3560 | 0,95 |
| 1995 | 37,8 | 1103,9 | 195 | 2243 | 0,91 |
| 1996 | 46,7 | 1103,9 | 146 | 1474 | 0,90 |
| 1997 | 40,0 | 1103,9 | 107 | 2123 | 0,95 |
| 1998 | 77,8 | 1103,9 | 144 | 488 | 0,70 |
| 1999 | 91,1 | 1103,9 | 174 | 331 | 0,47 |
| 2000 | 95,6 | 1103,9 | 158 | 284 | 0,44 |
| 2001 | 60,0 | 1103,9 | 157 | 851 | 0,82 |
| 2002 | 13,3 | 1103,9 | 148 | 3623 | 0,96 |
| 2003 | 68,9 | 1103,9 | 134 | 743 | 0,82 |
| 2004 | 55,6 | 1103,9 | 146 | 1103 | 0,87 |
| 2005 | 28,9 | 1103,9 | 143 | 2911 | 0,95 |
| 2006 | 86,7 | 1103,9 | 145 | 400 | 0,64 |
| 2007 | 4,44 | 1103,9 | 154 | 4379 | 0,96 |
| 2008 | 73,3 | 1103,9 | 141 | 605 | 0,77 |
| 2009 | 82,2 | 1103,9 | 141 | 447 | 0,68 |
| 2010 | 88,9 | 1103,9 | 146 | 378 | 0,61 |
| 2011 | 71,1 | 1103,9 | 143 | 646 | 0,78 |
| 2012 | 64,4 | 1103,9 | 142 | 788 | 0,82 |
| 2013 | 62,2 | 1103,9 | 141 | 819 | 0,83 |
| 2014 | 11,1 | 1103,9 | 145 | 3843 | 0,96 |
| 2015 | 26,7 | 1103,9 | 137 | 2930 | 0,95 |
| 2016 | 24,4 | 1103,9 | 134 | 3182 | 0,96 |
| 2017 | 2,22 | 1103,9 | 246 | 6174 | 0,96 |
| 2018 | 51,1 | 1103,9 | 234 | 3150 | 0,93 |
| 2019 | 63,2 | 1103,9 | 162 | 876 | 0,84 |

Анализ таблицы 15 показывает, что в многоводные годы (2018 г.) в пункте р. Есиль – г. Астана сток уменьшается на 15 %, в замыкающем створе р. Есиль – г. Петропавловск сток уменьшается на 4 % (2014 г.). В маловодные годы сток уменьшается соответственно на 50-100 % в верховьях реки, на 30-50 % в низовьях реки. В таблице 16 приведены результаты оценки влияния на сток объемов заполнения водохранилищ. По этим данным хозяйственная деятельность с 1974 г. по 2019 г. обусловила уменьшение стока в створе р. Есиль – г. Астана в средние по водности годы (50 % обеспеченности) на

30 %, а в замыкающем створе р. Есиль – г. Петропавловск уменьшение стока составляет до 7 %.

Анализ полученных данных показывает, что уменьшение стока от условно-естественного периода к нарушенному периоду не может быть целиком отнесено к влиянию за счет влияния водохранилищ.

По-видимому, антропогенное влияние обусловлено агротехническими мероприятиями и климатическими изменениями. Антропогенная и климатическая составляющие (таблица 16) снижения стока определены путем исправления речного стока (умножение стока условно-естественного периода на коэффициенты уменьшения стока R_1 и R_2). В случае отсутствия климатического тренда ожидается близкое соответствие между стоком при различных обеспеченностях и "исправленным" стоком. Однако в периоды многоводья наблюдается заметное расхождение между этими параметрами. Это, вероятно, свидетельствует о незначительном влиянии искажений в стоке, вызванных хозяйственной деятельностью, с учетом того, что главенствующую роль играет климатический тренд [153].

Таблица 16 – Сопоставление водности р. Есиль в периоды с условно-естественным и нарушенным стоком, м³/с

| Река – пункт | Водность года, % | Условно-естественный период, Q_1 , м ³ /с | Нарушенный период, Q_2 , м ³ /с | R_1 | R_2 | $Q_{испр.} = Q_1 \times R_1$ | $Q_{испр.} = Q_1 \times R_2$ |
|-----------------------------|------------------|--|--|-------|-------|------------------------------|------------------------------|
| р. Есиль – г. Астана | 10 | 13,5 | 8,16 | 0,99 | 0,85 | 13,4 | 11,5 |
| | 25 | 5,41 | 5,14 | 0,95 | 0,85 | 5,14 | 4,60 |
| | 50 | 4,43 | 2,68 | 0,82 | 0,70 | 3,63 | 3,10 |
| | 75 | 2,01 | 1,22 | 0,46 | 0,55 | 0,92 | 1,11 |
| | 80 | 1,59 | 0,96 | 0,20 | 0,47 | 0,32 | 0,75 |
| | 95 | 0,44 | 0,27 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| р. Есиль – г. Петропавловск | 10 | 127 | 123 | 0,996 | 0,96 | 126 | 122 |
| | 25 | 80,7 | 77,9 | 0,98 | 0,95 | 79,1 | 76,7 |
| | 50 | 42,5 | 41,1 | 0,93 | 0,93 | 39,5 | 39,5 |
| | 75 | 19,5 | 18,9 | 0,79 | 0,70 | 15,4 | 13,7 |
| | 80 | 15,5 | 15,3 | 0,68 | 0,61 | 10,5 | 9,46 |
| | 95 | 4,37 | 5,51 | 0 | 0,44 | 0 | 1,92 |

Таким образом, в конце XX века свершившийся факт глобального потепления стал признаваться доказанным [27, 81] однако неоконченными остаются дискуссии о причинах современных изменений климата. Многие ученые признают факт антропогенного изменения климата в результате накопления углекислого газа в атмосфере, другие – твердо уверены, что энергетическая мощь процессов, протекающих в естественном природном цикле, на несколько порядков выше техногенных энергетических возможностей. Ритмы космоса, природная ритмичность и её фазы оказывают значительное влияние на многие процессы, происходящие на Земле, в том числе на многолетние колебания стока рек, которые являются интегральным показателем изменения климата. Касательно антропогенных изменений стока последнего современного периода, то они вполне обоснованно беспокоят

человечество. Они реально существуют, но их значения не сопоставимы с естественными циклическими изменениями климата разной природы. Опасность антропогенных изменений заключается в их необратимости.

Кроме того, совокупность накапливающихся антропогенных и циклических естественных изменений климата опасна тем, что существуют периоды лет, когда антропогенные и естественные изменения направлены в одном направлении и могут проявиться с угрожающей стремительностью, поэтому сведение к минимуму антропогенной составляющей является для человечества страховочным вариантом. В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные выводы:

1. Для прослеживания изменения стока под влиянием хозяйственной деятельности в годы различной водности рассчитано уменьшение естественного стока. Анализ расчетов показывает, что в многоводные годы (10 и 25 % обеспеченности) сток уменьшается за счет дополнительного испарения с водной поверхности искусственных водоемов до 5 %. В средние по водности годы (50 % обеспеченности) годовой сток уменьшается до 18 % (р. Есиль – г. Астана). В маловодные годы (80 % обеспеченности) – уменьшение годового стока составляет от 25 до 80 % (р. Есиль – г. Астана уменьшение составляет 80 %, р. Есиль – с. Каменный Карьер уменьшение составляет 25 %, р. Есиль – г. Петропавловск уменьшение составляет 32 %).

В исключительно маловодные годы (95 % обеспеченности) весь годовой сток задерживается в водохранилищах и безвозвратно теряется за счет испарения и использования на хозяйственные нужды.

2. За период с 1982 по 2019 гг. рассчитано снижение стока по данным об объеме суммарного водопотребления на регулярное орошение, залив площадей лиманного орошения, коммунально-бытовые и производственные нужды, а также прудовое хозяйство Есильского водохозяйственного бассейна. Анализ данных показывает, что в многоводные годы (2018 г.) в пункте р. Есиль – г. Астана сток уменьшается на 15 %, в замыкающем створе р. Есиль – г. Петропавловск сток уменьшается на 4 % (2014 г.). В маловодные годы сток уменьшается соответственно на 50-100 % в верховьях реки, на 30-50 % в низовьях реки.

Анализ результатов оценки влияния на сток объемов заполнения водохранилищ. По этим данным хозяйственная деятельность с 1974 г. по 2019 г. обусловила уменьшение стока в створе р. Есиль – г. Астана в средние по водности годы (50 % обеспеченности) на 30 %, а в замыкающем створе р. Есиль – г. Петропавловск уменьшение стока составляет до 7 %. Уменьшение стока от условно-естественного периода к нарушенному периоду не может быть целиком отнесено к влиянию за счет влияния водохранилищ. По-видимому, антропогенное влияние обусловлено агротехническими мероприятиями и климатическими изменениями. В случае, когда отсутствует климатический тренд, ожидается примерное совпадение стока различной обеспеченности и «исправленного» стока. В многоводные годы прослеживается различие в этих величинах, видимо, когда

искажение стока хозяйственной деятельностью несущественно, основную роль играет климатический тренд.

4.3 Изменение нагрузки на водные ресурсы под влиянием климатических и антропогенных факторов

Вода – это источник жизненной силы экологической системы, основа основ здоровья и благополучия человека и одна из предпосылок экономического процветания. Именно поэтому водные ресурсы являются центральным элементом Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года (цель устойчивого развития 6 – обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитария для всех – тесно взаимосвязана со всеми другими целями устойчивого развития). Шестая цель устойчивого развития расширяет сферу охвата Цели развития тысячелетия, сосредоточенной на проблеме питьевого водоснабжения и базовой санитарии, включая в нее вопросы управления водным хозяйством, комплексного управления водными ресурсами, очистки сточных вод, потребностей экологического стока и сохранения экосистем. Таким образом, доступ к безопасной воде и санитарии, рациональное использование пресноводных экосистем являются одним из основополагающим элементов устойчивого развития.

Целевая задача 6.4 ЦУР (цели устойчивого развития) 6 охватывает вопросы эффективности водопользования и нагрузки на водные ресурсы и призвана обеспечить следующее: «К 2030 году существенно повысить эффективность водопользования во всех секторах и обеспечить устойчивый забор и подачу пресной воды для решения проблемы нехватки воды...» [82], для этой целевой задачи были определены два показателя: динамика изменения эффективности водопользования и уровень нагрузки на водные ресурсы.

Среднемировой уровень нагрузки на водные ресурсы составляет 13 %, но очевидно, что между регионами мира существуют значительные различия. В мировом масштабе в 32 странах уровень нагрузки на водные ресурсы находится в диапазоне от 25 % до 70 %, в 22 странах превышает 70 %, что свидетельствует о серьезной нехватке воды [82]. Согласно данным Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан уровень нагрузки на водные ресурсы в Казахстане составляет 30 %, что соответствует высокой нагрузке на водные ресурсы.

Оценка перспектив использования водных ресурсов в экономически освоенных регионах достаточно сложная комплексная задача, связанная как со сценариями развития водопотребляющих отраслей экономики, так и с необходимостью учета изменений, происходящих в гидролого-климатической системе. Подобные изменения влияют на условия формирования стока и способны приводить к существенной трансформации водного режима. Эта проблема особенно значима для бассейнов с невысокой обеспеченностью населения водными ресурсами.

Изменения климата, антропогенное воздействие, повлекшие за собой существенные изменения характеристик стока приводят к необходимости смены парадигмы гидрологических расчетов. Наличие нестационарных рядов, с точки зрения гидрологической практики, требует пересмотра существующих и разработки новых методик для оценивания характеристик стока и вероятностного прогнозирования водных ресурсов. Можно отметить научные исследования [83-88], в которых делаются первые шаги в разработке новых моделей и методов оценки гидрологических последствий ожидаемых глобальных климатических изменений.

Водный режим рек отражает сезонную специфику поступления воды из речного бассейна, обуславливающую устойчивое чередование фаз повышенного и пониженного стока [55]. В условиях значительных колебаний стока актуальной водохозяйственной проблемой является обеспечение гарантированных объемов воды для нужд экономики и населения. Соответственно, чем менее значительны вариации годового и экстремального стока воды, тем реальнее возможность организации экономически эффективного и экологически безопасного водопользования, в том числе и в лимитирующий период [89].

Характерная тенденция современного водного режима, установленная для равнинных рек Казахстана, заключается в сокращении доли весеннего стока [90] и увеличении доли стока маловодных периодов, что приводит к выравниванию годового гидрографа [91-93]. Основная причина данной трансформации – существенный многолетний рост значений приземной температуры воздуха в холодный сезон с закономерным увеличением частоты оттепелей и расходов зимней межени [94]. Кроме того, наблюдаемые гидрофизические процессы приводят к увеличению естественных (возобновляемых) ресурсов подземных вод, в целом, продолжительность и устойчивость периода низкого стока определяется стокообразующими факторами, из которых ключевое значение имеют атмосферные осадки и подземные воды, непосредственно участвующие в формировании приходной части стока [95].

Годовой сток и минимальный сток относятся к категории основных расчетных гидрологических параметров, это важнейшие показатели гидрологического режима в теории формирования использования водных ресурсов. Оценка изменения параметров минимального стока относится к числу наиболее актуальных задач гидрологии, поскольку с его расчетами связаны важнейшие практические задачи планирования водохозяйственных мероприятий, регулирования стока, водообеспечения территории, внутриводосборного и территориального распределения водных ресурсов.

Наступление минимальной водности следует рассматривать как экстремальное событие, поскольку оно лимитирует водопользование – проблемы дефицита воды и ее качества ассоциируются именно с минимальным стоком. Особенности происходящих изменений минимального стока и среднегодового стока равнинных рек, возможности эффективного их учета в оценках и прогнозах с учетом изменения климата, а также уровень

нагрузки на водные ресурсы составляют цель научного исследования данного раздела.

Оценка антропогенных нагрузок на водные ресурсы. На первом этапе была проведена оценка антропогенного изменения речного стока по основным опорным пунктам наблюдений на основе метода гидрологической аналогии. Метод дает вполне надежные результаты, при этом интегральные значения изменений ограничены для оценки роли отдельных отраслей или видов хозяйственной деятельности (полученные оценки по опорным гидрологическим постам и оценки, полученные на основе руслового водного баланса, дают полное представление об антропогенных преобразованиях речного стока равнинных рек по водохозяйственным участкам и водохозяйственным бассейнам). Для оценки антропогенного вклада в многолетние изменения сезонного стока был использован подход, основанный на независимом восстановлении стока по регрессионным связям со стоком реки – аналога.

Для оценки обеспеченности водными ресурсами различных регионов и стран в мире применяется подход, основанный на использовании показателя нагрузки на водные ресурсы (коэффициент использования), который равен отношению в процентах величины полного водопотребления к возобновляемым водным ресурсам. Возобновляемые водные ресурсы представляют собой сумму местных водных ресурсов, формирующихся в пределах рассматриваемого региона и притока речных вод с соседних территорий. Указанный подход к оценке обеспеченности водными ресурсами применен в работах различных исследователей [31, 96-98]. Степень нагрузки на водные ресурсы, в соответствии с предложенным подходом, определяется по классификации, имеющей пять категорий (таблица 17):

Таблица 17 – Классификация по степени нагрузки на водные ресурсы

| Категория | $K_{исп}, \%$ | Характеристика |
|-----------|---------------|--|
| I | <10 | Низкая нагрузка на водные ресурсы – регионы не испытывают серьезных проблем с водообеспечением |
| II | 10-20 | Умеренная нагрузка на водные ресурсы – уровень водообеспечения становится фактором, ограничивающим развитие региона |
| III | 20-40 | Высокая нагрузка на водные ресурсы – для устойчивости развития необходимо регулировать спрос и предложение на воду |
| IV | 40-60 | Очень высокая нагрузка на водные ресурсы – имеет место серьезный дефицит воды и настоятельная необходимость регулирования и ограничения водопотребления, привлечения дополнительных источников водообеспечения. Дефицит водных ресурсов становится фактором, сдерживающим экономический рост и повышение уровня благосостояния населения |
| V | >60 | Критически высокая нагрузка – дефицит водных ресурсов становится критическим фактором развития экономики и жизнедеятельности |

Данный подход не позволяет в полной мере характеризовать дефицит водных ресурсов в том или ином регионе, поскольку не учитывает численность проживающего на его территории населения. Для учета этого фактора дополнительно предлагается использовать показатель удельной

водообеспеченности, вычисляемый как отношение реальных водных ресурсов, за вычетом безвозвратного водопотребления, к численности населения. Классификация состояния водных ресурсов по указанному показателю включает следующую градацию (таблица 18).

Таблица 18 – Классификация состояния водных ресурсов по удельной водообеспеченности

| Характеристика | Градация |
|---|----------|
| Катастрофически низкая водообеспеченность | <1,0 |
| Очень низкая водообеспеченность | 1,01-2,0 |
| Низкая водообеспеченность | 2,01-5,0 |
| Средняя водообеспеченность | 5,01-10 |
| Высокая водообеспеченность | 10,01-20 |
| Очень высокая обеспеченность | >20 |

Нагрузка на водные ресурсы и водообеспеченность определяется относительно суммарных среднесуточных водных ресурсов, что позволяет оценить необходимые меры по регулированию или перераспределению речного стока, устранению существующих или потенциально возможных дефицитов воды. Существует и другая точка зрения согласно научным исследованиям следующих авторов [89, 99-100], коэффициент использования рассчитывается как отношение водозабора на хозяйственные нужды к минимальной водности рек в лимитирующий зимний период.

Надежная количественная оценка антропогенного изменения речного стока одна из актуальных задач современной гидрологии. Проблема особо актуальна для нашей страны в связи со слабой сетью наблюдений за стоком рек, и ненадежностью данных о водозаборах и сбросах вод в природные водные объекты. Антропогенные изменения стока рек Есильского водохозяйственного бассейна приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Антропогенные изменения стока рек Есильского водохозяйственного бассейна

| № | Река – гидрологический пост | Объем стока, млн. м ³ | | Изменение объема стока, млн. м ³ | В % от естественно-восстановленного стока |
|---|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|---|---|
| | | Естественный восстановленный | Фактический наблюдаемый | | |
| 1 | Силеты – Изобильное | 239 | 194 | -45,0 | -18,8 |
| 2 | Шагалалы – Павловка | 35,9 | 45,7 | 9,80 | 27,3 |
| 3 | Есиль – Астана | 186 | 153 | -33,0 | -17,7 |
| 4 | Есиль – Каменный Карьер | 1354 | 1251 | -103 | -7,61 |
| 5 | Есиль – Петропавловск | 1718 | 1860 | 142 | 8,27 |
| 6 | Есиль – Долматово | 2205 | 1994 | -211 | -9,57 |

Сопоставление имеющихся данных по водозаборах и результатов антропогенного изменения речного стока по водохозяйственным участкам дает возможность приближенно оценить величины безвозвратного

водопотребления в каждом регионе и соотношения между объемами безвозвратного и полного водопотребления. Полученные таким образом данные безвозвратного водопотребления ориентировочны, тем не менее, можно отметить некоторые закономерности в величинах указанных соотношений, по регионам они изменяются в очень больших пределах в зависимости от структуры водопотребления и климатических условий.

Для учета дефицита водных ресурсов в исследовании проанализированы коэффициенты удельной водообеспеченности в соответствии с принятой градацией, также в соответствии с классификацией по степени нагрузки на водные ресурсы по рассматриваемым водохозяйственным бассейнам получены коэффициенты нагрузки на водные ресурсы.

Величина коэффициента нагрузки на водные ресурсы за рассматриваемый период в Есильском водохозяйственном бассейне изменяется в широком диапазоне от 4 % (2002 г.) до 50 % (2006 г.), средняя величина коэффициента нагрузки составляет более 20 %, что соответствует III категории принятой классификации (высокая нагрузка на водные ресурсы). Территория Есильского водохозяйственного бассейна уже имеет высокую нагрузку на водные ресурсы, требуется особенное внимание и при дальнейшем освоении территории рекомендуется внедрение эффективных водосберегающих технологий, необходимо ограничение заборов воды из природных объектов. Для устойчивого развития региона необходимо регулировать предложение и спрос на воду.

Величина коэффициента удельной водообеспеченности с учетом численности населения, проживающего на территории рассматриваемого Есильского водохозяйственного бассейна, за рассматриваемый период изменяется в пределах от 0,16 (катастрофически низкая водообеспеченность), до 3,93 (низкая водообеспеченность), в среднем коэффициент удельной водообеспеченности составляет 1,33, что соответствует очень низкой водообеспеченности.

Минимальный сток. Минимальный сток отличается особыми условиями и факторами формирования, не проявляющимися в остальные сезоны года, продолжительность маловодных фаз определяется в первую очередь устойчивостью межени – зимняя межень зависит от длительности периода с отрицательными температурами, а летне-осенняя – от интенсивности атмосферных осадков. Многолетняя динамика минимального стока в рассматриваемых бассейнах показывает стабильный рост значений для большинства исследуемых рек (рисунок 12).

Положительную динамику подтверждают отклонения значений минимального стока современного периода от среднемноголетних величин условно-естественного периода. Максимальные отклонения от нормы характерны, в первую очередь, для расходов зимней межени.

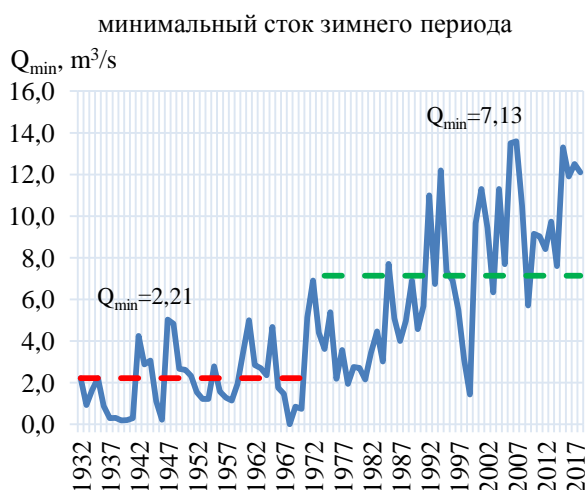


Рисунок 12 – Динамика минимального стока р. Есиль – г. Петропавловск

Статистические характеристики и расходы различной обеспеченности минимального месячного стока за зимний период и за период открытого русла основных рек приведены в таблице 20 и таблице 21.

Таблица 20 – Статистические характеристики минимального стока зимнего периода в бассейнах рек Есильского водохозяйственного бассейна

| Река – гидрологический пост | Период | Q_{min} , м ³ /с (средний, минимальный) | Cv | Расходы воды в годы различной обеспеченности, % | | |
|-----------------------------|-----------|--|------|---|-------|-------|
| | | | | 80 | 90 | 95 |
| Силеты – Изобильное | 1932-1973 | 0,070 (0) | 0,92 | 0,020 | 0,012 | 0,009 |
| | 1974-2019 | 0,28 (0) | 1,02 | 0,057 | 0,023 | 0,009 |
| | 1932-2019 | 0,18 (0) | 1,30 | 0,016 | 0,005 | 0,001 |
| Есиль – Астана | 1974-2019 | 0,46 (0) | 1,01 | 0,098 | 0,042 | 0,019 |
| | 1932-2019 | 0,23 (0) | 1,76 | 0,007 | 0,005 | 0,003 |
| Есиль – Каменный Карьер | 1932-1973 | 1,44 (0,018) | 0,92 | 0,41 | 0,25 | 0,18 |
| | 1974-2019 | 1,65 (0,063) | 0,54 | 0,90 | 0,69 | 0,54 |
| | 1932-2019 | 1,57 (0,018) | 0,69 | 0,67 | 0,44 | 0,30 |
| Есиль – Западное | 1974-2019 | 1,49 (0,081) | 1,01 | 0,32 | 0,14 | 0,060 |
| Есиль – Петропавловск | 1932-1973 | 2,21 (0,002) | 0,76 | 0,83 | 0,50 | 0,31 |
| | 1974-2019 | 7,13 (1,43) | 0,51 | 4,04 | 3,02 | 2,33 |
| | 1932-2019 | 4,76 (0,002) | 0,79 | 1,68 | 0,92 | 0,51 |
| Жабай – Атбасар | 1974-2019 | 0,34 (0) | 0,86 | 0,11 | 0,071 | 0,053 |
| | 1932-2019 | 0,20 (0) | 1,40 | 0,012 | 0,003 | 0,001 |

На территории Есильского водохозяйственного бассейна величина минимального стока зависит от местных физико-географических особенностей территории: рельефа, геологического строения бассейна, глубины врезанности русел рек и инфильтрационных свойств почво-грунтов. Одним из главных факторов, определяющих величину меженного стока, является степень увлажнения территории. К рекам, имеющим сток в период межени, относятся собственно сама р. Есиль с притоками и р. Шаглинка. большая часть равнинной территории отличается маловодностью (на многих малых реках сток прекращается в начале лета, и вода сохраняется только в глубоких плесах).

Меженный сток на р. Есиль по всей ее длине длится в среднем девять месяцев (с июля по март). В летний период минимальные расходы воды наблюдаются в июле-августе, в зимний период – январе-марте, наименьшие из минимальных расходов приходятся на зимнюю межень. После строительства в бассейне р. Есиль водохранилищ многолетнего регулирования (Вячеславское, Сергеевское, Петропавловское) минимальные расходы воды выросли, главным образом, в зимнюю межень и значительно сократилось число лет с отсутствием стока. За период с 1932 по 2019 гг. в створе гидрологического поста р. Есиль – г. Астана среднемноголетнее значение минимального стока зимнего периода составляло 0,23 м³/с, а за современный период среднемноголетняя величина составляет 0,46 м³/с (увеличение в два раза).

Таблица 21 – Статистические характеристики минимального стока летне-осеннего периода в бассейнах рек Есильского водохозяйственного бассейна

| Река – гидрологический пост | Период | Q_{min} , м ³ /с (средний, минимальный) | Cv | Расходы воды в годы различной обеспеченности, % | | |
|-----------------------------|-----------|--|------|---|--------|-------|
| | | | | 80 | 90 | 95 |
| Силеты – Приречное | 1932-1973 | 0,014 (0) | 1,53 | 0,001 | 0 | 0 |
| | 1974-2019 | 0,021 (0) | 1,59 | 0,002 | 0,001 | 0 |
| | 1932-2019 | 0,018 (0) | 1,61 | 0,001 | 0 | 0 |
| Силеты – Изобильное | 1932-1973 | 0,62 (0,10) | 1,13 | 0,09 | 0,03 | 0,002 |
| | 1974-2019 | 0,47 (0) | 0,67 | 0,18 | 0,12 | 0,082 |
| | 1932-2019 | 0,42 (0) | 0,92 | 0,13 | 0,072 | 0,046 |
| Шагалалы – Павловка | 1940-1973 | 0,07 (0,010) | 0,92 | 0,018 | 0,009 | 0,004 |
| | 1974-2019 | 0,16 (0) | 1,07 | 0,03 | 0,02 | 0,009 |
| | 1940-2019 | 0,12 (0) | 1,17 | 0,02 | 0,005 | 0,001 |
| Шагалалы – Северное | 1940-1973 | 0,16 (0,008) | 1,15 | 0,02 | 0,01 | 0,004 |
| | 1947-2019 | 0,22 (0) | 0,91 | 0,06 | 0,03 | 0,02 |
| | 1940-2019 | 0,19 (0) | 1,00 | 0,04 | 0,02 | 0,01 |
| Есиль – Астана | 1932-1973 | 0,24 (0) | 1,52 | 0,014 | 0,006 | 0,005 |
| | 1974-2019 | 0,54 (0) | 1,59 | 0,02 | 0,01 | 0,003 |
| | 1932-2019 | 0,39 (0) | 1,73 | 0,012 | 0,005 | 0,004 |
| Есиль – Каменный Карьер | 1932-1973 | 3,80 (0,036) | 0,81 | 1,31 | 0,81 | 0,54 |
| | 1974-2019 | 3,30 (0,29) | 0,74 | 1,28 | 0,72 | 0,42 |
| | 1932-2019 | 3,54 (0,036) | 0,78 | 1,30 | 0,81 | 0,54 |
| Есиль – Петропавловск | 1932-1973 | 7,22 (0,001) | 0,70 | 3,03 | 1,96 | 1,31 |
| | 1974-2019 | 8,42 (2,36) | 0,52 | 4,70 | 3,47 | 2,64 |
| | 1932-2019 | 7,84 (0,001) | 0,60 | 3,84 | 2,67 | 1,82 |
| Жабай – Атбасар | 1932-1973 | 0,33 (0) | 0,99 | 0,08 | 0,04 | 0,02 |
| | 1974-2019 | 0,64 (0) | 1,00 | 0,14 | 0,006 | 0,03 |
| | 1932-2019 | 0,49 (0) | 1,08 | 0,09 | 0,05 | 0,03 |
| Акканбурлук – Привольное | 1932-1973 | 0,05 (0) | 1,24 | 0,006 | 0,002 | 0,001 |
| | 1974-2019 | 0,17 (0) | 0,82 | 0,06 | 0,03 | 0,02 |
| | 1932-2019 | 0,11 (0) | 1,11 | 0,02 | 0,01 | 0,006 |
| Иманбурлук – Соколовка | 1932-1973 | 0,11 (0,010) | 0,66 | 0,012 | 0,0006 | 0,005 |
| | 1974-2019 | 0,43 (0,023) | 1,34 | 0,049 | 0,033 | 0,023 |
| | 1932-2019 | 0,28 (0,010) | 1,62 | 0,038 | 0,013 | 0,006 |

В бассейне р. Есиль увеличение значений минимального стока зимней межени составляет от полутора до двух раз (таблица 20), увеличение значений минимального стока за период открытого русла составляет от 1,2 до 1,9 раз (таблица 21). За период с 1932 по 2019 гг. в створе гидрологического поста р. Иманбурлук – с. Соколовка среднемноголетнее значение минимального стока зимнего периода составляло 0,28 м³/с, а за современный период среднемноголетняя величина составляет 0,43 м³/с (увеличение в 1,9 раза).

Выявленные тенденции изменения параметров маловодных фаз являются непосредственным отражением многолетних трансформаций внутригодового распределения стока, в частности – колебаний минимального стока в зимний и летне-осенний период. В связи с разнообразием метеорологических факторов и форм их воздействия, многолетняя изменчивость летне-осеннего стока зачастую выше изменчивости зимнего стока. В целом рост значений минимального стока приводит к снижению изменчивости речного стока в рассматриваемых бассейнах.

Следующий подход, рассмотренный в данном научном исследовании расчет коэффициента использования (нагрузки) как отношение водозабора на хозяйственные нужды к минимальной водности рек в лимитирующий зимний период (таблица 22).

Таблица 22 – Коэффициент нагрузки на водные ресурсы

| Река – пункт | Водные ресурсы (годовой сток), млн. м ³ | | | Нагрузка на водные ресурсы, % | | | Водные ресурсы (минимальный сток за зимний период), млн. м ³ | | | Нагрузка на водные ресурсы, % | | |
|-------------------------------------|--|------|------|--------------------------------------|------|------|---|------|------|--------------------------------------|------|------|
| | | | | Категория нагрузки на водные ресурсы | | | | | | Категория нагрузки на водные ресурсы | | |
| | 50 % | 75 % | 95 % | 50 % | 75 % | 95 % | 80 % | 90 % | 95 % | 80 % | 90 % | 95 % |
| Силеты – Изобильное | 101 | 43,5 | 19,1 | 10,2 | 23,7 | 53,9 | 1,95 | 1,01 | 0,59 | 22,6 | 43,6 | 74,6 |
| | | | | II | III | IV | | | | III | IV | V |
| Есиль – Астана | 95,2 | 49,5 | 14,3 | 16,2 | 31,1 | 108 | 3,02 | 1,42 | 0,71 | 42,7 | 90,8 | 182 |
| | | | | II | III | V | | | | IV | V | V |
| Есиль – Каменный Карьер | 995 | 591 | 240 | 1,55 | 2,61 | 6,42 | 21,9 | 15,4 | 11,4 | 23,5 | 33,4 | 45,2 |
| | | | | I | I | I | | | | III | III | IV |
| Есиль – Петропавловск | 1535 | 832 | 291 | 4,01 | 7,39 | 21,1 | 127 | 95,3 | 73,5 | 16,1 | 21,5 | 27,9 |
| | | | | I | I | III | | | | II | III | III |
| Есильский водохозяйственный бассейн | 1724 | 939 | 298 | 14,8 | 27,2 | 85,6 | 141 | 107 | 83,6 | 60,4 | 79,5 | 102 |
| | | | | II | III | V | | | | V | V | V |

Анализ таблицы 22 показывает, что в бассейне р. Силеты в створе с. Изобильное нагрузка на водные ресурсы по годовому стоку характеризуется нагрузкой II категории в годы средней водности (50 %), в маловодные годы с обеспеченностью 75 % – нагрузкой III категории, а в очень маловодные годы (95 %) – нагрузкой IV категории. По зимнему периоду нагрузка на водные ресурсы в створе с. Изобильное р. Силеты постепенно увеличивается по мере увеличения дефицита воды. То есть, если нагрузка на водные ресурсы в годы 80 % обеспеченности характеризуется

нагрузкой III категории, то в годы 90 и 95 % обеспеченности нагрузка на водные ресурсы характеризуются соответственно IV и V категорией.

В бассейне р. Есиль в створе г. Астана водные ресурсы в годовом разрезе не подвергаются сравнительно большим нагрузкам. Средние по водности годы нагрузка на водные ресурсы умеренная, а маловодные годы (75 % обеспеченности) сильная нагрузка, а в очень маловодные годы водные ресурсы подвергаются критическим нагрузкам.

Нужно отметить, с увеличением водности р. Есиль водные ресурсы в бассейне менее подвержены нагрузкам. Например, в створе Каменный Карьер годовые водные ресурсы очень слабо подвергаются нагрузкам. Степень нагрузки на годовые водные ресурсы в годы различной водности изменяются очень слабо, и характеризуются нагрузкой I категории. Диапазон изменений колеблется от 1,5 процентов до 6,4 процента. В створе г. Петропавловск в годы 50 % и 75 % обеспеченности степень нагрузки не изменяется, только в очень маловодные годы 95 % обеспеченности нагрузка на водные ресурсы характеризуется нагрузкой III категории (уровень нагрузки – 21 %). В целом в Есильском водохозяйственном бассейне водные ресурсы подвергаются от умеренной нагрузки до критически сильной нагрузки на водные ресурсы.

В период зимней межени в Есильском водохозяйственном бассейне водные ресурсы подвергаются нагрузке V категории. Острая нехватка водных ресурсов становится лимитирующим фактором развития экономики и улучшения благосостояния населения.

Согласно полученным результатам, если в регионе меры по эффективному управлению водными ресурсами быстро не будут реализованы, а производственные и сельскохозяйственные учреждения не перейдут на водосберегающие технологии, то в бассейне р. Есиль, в Астане и прилегающих территориях в ближайшие десятилетия показатель и без того низкого водообеспечения будет еще ниже, в разы ниже критических значений.

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные выводы:

1. Изменение климата оказывает большое влияние на сезонный сток, особенно значительно изменился зимний меженный сток. Увеличение зимнего стока составляет от 2 % до 18 %.

2. Выявленные тенденции изменения параметров маловодных фаз являются непосредственным отражением многолетних трансформаций внутригодового распределения стока, в частности – колебаний минимального стока в зимний и летне-осенний период. В целом рост значений минимального стока приводит к снижению изменчивости речного стока в рассматриваемых бассейнах.

3. В верхнем течении р. Есиль водные ресурсы в годовом разрезе не подвергаются сравнительно большим нагрузкам. В средние по водности годы нагрузка на водные ресурсы умеренная, а маловодные годы (75 %

обеспеченности) сильная нагрузка, в очень маловодные годы водные ресурсы подвергаются критическим нагрузкам.

Нужно отметить, в нижнем течении р. Есиль с увеличением водности водные ресурсы в бассейне менее подвержены нагрузкам. Степень нагрузки на годовые водные ресурсы в годы различной водности изменяется очень слабо, и характеризуются нагрузкой I категории. Диапазон изменений колеблется от 1,5 % до 6,4 %. В целом в Есильском водохозяйственном бассейне водные ресурсы подвергаются от умеренной нагрузки до критически сильной нагрузки.

В период зимней межени в Есильском водохозяйственном бассейне водные ресурсы подвергаются критически сильной нагрузке V категории. Острая нехватка водных ресурсов становится лимитирующим фактором развития экономики и улучшения благосостояния населения. Территория Есильского водохозяйственного бассейна уже имеет высокую нагрузку на водные ресурсы, требуется особое внимание и при дальнейшем освоении территории рекомендуется внедрение эффективных водосберегающих технологий, необходимо ограничение заборов воды из природных объектов. Для устойчивого развития региона необходимо регулировать предложение и спрос на воду.

4. Согласно полученным результатам, если в регионе меры по эффективному управлению водными ресурсами быстро не будут реализованы, а производственные и сельскохозяйственные учреждения не перейдут на водосберегающие технологии, то в то в бассейне р. Есиль, в Астане и прилегающих территориях в ближайшие десятилетия показатель и без того низкого водообеспечения будет еще ниже, в разы ниже критических значений.

Выводы по четвертому разделу.

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные выводы:

1. Внутригодовое распределение стока:

– анализ пространственно-временных закономерностей формирования стока рек Есильского водохозяйственного бассейна показал, что имеется существенное изменение внутригодового распределения стока рек в последние десятилетия (современный период), из анализа изменения стока и его внутригодового распределения стока, очевидно, что гидрологический режим р. Есиль претерпел серьезные изменения на большей своей части (при этом в верхнем течении до г. Астана режим стока, выровненный и преобразованный);

– в верхнем течении р. Есиль наиболее заметно снижение весеннего стока. В нижнем течении реки в створе г. Петропавловск весенний сток за период с нарушенным режимом намного выше весеннего стока за естественный период, повышение сезонного стока, особенно зимнего стока, отмечается в маловодные годы 95 % обеспеченности;

– увеличение коэффициента естественной зарегулированности стока, который выражает комплексное влияние физико-географических факторов на внутригодовое распределение стока сопровождается существенным уменьшением стока за половодье и со значимым увеличением меженного стока за зимний и летний периоды (в результате увеличения коэффициента естественной зарегулированности стока зимний сток р. Есиль в среднем течении увеличился в два-три раза).

2. Оценка влияния водохранилищ на речной сток:

– Анализ полученных данных показывает, что в многоводные годы в пункте р. Есиль – г. Астана сток уменьшается на 15 %, в замыкающем створе р. Есиль – г. Петропавловск сток уменьшается на 4 %; в маловодные годы сток уменьшается соответственно на 50-100 % в верховьях реки, на 30-50 % в низовьях реки;

– результаты оценки влияния на сток объемов заполнения водохранилищ – по этим данным хозяйственная деятельность с 1974 г. по 2019 г. обусловила уменьшение стока в створе р. Есиль – г. Астана в средние по водности годы (50 % обеспеченности) на 30 %, а в замыкающем створе р. Есиль – г. Петропавловск уменьшение стока составляет до 7 %;

– анализ полученных данных показывает, что уменьшение стока от условно-естественного периода к нарушенному периоду не может быть целиком отнесено к влиянию за счет влияния водохранилищ, в случае, когда отсутствует климатический тренд, ожидается примерное совпадение стока различной обеспеченности и «исправленного» стока, в многоводные годы прослеживается различие в этих величинах, видимо, когда искажение стока хозяйственной деятельностью несущественно, основную роль играет климатический тренд.

3. Изменение нагрузки на водные ресурсы под влиянием климатических и антропогенных факторов:

– изменение климата оказывает большое влияние на сезонный сток, особенно значительно изменился зимний меженный сток. Увеличение зимнего стока составляет от 2 % до 18 %;

– выявленные тенденции изменения параметров маловодных фаз являются непосредственным отражением многолетних трансформаций внутригодового распределения стока, в частности – колебаний минимального стока в зимний и летне-осенний период, в целом рост значений минимального стока приводит к снижению изменчивости речного стока в рассматриваемых бассейнах;

– в верхнем течении р. Есиль водные ресурсы в годовом разрезе не подвергаются сравнительно большим нагрузкам: в средние по водности годы нагрузка на водные ресурсы умеренная; в маловодные годы (75 % обеспеченности) сильная нагрузка; в очень маловодные годы водные ресурсы подвергаются критическим нагрузкам;

– в период зимней межени в Есильском водохозяйственном бассейне водные ресурсы подвергаются критический сильной нагрузке V категории, острая нехватка водных ресурсов становится лимитирующим фактором

развития экономики и улучшения благосостояния населения, территория Есильского водохозяйственного бассейна уже имеет высокую нагрузку на водные ресурсы, требуется особенное внимание и при дальнейшем освоении территории рекомендуется внедрение эффективных водосберегающих технологий, необходимо ограничение заборов воды из природных объектов (для устойчивого развития региона необходимо регулировать предложение и спрос на воду);

– согласно полученным результатам, если в регионе меры по эффективному управлению водными ресурсами быстро не будут реализованы, а производственные и сельскохозяйственные учреждения не перейдут на водосберегающие технологии, то в то в бассейне р. Есиль, в Астане и прилегающих территориях в ближайшие десятилетия показатель и без того низкого водообеспечения будет еще ниже, в разы ниже критических значений.

5 ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ Р. ЕСИЛЬ

В последние годы в Республике Казахстан приоритетным направлением в области практической гидрологии становится обеспечение безопасности населения, хозяйственных объектов и экономики в целом при неблагоприятном развитии гидрологических процессов, а также снижение возможного ущерба. Большое внимание при этом уделяется вопросам предупреждения опасных природных явлений. Повторяемость чрезвычайных ситуаций, вызванных весенними половодьями и дождевыми паводками, составляет около 30 % всех чрезвычайных ситуаций (это вдвое больше повторяемости чрезвычайных ситуаций от опасных метеорологических явлений). Число пострадавших людей от чрезвычайных ситуаций, вызванных весенними половодьями и дождевыми паводками, составляет более 50 % от суммарных по республике показателей по источникам чрезвычайных ситуаций [101]. Следовательно, на современном этапе развития Республики Казахстан одной из важнейших задач является уменьшение риска наводнений как одного из стратегических рисков.

Наводнения могут происходить в любой стране мира. По данным ООН в XX столетии в мире от наводнений погибло около 9 млн. человек (от землетрясений и ураганов – 2 млн. человек). Частных примеров множество, по данным Всемирной метеорологической организации с 1990 гг. в мире произошла 5 катастрофических наводнений: Бангладеш (1991 г.), КНР (1991, 1994, 1996, 1998 гг.), Пакистан (1992 г.). В 1998 г. в Китае наводнения затронули почти всю страну (зафиксировано 13 наводнений), от них пострадало 240 млн. человек [71].

Казахстан, естественно, не исключение – его территории подвержены опасности наводнений, исключительная неравномерность стока во времени на равнинных водосборах усиливают эту опасность. За период с 1991 по 2012 гг. в республике имели место 437 экстремальных гидрологических явлений: наводнений, связанных с прохождением волны половодья, дождевыми и талодождевыми паводками, заторно-зажорными явлениями [102]. От них пострадало 9600 человек, суммарный ущерб оценен в 20 млрд. тенге.

В Республике Казахстан показательным примером катастрофических рисков, связанных с участием водного фактора является 1993 г., когда в весенний период (на всех равнинных реках) наводнениям и подтоплениям подверглись одновременно 669 населенных пунктов, при этом разрушенными оказались жилые дома с общей площадью 635 тыс. м², прямой экономический ущерб составил не менее 500 млн. долларов США. В последнее время стремительно возросли частота и размеры причиняемого ущерба наводнениями, о чем свидетельствуют катастрофические наводнения на реке Сырдарья в 2004-2007 гг., наводнения в Восточно-Казахстанской области (2010 г.), в Западно-Казахстанской области на реке Жайык (2011 г.), на реке Жабай (2014 г., 2017 г.) [103].

Согласно исследованиям коллектива авторов [104] к гидрологическим стихийным явлениям относятся:

– высокий уровень воды – уровень воды на посту при половодьях, паводках, заторах и зажорах, когда возможно затопление пониженных участков местности в населенных пунктах, сельскохозяйственных полей и угодий, автомобильных и железных дорог, повреждение крупных промышленных и транспортных объектов;

– низкий уровень воды – уровень воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений крупных городов, промышленных районов и оросительных систем;

– наледные явления – образование наледи в руслах и поймах рек, угрожающее населенным пунктам, гидротехническим сооружениям;

– сель – селевой поток всех видов и размеров, вызванный сильными осадками, прорывами завальных и мореных озер и угрожающий населенным пунктам, промышленным объектам, транспортным магистралям, оросительным системам и другим объектам.

На территории Есильского водохозяйственного бассейна из гидрологических явлений наибольший ущерб экономике и населению приносит весеннее половодье. Главными климатическими факторами, определяющими величину весеннего стока рек бассейна р. Есиль, являются снеготаяния, интенсивность снеготаяния, дождевые осадки в период половодья, степень увлажнения и глубина промерзания почво-грунтов водосбора. Снеготаяния являются основным источником питания реки. Осадки, выпадающие в период половодья, имеют второстепенное значение в формировании весеннего стока на рассматриваемой территории. Они составляют в среднем 5-10 % и лишь в редкие годы 20-30 % от величины снеготаяний. Запасы снега, накопившиеся за длительную весну, тают за несколько дней [22], и поэтому водность рек увеличивается в десятки, сотни раз [24], при этом русла рек рассматриваемого бассейна не всегда вмещают всю воду, и она выходит из берегов, вызывая наводнения.

Реки Есильского водохозяйственного бассейна относятся по классификации Б.Д. Зайкова к казахстанскому типу, особенностью этого режима является исключительно резкая и высокая волна половодья (от нескольких недель до 1-2 месяцев), при этом проходит до 90 % всего годового стока [12]. В режиме рек обычно выделяют половодье, паводок и межень. Под половодьем принято понимать ежегодно повторяющийся в один и тот же сезон значительный и довольно продолжительный подъём уровня воды в реке, как правило, на равнинных реках половодье вызывается таянием снега. В период половодий и паводков уровень воды в реках достигает наивысшего значения, которое называется максимальным уровнем воды в период половодья (или паводка). Данные о максимальных уровнях и расходах воды обобщаются, поскольку они имеют наибольшее значение при изучении наводнений и организации борьбы с ними, именно максимальный уровень определяет площадь и глубину затопления территорий.

Таким образом, причинами наводнений и подтоплений в бассейнах рек казахстанского типа (реки Есильского водохозяйственного бассейна) является таяние сезонного снежного покрова на равнинах, заторы, жидкие осадки, выпадающие во время половодья, а также паводки, возникающие при прорывах прудов и водохранилищ. Одной из возможных причин увеличения степени риска наводнений является деятельность человека на водосборе (урбанизация, распашка территорий и т.д.), существует также предположение, что рост числа катастрофических наводнений связан с изменениями климата.

По данным РГП «Казгидромет», в среднем по территории Казахстана, за период с 1976-2019 гг. наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха, составляющее $0,31^{\circ}\text{C}$ каждые 10 лет. Тренды годового количества осадков на большей территории Казахстана были, в основном, положительны, но незначимы, статистически значимое уменьшение количества осадков (7-10 %/10 лет) отмечено на станциях Центрального и Южного Казахстана [35]. В связи с этим на равнинных реках республики происходит уменьшение стока из-за увеличения испарения и уменьшения величины осадков.

По научным исследованиям Долгих С.А. установлено, что для рассматриваемых периодов 1960-1990 гг., 1991-2012 гг. в Казахстане соотношение экстремальных гидрологических явлений составляет:

- паводки – рост на 78 %;
- высокое половодье на реках – спад на 23 %;
- заторы – рост на 82 %;
- сели – рост на 64 %.

В исследованиях, проведенных П.Ж. Кожаметовым для равнинных рек за периоды 1967-1990 гг. и 1991-2015 гг., получены аналогичные результаты: высокое половодье – спад на 20 %, заторы – рост на 130 %.

Под наводнением обычно понимают затопление территорий в результате интенсивного увеличения водности и повышения уровней воды в реках, на рассматриваемой территории наиболее опасные наводнения могут случаться в период прохождения весеннего половодья. Но далеко не всякое половодье вызывает наводнение, только в том случае, когда подъем воды в реке (водохранилище) приводит к затоплению территорий и причиняет материальный ущерб принято говорить о наводнении.

Оценка опасности формирования и возможных размеров наводнений для отдельных участков речных систем имеет первостепенное значение для осуществления комплексных мер по предотвращению или смягчению последствий наводнений:

- регулирование стока с помощью гидротехнических сооружений;
- создание мероприятий по уменьшению максимального стока (агроресомелиоративные мероприятия, регулирование стока с урбанизированных территорий, создание системы прогнозов водного режима, разработка системы аварийных мероприятий).

В качестве исходных материалов для изучения и анализа характеристик максимального расхода и максимального уровня рек Есильского водохозяйственного бассейна исходными материалами послужили ежегодные данные по 25 гидрологическим постам рассматриваемой территории.

Наиболее важной характеристикой опасности наводнений является величина возможного максимального за половодье уровня воды или связанная с ней величина возможного максимального расхода воды. На оценке вероятности превышения (обеспеченности) заданной величины максимального расхода (максимального уровня) в настоящее время основывается большинство мероприятий по предотвращению последствий наводнений. Однако, рост требований к точности оценки возможного ущерба от наводнений и, в особенности, к учету экологической составляющей ущерба делает использование максимального уровня и расхода воды за половодье недостаточным, необходима оценка гидрографа максимального стока, позволяющая при определении возможного ущерба учесть продолжительность стояния высоких уровней. Динамику площадей затопления, объём стока.

В практике водохозяйственного проектирования накоплен значительный опыт определения максимальных расходов заданных обеспеченностей, и на основе этого опыта в различных странах разработаны нормативные документы для расчетов с учетом имеющихся наблюдений [57-58, 63].

В случаях, когда имеется продолжительный ряд наблюдений за стоком, для которого обеспеченность наблюденного максимального расхода близка к заданной, расходы заданной обеспеченности определяют чаще всего, используя подбор распределения вероятности, которые наилучшим образом аппроксимируют оценки вероятности наблюденных расходов.

Расходы заданной обеспеченности находятся путем интерполяции или экстраполяции подобранных зависимостей [43-45]. При недостаточности наблюдений за стоком для определения максимальных расходов различной обеспеченности часто применяются эмпирические формулы, связывающие расход воды с факторами формирования стока, такие зависимости надежны для диапазона изменений расхода, близкого к наблюденному расходу.

В настоящее время основной метод определения максимальных расходов возможных наводнений основан на построении распределений вероятности максимальных расходов по имеющимся наблюдениям за стоком и затем экстраполяции кривых распределения в область малых обеспеченностей. Следует отметить, что экстраполяция эмпирических кривых распределения, полученных по короткому ряду наблюдений в область малых обеспеченностей не может не приводить к большим ошибкам. Величина этих ошибок зависит от типа теоретических кривых распределения, способа определения их параметров, длины имеющихся рядов наблюдений за стоком. Снижение риска при определении максимальных проектных расходов достигается путем введения гарантийных

поправок [57], рассчитанные величины могут быть увеличены на поправку до 20 %.

Для снижения элемента субъективизма при экстраполяции кривых обеспеченности рассматриваемых характеристик (максимального расхода, максимального уровня) используют теоретические кривые, но при обработке рядов максимальных расходов воды верхние точки, соответствующие самым высоким расходам, отклоняются вверх от теоретической кривой обеспеченности. И далеко не всегда увеличение коэффициента асимметрии (подбор C_s) исправляет положение, как правило, полученная в результате таких действий кривая отклоняется уже от основной массы точек, причина в том, что эмпирическая обеспеченность верхних точек существенно отклоняется от теоретической кривой.

Согласно [105] «...катастрофические наводнения, происходящие на нашей планете, не являются из ряда вон выходящими событиями, а имеют достаточно большую вероятность, и с этой вероятностью необходимо считаться». Далее – относительно применяемой расчетной методики: «Если использовать для стандартной обработки временных гидрологических рядов распределение из семейства экспоненциальных, как это рекомендуют [63], очевидно, катастрофические наводнения будут для нас всегда неожиданными» [106]. И затем: «Наводнения исключительной силы последних лет убедительно показали, что рассчитывать защитные дамбы, плотины и другие гидротехнические сооружения необходимо на основании иных вероятностных закономерностей». В частности, этими авторами предлагается степенной закон распределения.

Но вследствие разных условий формирования высоких и низких паводков ряды максимальных расходов воды часто бывают неоднородны. То есть две части ранжированного ряда подчиняются разным законам распределения. В этих случаях вообще сомнительна возможность успешного подбора единой кривой обеспеченности для всего такого ряда – независимо от того, какой закон распределения принять – логарифмически-нормальный или степенной.

Есть и другой путь «подгонки» теоретических кривых к эмпирическим данным. Это – усеченные кривые распределения, при применении которых добиваются соответствия эмпирических точек теоретической кривой лишь для интересующей нас части распределения. Для высоких расходов и уровней воды это – верхняя часть ранжированного ряда. Возможность использования усеченных распределений была предусмотрена в [57, 107] для неоднородного ряда, хотя никаких рекомендаций по его применению там не содержится. В новом российском Своде правил по проектированию и строительству [57, 108] использование усеченных распределений рекомендовано применять для неоднородных рядов максимального стока. Но предлагаемая методика далеко небесспорна. В частности, предлагаются: фиксированная точка усечения, использование только нормального и гамма-распределения.

Согласно рекомендациям [43-45] при использовании статистических методов в инженерных гидрологических расчетах в качестве одного из основных допущений предполагается статистическая однородность исходной пространственно-временной гидрометеорологической информации. Анализ временной однородности необходимо выполнять при построении аналитических кривых распределения, включая оценку параметров и квантилей распределения, при анализе группировок лет различной водности.

Таким образом, необходимо учитывать, что использование эмпирических кривых распределений максимальных расходов воды основано на гипотезе стационарности рядов многолетних наблюдений, данная гипотеза предполагает постоянство во времени характеристик речных бассейнов, влияющих на формирование стока, и рядов климатических характеристик. Однако, возрастающая хозяйственная деятельность человека на водосборах, а также антропогенные изменения климата требуют в настоящее время обоснования этой гипотезы для каждого конкретного речного бассейна.

При отсутствии съемок местности, затопленной в высокие половодья, исследование ширины затопления в конкретных гидрологических постах может быть произведено следующим образом: расчет по статистическому ряду максимального уровня с последующей оценкой ширины разлива по профилю (имеются определенные трудности в связи с нарушением естественного режима реки и русловыми процессами). В случае с максимальными расходами, их формирование сочетается несколькими факторами, но на формирование максимальных уровней влияют и такие изменения, как русла рек, ледовые явления, мероприятия на пойме и т.д. Таким образом, теоретические кривые обеспеченности не всегда адекватно описывают распределение элемента по всей амплитуде, в отношении максимальных уровней это случается чаще, чем для других гидрологических характеристик. Поэтому приходится использовать нестандартные методы статистической обработки рядов наблюдений, такие как использование усеченного распределения [108].

Первоначальной базой для исследования максимальных уровней воды в реке и возможного затопления территории являются данные стационарных наблюдений – временные ряды максимальных уровней воды H_{max} в створах гидрологических постов.

Строительные нормы и правила [63] рекомендуют два варианта получения максимальных уровней воды редкой повторяемости: первый вариант – по равнообеспеченному максимальному расходу воды Q_{max} с использованием известной зависимости $Q=f(H)$; второй вариант по эмпирической кривой обеспеченности максимальных уровней воды в створе гидрологического поста.

В первом варианте на оценку максимальных уровней воды редкой повторяемости влияет целый ряд погрешностей, в первую очередь, погрешностей определения максимального расхода воды, погрешностью названной зависимости.

Целесообразность использования именно эмпирической кривой обеспеченности обосновал классик гидрологии Д.Л. Соколовский [64]. По его утверждению, распределение максимальных уровней воды характеризуется отрицательной асимметричностью, и экстраполяция кривой обеспеченности в область редкой повторяемости проста и не может привести к значительным ошибкам.

Как показали расчеты по Казахстану [109], ряды максимальных уровней воды могут иметь существенную положительную асимметричность. На реках равнинного Казахстана, в частности, коэффициент асимметрии максимальных уровней C_s может достигать значений 2-2,5. Таким образом, исходный тезис, обосновывающий применение эмпирических кривых, не состоятелен. Предпочтительнее для целей гидрологических расчетов пользоваться теоретическими кривыми распределения, в частности, в связи с возможной существенной положительной асимметрией рядов максимальных уровней воды, но использование таких кривых часто затруднительно. В случае, если верхняя и нижняя части ранжированного ряда подчиняются разным законам распределения, то практически невозможно подобрать теоретическую кривую, адекватно описывающую распределение по всей амплитуде. Логичный выход – использование усеченных распределений – только для интересующей нас части ряда, в данном случае – для самых высоких уровней воды.

Целесообразно использование в этом отношении графоаналитического метода Г.А. Алексеева в следующей модификации:

1. строится эмпирическая кривая обеспеченности верхней части ранжированного ряда. Нижней границей используемой части, может быть, область явного изменения распределения (перелом единой кривой обеспеченности, если таковой прослеживается) или, к примеру, уровень обеспеченностью 50 %;

2. с кривой снимаются две опорные ординаты обеспеченностью P_1 и P_2 , – например, $P_1=5\%$ и $P_2=40\%$;

3. рассчитывается среднее квадратическое отклонение σ по формуле (10):

$$\sigma = (H_{p_1} - H_{p_2}) / [\Phi \times (P_1, C_s) - \Phi \times (P_2, C_s)], \quad (10)$$

где H_{p_1} и H_{p_2} – снятые с эмпирической кривой опорные ординаты; $\Phi(P_1, C_s)$, $\Phi(P_2, C_s)$ – соответствующие нормированные (в долях от σ) отклонения от среднего ординат кривой обеспеченности [58]. Коэффициент асимметрии C_s назначается привычным для гидрологов методом подбора. Для первого варианта он берется произвольно, исходя из вида усеченной кривой;

4. рассчитываются прочие квантили распределения – для разных обеспеченностей P_i . Ординаты рассчитываются как превышение над значением одной из опорных ординат, например, над уровнем обеспеченностью P_2 по формуле (11):

$$H_{pi} = H_{p_2} + \sigma \times [\Phi \times (P_i, C_s) - \Phi \times (P_2, C_s)] \quad (11)$$

5. расчетные ординаты H_{pi} наносятся на график обеспеченности, и оценивается, насколько они соответствуют эмпирическому распределению в рассматриваемой области. При неудовлетворительном соответствии подбор продолжается, – испытываются новые значения C_s .

Отличие данного метода [108] от стандартной методики Г.А. Алексеева: во-первых, используется усеченное распределение; во-вторых, берутся две опорные ординаты вместо трех; в-третьих, C_s определяется методом подбора. Однако, практика показала, что в таком варианте назначение того или иного значения C_s дает менее различающиеся результаты, чем при традиционном методе расчета. И это может быть отнесено к достоинствам модификации, поскольку определение C_s всегда приближенное. Таким образом, преимущества использования данного метода: большее приближение к натурным данным; учет особенностей распределения только в интересующем нас диапазоне обеспеченностей; меньшая зависимость результатов расчетов от обычно грубо определяемого коэффициента асимметрии.

При расчетах в данном исследовании обеспеченные величины максимальных уровней и максимальных расходов воды оценивались следующим образом. Строилась биномиальная кривая полного распределения на основе рассчитанных методом моментов параметров. При этом, поскольку в данном случае нас интересуют именно характеристики редкой повторяемости, «уход» нижней части кривых в отрицательные значения при $P > 95\%$ (что возможно при пользовании биномиальной кривой), особого значения не имеет.

В случае недостаточного соответствия теоретической кривой эмпирическим точкам, проводилась эмпирическая кривая, и использовался графоаналитический метод для полного распределения. Если и в этом случае адекватное описание кривой эмпирических точек не обеспечивалось, использовалось усеченное распределение для верхней части ранжированного ряда. По возможности диапазон обеспеченностей брали до 60 %, а в качестве опорных точек – значения H_{max} или Q_{max} обеспеченностью 5% и 40 % или 10 % и 40 %. В отдельных случаях, когда перелом эмпирической кривой (ввиду разных законов распределения верхней и нижней частей ранжированного ряда) приходился на очень низкие обеспеченности, использовались ординаты при $P=5\%$ и $P=30\%$.

Максимальные расходы воды редкой обеспеченности. Сток всех больших рек Казахстана зарегулирован крупными водохранилищами, как показывают расчеты (таблица 23), даже средние из максимальных расходов воды Q_{max} снизились от 10 до 60 %, таким образом современная ситуация не вполне характеризует естественные природные значения.

В таблице 23 приведены расчетные значения максимальных расходов воды обеспеченностью 1 % (100-летний период), в расчетах использованы периоды с условно-естественным и нарушенным стоком, как следует из

результатов, приведенных в таблице, даже после существенного зарегулирования стока, реки рассматриваемого региона могут сформировать более 2000 м³/с.

Таблица 23 – Максимальные расходы воды основных рек Есильского водохозяйственного бассейна

| Река – пост | Площадь водосбора, км ² | Период | Q_{max} , м ³ /с | Q_{max} , м ³ /с P=1 % (Г.А. Алексеев) | Q_{max} , м ³ /с P=1 % (СНиП - 2003) | Q_{max} , м ³ /с P=1 % (Р.И. Гальперин) |
|-------------------------|------------------------------------|-----------|-------------------------------|---|---|---|
| Силеты – Приречное | 1670 | 1961-2019 | 70,6 | 298 | 316 | 372 |
| | | 1974-2019 | 66,1 | 359 | 338 | 398 |
| Силеты – Изобильное | 14600 | 1959-2019 | 276 | 1369 | 1330 | 1476 |
| | | 1974-2019 | 242 | 1460 | 1611 | 1629 |
| Есиль – Астана | 7400 | 1933-2019 | 223 | 1387 | 1194 | 1473 |
| | | 1974-2019 | 135 | 843 | 682 | 851 |
| Есиль – Каменный Карьер | 86200 | 1947-2019 | 788 | 3917 | 3928 | 5000 |
| | | 1974-2019 | 640 | 2292 | 2681 | 3375 |
| Есиль – Петропавловск | 106000 | 1933-2019 | 699 | 4079 | 4204 | 4603 |
| | 118000 | 1974-2019 | 552 | 2522 | 2280 | - |
| Калкутан – Калкутан | 16500 | 1937-2019 | 322 | 1591 | 1418 | 1759 |
| | | 1974-2019 | 369 | 1939 | 1617 | - |
| Жабай – Балкашино | 922 | 1960-2019 | 71,8 | 191 | 184 | - |
| | | 1974-2019 | 75,1 | 184 | 180 | - |
| Жабай – Атбасар | 8530 | 1937-2019 | 365 | 1614 | 1519 | 1828 |
| | | 1974-2019 | 340 | 1712 | 1515 | 2192 |
| Иманбурлык – Соколовка | 3870 | 1951-2019 | 121 | 564 | 544 | - |
| | 4070 | 1974-2019 | 129 | 557 | 521 | 613 |

Максимальные уровни воды. Уровенный режим рек Есильского водохозяйственного бассейна, определяющий опасность наводнений, характеризуется хорошо выраженным подъемом уровней в половодье и низкими уровнями в период межени. Максимальные подъемы уровня воды во время весеннего половодья на реках рассматриваемой территории достигают значительной величины. Высота волны половодья в зависимости от водности года, размеров площади водосбора, характера русла и поймы и строения берегов реки меняется в значительных пределах.

Годовая амплитуда колебаний уровня воды на реках рассматриваемой территории изменяется в значительных пределах. В Атласе природных и техногенных опасностей российские ученые [110] в качестве основной характеристики опасности приняли амплитуду уровней воды в реке.

В Казахстане, исходя из особенностей режима наших рек, принята своя градация [102]. Высшая градация – исключительно высокая опасность затопления (амплитуда уровня воды больше 10 м), несколько низшая опасность – высокая опасность затопления (амплитуда уровня воды от 6 до 10 м). К сведению в Казахстане – исключительно высокая опасность затопления свойственна нашим равнинным рекам (р. Есиль около 12 м, р. Торгай около 12,5 м), ко второй градации с амплитудой от 6 до 10 м относятся реки Жайык, Елек, Ыргыз, Арысь.

Статистический анализ многолетних рядов максимальных годовых уровней воды рек Есильского водохозяйственного бассейна проведен для 25 гидрологических пунктов с продолжительностью рядов 40 лет и более до 2019 г. включительно. Для оценки рядов наблюдений максимальных уровней воды на нестационарность или стационарность, т.е. на наличие или отсутствие трендов рассматривался весь период инструментальных наблюдений. Результаты расчетов линейного тренда максимальных уровней воды основных рек Есильского водохозяйственного бассейна представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Уравнения линейных трендов максимальных уровней воды основных рек Есильского водохозяйственного бассейна

| Река-пункт | Период | Уравнение тренда | r | σr | $2\sigma r$ | $3\sigma r$ |
|---------------------------|-----------|------------------|------|------------|-------------|-------------|
| Силеты – Приречное | 1961-2019 | $y=0,48x+324$ | 0,08 | 0,14 | 0,28 | 0,43 |
| Шагалалы – Павловка | 1940-2019 | $y=-0,57x+192$ | 0,22 | 0,11 | 0,23 | 0,34 |
| Есиль – Турген | 1975-2019 | $y=0,21x+352$ | 0,03 | 0,16 | 0,31 | 0,47 |
| Есиль – Астана | 1933-2019 | $y=1,80x+355$ | 0,32 | 0,10 | 0,20 | 0,30 |
| Есиль – Каменный Карьер | 1947-2019 | $y=-1,67x+646$ | 0,14 | 0,12 | 0,24 | 0,35 |
| Есиль – Покровка | 1949-2019 | $y=-2,34x+854$ | 0,14 | 0,12 | 0,24 | 0,36 |
| Есиль – Петропавловск | 1933-2019 | $y=2,04x+656$ | 0,17 | 0,11 | 0,21 | 0,32 |
| Калкутан – Калкутан | 1955-2019 | $y=0,33x+515$ | 0,05 | 0,13 | 0,26 | 0,38 |
| Жабай – Балкашино | 1960-2019 | $y=0,34x+322$ | 0,05 | 0,13 | 0,27 | 0,40 |
| Жабай – Атбасар | 1944-2019 | $y=1,96x+506$ | 0,33 | 0,11 | 0,21 | 0,32 |
| Акканбурлык – Григорьевка | 1959-2019 | $y=0,10x+326$ | 0,17 | 0,13 | 0,26 | 0,39 |
| Акканбурлук – Привольное | 1951-2019 | $y=0,26x+596$ | 0,03 | 0,12 | 0,25 | 0,37 |
| Иманбурлук – Соколовка | 1951-2019 | $y=-0,45x+304$ | 0,10 | 0,12 | 0,25 | 0,37 |

Анализ данных, приведенных в таблице 24, показывает, что значимые тренды в ходе максимальных уровней воды наблюдаются на р. Есиль – г. Астана, р. Жабай – г. Атбасар (значение r больше $2\sigma r$ на 5 % уровне), следовательно, принимается альтернативная гипотеза о нестационарности ряда, т.е. о наличии линейного тренда.

Как показывают расчеты (таблица 25), даже средние из максимальных уровней воды H_{max} снизились незначительно до 10 % (р. Шагалалы – с. Павловка, р. Есиль – с. Каменный Карьер, Иманбурлук – с. Соколовка), увеличение средних из максимальных уровней воды достигает значений до 15 % (р. Есиль – г. Астана, р. Есиль – г. Петропавловск, р. Жабай – г. Атбасар, р. Акканбурлук – с. Привольное), таким образом современная ситуация не вполне характеризует естественные природные значения.

Для оценки ущерба от наводнений необходима такая важная характеристика как – глубина затопления поймы. Максимальная глубина затопления поймы ΔH определяется как разность максимального наблюдавшегося уровня воды H_{max} и уровня выхода воды на пойму H_n для каждого гидрологического поста.

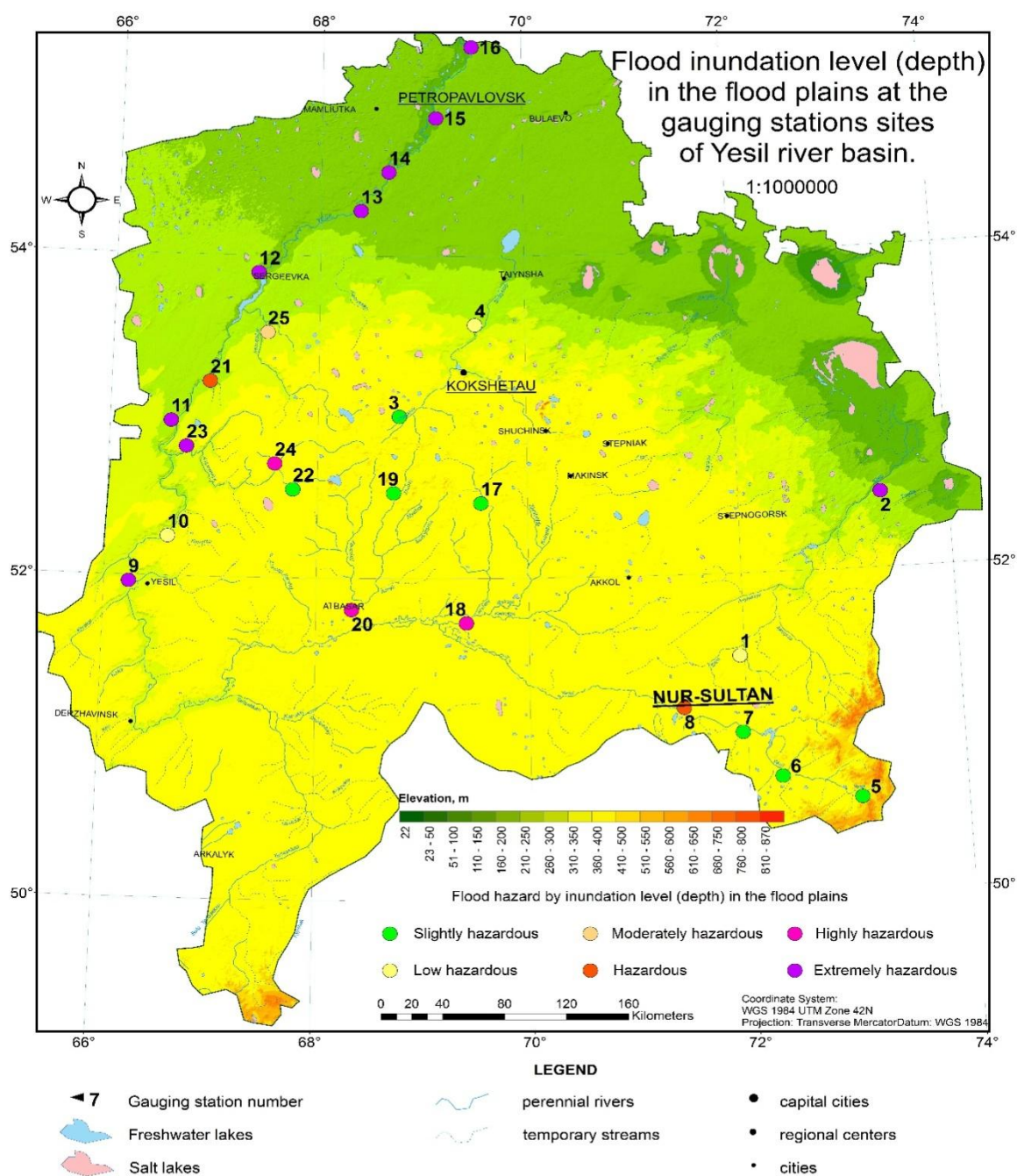
Таблица 25 – Максимальные уровни воды основных рек Есильского водохозяйственного бассейна

| Река – пост | Площадь водосбора, км ² | Период | H_{max} , м | H_{max} , м P=1 % (Г.А. Алексеев) | H_{max} , м P=1 % (СНиП) |
|---------------------------|------------------------------------|-----------|---------------|---|----------------------------------|
| Силеты – Приречное | 1670 | 1961-2019 | 337 | 545 | 312 |
| | | 1974-2019 | 337 | 560 | 304 |
| Шагалалы – Изобильное | 1750 | 1940-2019 | 171 | 301 | 329 |
| | | 1974-2019 | 163 | 267 | 258 |
| Есиль – Турген | 3240 | 1975-2019 | 356 | 609 | 574 |
| Есиль – Астана | 7400 | 1933-2019 | 432 | 761 | 796 |
| | | 1974-2019 | 463 | 805 | 840 |
| Есиль – Каменный Карьер | 86200 | 1947-2019 | 587 | 1141 | 1142 |
| | | 1974-2019 | 577 | 1128 | 1108 |
| Есиль – Покровка | 104000 115000 | 1949-2019 | 774 | 1527 | 1383 |
| | | 1974-2019 | 761 | 1523 | 1427 |
| Есиль – Петропавловск | 106000 1180001 | 1933-2019 | 743 | 1123 | 1125 |
| | | 1974-2019 | 800 | 1383 | 1203 |
| Калкутан – Калкутан | 16500 | 1955-2019 | 525 | 768 | 720 |
| | | 1974-2019 | 528 | 751 | 724 |
| Жабай – Балкашино | 922 | 1960-2019 | 332 | 556 | 556 |
| | | 1974-2019 | 330 | 574 | 559 |
| Жабай – Атбасар | 8530 | 1944-2019 | 579 | 844 | 963 |
| | | 1974-2019 | 608 | 887 | 846 |
| Акканбурлык – Привольное | 910 | 1951-2019 | 355 | 605 | 665 |
| | | 1974-2019 | 356 | 603 | 643 |
| Акканбурлук – Григорьевка | 5620 6250 | 1951-2019 | 605 | 973 | 974 |
| | | 1974-2019 | 621 | 970 | 993 |
| Иманбурлык – Соколовка | 3870 4070 | 1951-2019 | 574 | 992 | 541 |
| | | 1974-2019 | 577 | 1142 | 558 |

Карта распределения максимальной глубины затопления поймы по территории бассейна приведена на рисунке 13. Градации глубины затопления были выбраны с учетом классификации опасности наводнений по слою затопления поймы [104] таблица 26.

Таблица 26 – Классификация опасности наводнений по слою затопления поймы

| Характеристика | Периодичность | Максимальный слой затопления прибрежной территории, м |
|------------------------------|----------------------|---|
| Чрезвычайно опасные районы | один раз в 2 года | превышает 3,0 |
| Весьма опасные районы | один раз в 3-5 лет | 2,0-3,0 |
| Опасные районы | один раз в 5-10 лет | 1,5-2,0 |
| Умеренно опасные районы | один раз в 10-12 лет | 0,70-1,5 |
| Малоопасные районы | один раз в 12-15 лет | 0,30-0,70 |
| Незначительно опасные районы | один раз в 15-20 лет | не превышают 0,30 |



| Gauging N | River | Hydrological alignment | Gauging N | River | Hydrological alignment | Gauging N | River | Hydrological alignment |
|-----------|-----------|------------------------|-----------|---------|------------------------|-----------|-------------|------------------------|
| 1 | Silet'y | Prirechnoe | 10 | Yesil | Kalachi | 18 | Kalkutan | Kalkutan |
| 2 | Silet'y | Izobilnoe | 11 | Yesil | Zapadnoe | 19 | Zhabay | Balkashino |
| 3 | Shagalaly | Pavlovka | 12 | Yesil | Sergeevka | 20 | Zhabay | Atbasar |
| 4 | Shagalaly | Severnoe | 13 | Yesil | Pokrovka | 21 | Akkanburlyk | Privolnoe |
| 5 | Yesil | Priishimskoe | 14 | Yesil | Novonikolskoe | 22 | Akkanburlyk | Kovylnoe |
| 6 | Yesil | Turgen | 15 | Yesil | Petropavlovsk | 23 | Akkanburlyk | Vozyvshenka |
| 7 | Yesil | Volgodonovka | 16 | Yesil | Dolmatovo | 24 | Babykburlyk | Rukhlovka |
| 8 | Yesil | Nur-Sultan | 17 | Moiyldy | Nikolaevka | 25 | Imanburlyk | Sokolovka |
| 9 | Yesil | Kamennyi Karier | | | | | | |

Рисунок 13 – Карта максимальной глубины затопления поймы ΔH (см) на участках постов Есильского водохозяйственного бассейна

Наибольшие глубины затопления поймы наблюдаются на следующих гидрологических постах: р. Есиль – г. Астана (182 см), р. Есиль –

с. Каменный Карьер (337 см), р. Есиль – с. Покровка (639 см), р. Есиль – г. Петропавловск (623 см), р. Жабай – г. Атбасар (279 см).

В верховьях бассейна глубина затопления поймы меньше, чем в нижнем течении, это связано с размерами водотоков и с водностью водотоков. Как следует из рисунка 2 периодичность затопления прибрежной территории происходит один раз в 2 года по р. Есиль, по р. Жабай периодичность составляет один раз в 3-5 лет, что согласуется с исследованиями авторов [102] по превышению опасных отметок по основным равнинным рекам Казахстана (в частности, по рр. Есиль, Нура, Кон превышение опасных отметок происходит исключительно часто – почти раз в два года).

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные выводы:

1. В условиях нестационарности климата, уплотнения населения и инфраструктуры вблизи водных объектов, а также износа гидротехнических сооружений существенно возрастает риск, связанный с наводнениями.

2. Проведены количественные оценки гидрологических экстремумов, характеризующих опасность наводнений, для гидрологических постов Есильского водохозяйственного бассейна. Получены такие результаты: максимальные расходы воды могут превосходить на р. Есиль – 4 тыс. м³/с, на р. Жабай – 1,7 тыс. м³/с; амплитуды уровней воды на р. Есиль превышают 12 м.

3. Получены количественные результаты по максимальной глубине затопления поймы – наибольшие глубины затопления поймы в бассейне р. Есиль наблюдаются на гидрологических постах г. Астана, с. Каменный Карьер, с. Покровка, г. Петропавловск г. Атбасар. Периодичность затопления прибрежной территории происходит один раз в 2 года по р. Есиль, по р. Жабай периодичность составляет один раз в 3-5 лет.

Выводы по пятому разделу.

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные выводы:

1. Количественные оценки гидрологических экстремумов, характеризующих опасность наводнений показали, что максимальные расходы воды могут превосходить на р. Есиль – 4 тыс. м³/с, на р. Жабай – 1,7 тыс. м³/с; амплитуды уровней воды на р. Есиль превышают 12 м.

2. Количественные результаты по максимальной глубине затопления поймы: наибольшие глубины затопления поймы в бассейне р. Есиль наблюдаются на гидрологических постах г. Астана, с. Каменный Карьер, с. Покровка, г. Петропавловск г. Атбасар, периодичность затопления прибрежной территории происходит один раз в 2 года по р. Есиль, по р. Жабай периодичность составляет один раз в 3-5 лет.

6 УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

6.1 Анализ проблем управления водными ресурсами Республики Казахстан

В современном мире нарастает беспокойство в области чрезмерного потребления и загрязнения водных ресурсов. По оценкам экспертов, ежегодно потребности населения планеты в пресноводных ресурсах возрастают в среднем на 1 %, на что оказывают влияние такие факторы, как рост численности населения, экономическое и социальное развитие, а также изменение моделей потребления. Согласно прогнозам экспертов ООН, мировая потребность человечества в пресноводных ресурсах в дальнейшем будет возрастать с теми же темпами до 2050 г. Это негативно скажется на уровне потребления воды, который увеличится на 20-30 %, прежде всего, в результате роста промышленности и сельского хозяйства [111, 112].

Республика Казахстан территориально расположена в зоне так называемого «рискованного земледелия» и по своему климату относится к засушливым. В последние годы в республике сложилась ситуация нехватки потребления воды. Кризис водных ресурсов имеет причины в неэффективном управлении ими. В этой связи одним из актуальных вопросов, связанных с проблемой использования водных ресурсов Казахстана, сегодня является проблема эффективного межнационального управления трансграничными водотоками, так как почти половина водного стока республики формируется на территории соседних государств, а семь из восьми бассейнов являются трансграничными. Следовательно, высокая зависимость водного потенциала Казахстана от других стран, а также масштабное и неконтролируемое загрязнение рек, берущих начало на территории соседних государств, обусловили актуальность исследования проблем межнационального управления водными ресурсами республики.

Управление водными ресурсами Республики Казахстан с 2003 г., согласно Водному кодексу, осуществляется по бассейновому принципу [113]. Для этого на территории республики было выделено восемь речных водохозяйственных бассейнов, представленных на рисунке 14.

Семь из водохозяйственных бассейнов являются трансграничными, вследствие чего Казахстан в значительной степени зависит от водохозяйственной политики сопредельных стран. Среди множества трансграничных рек, расположенных на территории Казахстана, особое значение в межнациональном управлении водными ресурсами имеет Ертис (река Есиль – левобережный приток Ертиса), истоки которого образуются в Китайской Народной Республике. Экономическое значение реки Ертис для Республики Казахстан обусловлено большим количеством проживающего вблизи реки населения, крупными промышленными центрами и аграрной зоной, наличием рядом крупных водохранилищ.

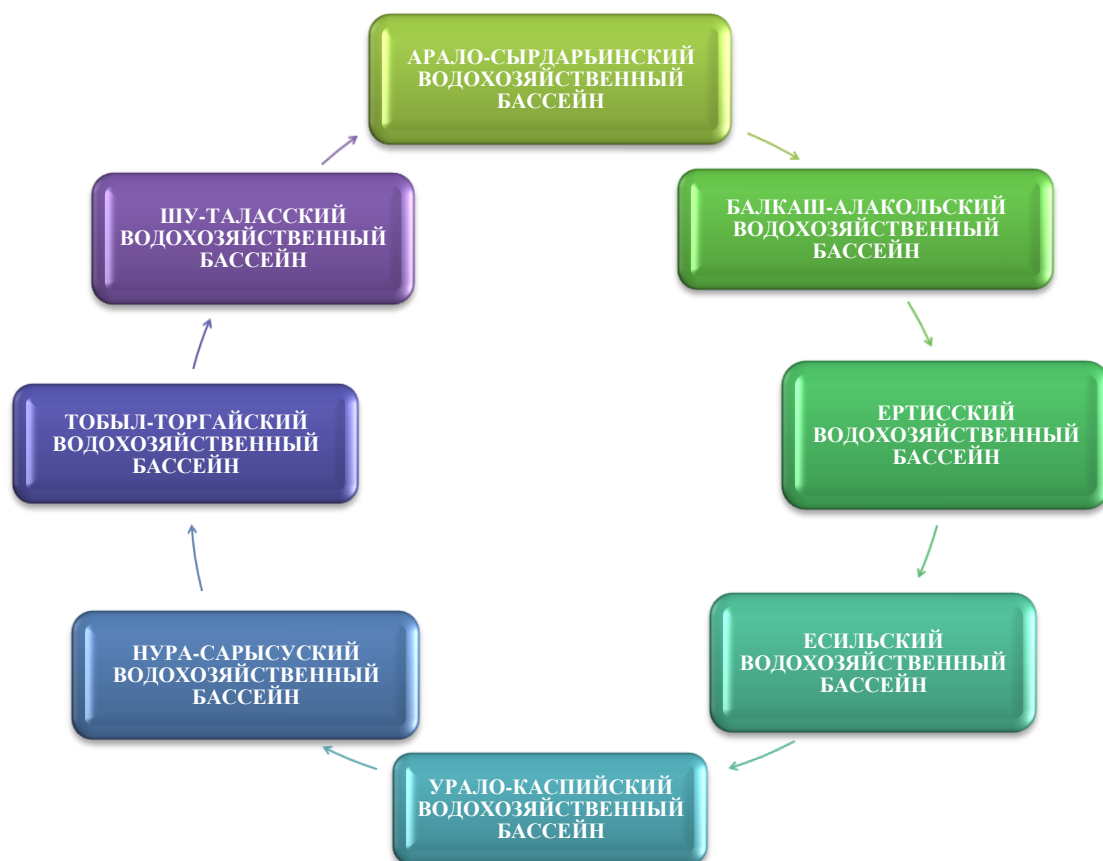


Рисунок 14 – Водохозяйственные бассейны Республики Казахстан [114]

Поверхностные водные ресурсы Республики Казахстан по среднемуголетнему показателю в год равны 102 км^3 (таблица 27).

Таблица 27 – Структура формирования поверхностных водных ресурсов Республики Казахстан по состоянию на 2021 г. [115, 116]

| Территория формирования | Сумма, км^3 | Доля, % |
|------------------------------------|----------------------|---------|
| Республика Казахстан | 54,5 | 53,3 |
| Соседние государства, в том числе: | 47,8 | 46,7 |
| Китай | 18,9 | 18,5 |
| Россия | 7,50 | 7,33 |
| Узбекистан | 14,6 | 14,3 |
| Кыргызстан | 3,00 | 2,93 |
| Возвратные водные ресурсы | 3,80 | 3,71 |
| Всего | 102 | 100 |

Из общей суммы водостока только $54,5 \text{ км}^3$ формируются в Республике Казахстан, тогда как остальной объем – $47,8 \text{ км}^3$ – формируется на территории соседних государств, из них в Китае около $18,9 \text{ км}^3$, в Узбекистане около $14,6 \text{ км}^3$, в Кыргызстане около $3,00 \text{ км}^3$, а в России до $7,50 \text{ км}^3$. Из них $3,70 \text{ км}^3$ – возвратные ресурсы [115]. Следовательно, 46 % водных ресурсов республики формируются на территории других государств.

Это свидетельствует о том, что республика является водозависимой, в результате чего управление водными ресурсами носит трансграничный характер и выходит на первый план в экономической политике государства.

Наиболее зависимыми от притока воды с сопредельных территорий являются южный, юго-восточный и западный регионы страны (Арало-Сырдарьинский, Балкаш-Алакольский, Шу-Таласский и Урало-Каспийский водохозяйственные бассейны). Почти 90 % ресурсов речного стока в Арало-Сырдарьинском речном водохозяйственном бассейне поступает из сопредельных стран Центральной Азии, а в Шу-Таласском речном водохозяйственном бассейне 75 % стока рек формируется на территории Кыргызской Республики, 71 % речного стока в Урало-Каспийском водохозяйственном бассейне и 29 % речного стока Тобыл-Торгайского водохозяйственного бассейна поступает из Российской Федерации. Реки Ертис и Иле примерно на 70 % формируются на территории Китайской Народной Республики [117, 118].

В настоящее время в Казахстане признается угроза дефицита водных ресурсов. За последние четверть века объем стока воды в год сократился на $14,5 \text{ км}^3$, из них $10,0 \text{ км}^3$ – сокращение стока из сопредельных стран.

Основными проблемами указанных водохозяйственных бассейнов Казахстана являются истощение (обмеление) и загрязнение трансграничных рек, из-за их зарегулированности и сброса загрязняющих веществ с территории сопредельных государств. Так, качество воды во многих трансграничных реках по единой системе классификации качества воды относится к IV и V (наихудшему) классу. Одними из приоритетных загрязнителей рек являются тяжелые металлы.

В последние годы не решается проблема увеличения водозабора со стороны Китайской Народной Республики в результате промышленного освоения его западной части. Кроме того, вода, поступающая с территории Китайской Народной Республики на территорию Республики Казахстан, является загрязненной фенолами и нефтепродуктами (прежде всего, это касается главных рек – Ертис и Иле, берущих начало на китайской территории). Для Республики Казахстан это чревато следующими последствиями [119, 120, 121]: нарушение природного баланса, гибель животных; снижение уровня воды, засоление и загрязнение в озерах и каналах; снижение уровня естественной почвенной влажности; ухудшение урожайности; опустынивание пастбищ; снижение объемов водоснабжения, а также качества питьевой воды.

Ситуацию, сложившуюся в Ертисском водохозяйственном бассейне, усугубляет отсутствие трехсторонних соглашений между соседними Казахстану странами – Российской Федерацией и Китайской Народной Республики. Тогда как существующие на сегодняшний день двухсторонние соглашения между Казахстаном и данными странами по отдельности не дают возможность решить проблемы водodelения или водного дефицита [122].

По причине снижения водности трансграничных рек до 86 % от нормы в межвегетационный период, возникла проблема сокращения уровня

наполненности практически всех водохранилищ. Так, объем Бухтарминского водохранилища в 2021 г. составил 30,5 млрд. м³ при проектном объеме 49,6 млрд. м³, что на 6 млрд. м³ меньше 2020 г., а наполняемость составила 62 %. Объем Усть-Каменогорского водохранилища составляет 96 % от проектного объема, Шульбинского водохранилища – 80,4 % от проектного объема, Кировского водохранилища – 54,7 % от проектного объема, Ортокойского водохранилища – 53 %, Тасоткельского водохранилища – 70 % [123].

При увеличении численности населения, площади орошаемых земель до 3 млн. га и подъеме промышленного производства, следует ожидать увеличения водозабора. В случае непринятия мер по улучшению эффективности водопользования преимущественно в орошаемом земледелии, прогнозный объем водопотребления составит 29,7 км³ [124].

Согласно прогнозам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан, представленным в Государственной программе [114], ожидается дальнейшее сокращение поверхностных вод, в частности, с период 2020-2030 гг. они сократятся еще на 1,01 %.

Прогнозный водохозяйственный баланс на перспективу до 2030 г. показывает сокращение внутренних ресурсов речного стока с 102 км³ в 2020 г. до 99 км³, за счет сокращения притока с территории сопредельных стран. Вместе с тем, прогнозируется увеличение объема водопотребления в Республике Казахстан с 24 км³ в 2020 г. до 28,9 км³ в 2030 г. (таблица 28).

Таблица 28 – Прогноз динамики объема потребления водных ресурсов Республики Казахстан к 2030 г. при отсутствии эффективных мер по их управлению, км³ [124]

| Показатель | 2018 г. | 2020 г. | 2025 г. | 2030 г. | Среднее значение |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| Объем национального потребления | 23,6 | 24,0 | 26,5 | 28,9 | 26,6 |

Факторами, влияющими на рост потребления водных ресурсов, являются: рост численности населения в целом, рост численности городского населения, рост промышленного сектора и сельского хозяйства.

Эксперты прогнозируют значительную нехватку водных ресурсов в республике в ближайшие два десятилетия – около 50 % от общей потребности, причинами чего будут рост потребления пресноводных ресурсов, а также снижение уровня обеспеченности ими [125].

Следовательно, водное хозяйство Республики Казахстан характеризуется наличием следующих проблем:

- зависимость от трансграничных стоков с территориями сопредельных государств, прежде всего, Китая и России – в последние годы все больше загрязняющие реки и увеличивающие объем отбора воды;
- значительный износ инфраструктуры;

- низкий уровень автоматизации и цифровизации управления водными ресурсами, из-за чего около 40 % воды для полива переходит в потери;
- низкая эффективность использования трансграничных водных ресурсов;
- низкая эффективность контроля в части реализации мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов.

Межнациональное управление водными ресурсами, согласно требованиям ООН, осуществляется на основе интегрированного управления водными ресурсами, что считается наиболее совершенной практикой для управления природными ресурсами межстранового значения, а именно трансграничными водными ресурсами [126, 127]. Основные принципы интегрированного управления водными ресурсами представлены на рисунке 15.

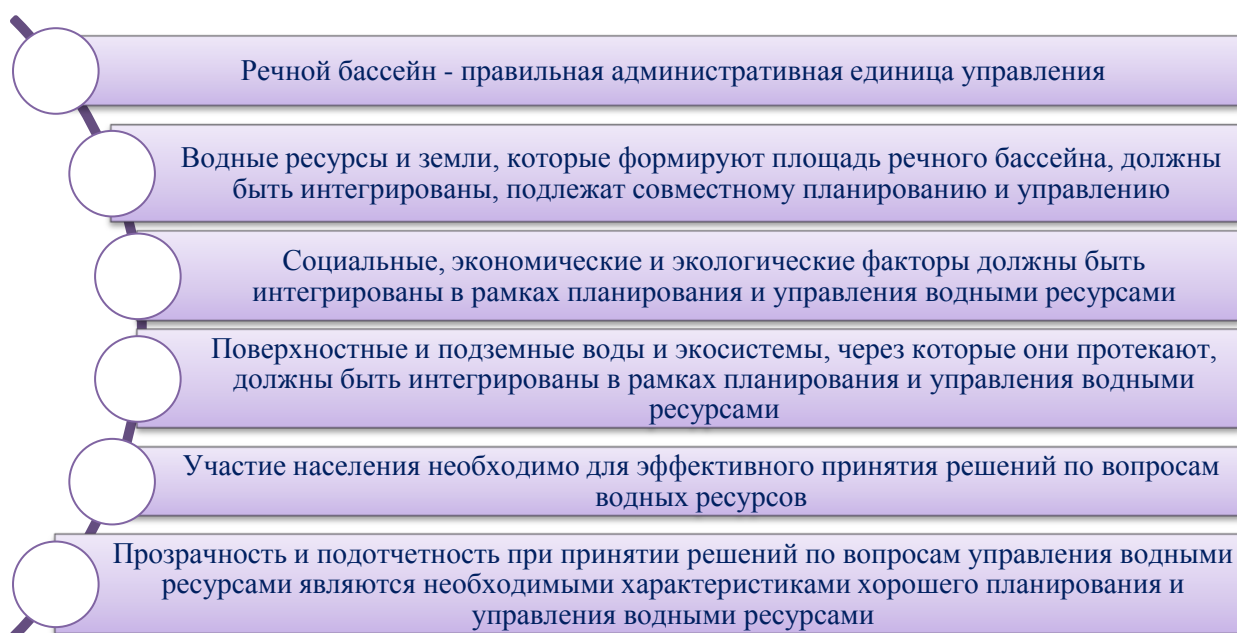


Рисунок 15 – Принципы интегрированного управления водными ресурсами [128, 129]

К решению водных вопросов Республики Казахстан подключена Организация Объединённых Наций в рамках реализации совместного проекта ЕС/ПРООН/ЕЭК ООН «Поддержка Казахстана для перехода к модели зеленой экономики» [111], направленного на проведение оценки и разработку по ее результатам нормативно-правовых рекомендаций в части реализации мероприятий по стимулированию управления водными ресурсами на принципах устойчивого развития.

Интегрированное управление водными ресурсами на территории Республики Казахстан было введено на основании Водного кодекса, а затем – «Национального плана интегрированного управления водными ресурсами и водной эффективности Казахстана», разработанного при поддержке проекта ПРООН, правительства Норвегии, DFID (Великобритания) и методической

поддержке Глобального Водного партнерства в рамках Совместного проекта, указанного выше [111]. В результате был реализован бассейновый принцип управления водными ресурсами. В Казахстане были созданы бассейновые управления, а также советы, которые играют роль консультативного органа и вовлекают в работу местных заинтересованных сторон [113]. Принципы, методы и направления мероприятий в рамках интегрированного межнационального управления трансграничными водными ресурсами Республики Казахстан представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Принципы, методы и направления мероприятий в рамках интегрированного межнационального управления трансграничными водными ресурсами Республики Казахстан [127, 130, 131]

| Показатель | Характеристика |
|---|--|
| Методы управления водными ресурсами | <ul style="list-style-type: none"> – разработка национальной стратегии или иных нормативных актов в части установления межотраслевых квот, мероприятий по сдерживанию роста водных тарифов, распределения целевых субсидий; – осуществление мероприятий по управлению отбором водных ресурсов; – постановка и реализация целей в части соблюдения рационального уровня качества воды; – установление правил по эксплуатации водохранилищ и другие меры управления ими при совместном использовании, в том числе регулирование компенсационных спусков воды |
| Направления мероприятий | <ul style="list-style-type: none"> – меры для предотвращения и ограничения объемов загрязнения трансграничных вод; – меры по соблюдению рационального и справедливого использования трансграничных водных ресурсов для сохранения баланса окружающей среды, сохранения и/или восстановления экосистем |
| Принципы управления водными ресурсами трансграничного характера | <ul style="list-style-type: none"> – принцип принятия необходимых мер предосторожности в части утечки опасных веществ в трансграничные воды; – принцип «загрязнитель платит»; – принцип учета потребностей в воде будущих поколений |

В рамках общей реформы государственного управления Республики Казахстан осуществляется процесс реформирования системы управления водными ресурсами. Последовательно в нормативно-правовую базу и практику управления внедрялись основополагающие принципы интегрированного управления водными ресурсами. При этом некоторые нормы и концептуальные элементы, отраженные в законодательных актах и концепциях развития водохозяйственного сектора экономики республики, до сих пор по различным причинам не были реализованы на практике.

На современном этапе развития Республика Казахстан реализует стратегию, направленную на формирование и создание законодательно-правовой основы перехода республики к модели «зелёной экономики». В

развитии системы управления водными ресурсами все большее значение придается усилению управления на уровне речного бассейна и внедрению экономических механизмов регулирования и охраны водного фонда. К настоящему времени разработаны или дорабатываются проекты интегрированного использования водных ресурсов по всем речным бассейнам.

Однако в настоящее время практически во всех бассейнах трансграничных рек Республики Казахстан отсутствует возможность перехода к полноценному интегрированному управлению водными ресурсами, что обусловлено разногласиями в нормативно-законодательной базе в части управления водными ресурсами, согласно бассейновому принципу [128].

В части совершенствования межнационального сотрудничества в рамках управления трансграничными водными ресурсами Республики Казахстан рекомендовано:

- дальнейшее совершенствование межнациональных нормативно-правовых актов в области совместного использования и реализации мер по защите трансграничных водных ресурсов Республики Казахстан на базе имеющихся соглашений между странами;

- решение вопросов усиления антропогенного воздействия в виде загрязнения трансграничных водных бассейнов, в частности, рек на границе с Китайской Народной Республикой;

- дальнейшее внедрение единых для водохозяйственных бассейнов Казахстана систем учета и отчетности о состоянии водных ресурсов в целях онлайн контроля и мониторинга эффективности их использования;

- дальнейшая работа по разработке и утверждению региональных стратегий в области использования водных ресурсов Казахстана (в том числе и трансграничных) на принципах интегрированного управления водными ресурсами;

- укрепление имеющейся институциональной базы в сфере сотрудничества по управлению водными ресурсами в результате повышения эффективности работы национальных уполномоченных органов Казахстана на уровне каждого бассейна, а также уровне межгосударственных органов;

- использование технологий дистанционного зондирования для оценки состояния водных ресурсов, входящих в трансграничные бассейны Казахстана, на территории сопредельных государств, с целью оценки факторов климатических изменений и антропогенного воздействия;

- применение цифровых технологий для оценки и прогнозирования (моделирования) состояния водных ресурсов на территории Казахстана и на территории сопредельных государств;

- укрепление трудового потенциала кадров бассейновых инспекций в области управления трансграничными водными ресурсами с помощью повышения образовательного уровня, степени информированности и уровня понимания задач переговорного процесса по вопросам регулирования и межнационального использования трансграничных рек;

– усиление состава бассейновых инспекций Республики Казахстан в области кадров, принимающих участие непосредственно в переговорном процессе по подписанию межгосударственных соглашений;

– развитие государственно-частного партнерства в сфере управления водными ресурсами республики.

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные выводы:

1. Практически все поверхностные водные ресурсы Республики Казахстан являются трансграничными, а половина источников формируется на территории соседних стран, что делает ее водозависимой страной и выносит проблемы межнационального управления водными ресурсами на первый план. Согласно прогнозам экспертов, в ближайшие 20 лет может возникнуть значительная (около 50 %) нехватка водных ресурсов, обусловленная увеличением объема их потребления и снижением уровня обеспеченности ими в результате влияния различных внешних факторов.

2. Управление водными ресурсами республики имеет следующие проблемы: значительный износ инфраструктуры; низкий уровень автоматизации и цифровизации управления водными ресурсами, из-за чего около 40 % воды для полива переходит в потери; низкая эффективность использования трансграничных водных ресурсов; низкая эффективность контроля в части реализации мероприятий по рациональному использованию водных ресурсов.

3. Для решения проблем были предложены следующие рекомендации:

– дальнейшее совершенствование межнациональных нормативно-правовых актов в области совместного использования и реализации мер по защите трансграничных водных ресурсов Казахстана, в том числе по решению вопросов загрязнения и сокращения воды в реках;

– дальнейшее внедрение единых для трансграничных бассейнов систем учета и отчетности, а также региональных стратегий в области использования трансграничных водных ресурсов на принципах интегрированного управления водными ресурсами;

– использование технологий дистанционного зондирования для оценки состояния водных ресурсов на территории сопредельных государств и применение цифровых технологий для оценки и прогнозирования (моделирования) состояния водных ресурсов на трансграничных территориях и на территории сопредельных государств;

– укрепление трудового потенциала кадров бассейновых инспекций и усиление их состава;

– развитие государственно-частного партнерства в сфере управления трансграничными водными ресурсами республики.

Данные меры будут способствовать повышению эффективности использования водных ресурсов и способствовать сохранению окружающей среды.

6.2 Использование водных ресурсов Есильского водохозяйственного бассейна в отраслях экономики

Полное и безвозвратное водопотребление. Динамика суммарного водопотребления. Непосредственное изъятие воды из рек, озер, водохранилищ, подземных горизонтов на хозяйственные нужды, использование её для различных целей и сбросы использованных вод обратно в водные объекты является важнейшим фактором воздействия человека на количественные и качественные характеристики природных вод.

Во всех странах мира существуют системы учета использования воды. Основными характеристиками любой системы учета использования вод являются:

- объем водозабора из водного объекта (отдельно из поверхностных водных объектов, и из подземных вод), часто объем водозабора называют полным водопотреблением;

- объем сброса использованных вод или объем водоотведения с обязательными показателями качества воды – это основополагающая характеристика влияния водопотребления на качество природных вод;

- объем безвозвратного водопотребления, представляющий собой разницу между водозабором и объемом воды, поступившей после использования обратно в водные объекты – обычно этот объем отождествляют с объемом воды сброса или водоотведения.

Объем безвозвратного водопотребления, который приводят в процентах от объема полного водопотребления, является важнейшей характеристикой количественной оценки влияния водопотребления на водные ресурсы.

По своей структуре безвозвратное водопотребление может быть разделено на три вида:

- потери на дополнительное испарение за счет солнечной энергии при водоподаче от источника водозабора до места, где вода используется (орошаемое поле, промышленное предприятие и т.д.), и обратно, при сбросах использованной воды в гидрографическую сеть;

- потери воды на испарение на месте использования: при орошении за счет солнечной энергии и при промышленно-коммунальном водопотреблении за счет тепла, используемого на обогрев зданий и выделяемого на предприятиях в ходе технологического процесса;

- потери воды за счет включения ее в состав готовой продукции.

Второй и третий вид потерь практически не зависят от климатических условий и целиком определяются характером использования воды на производстве и в быту. Выполненный анализ структуры безвозвратных потерь по указанному принципу показал, что и для промышленно-коммунального водопотребления большая часть безвозвратных потерь воды приходится на первый вид. Отсюда следует, что объем безвозвратного водопотребления не только в орошении, но и в промышленности, и в коммунальном хозяйстве более значителен для регионов с сухим и жарким климатом.

Для Есильского бассейна получены данные за период с 2005 по 2019 гг. (Комитет водных ресурсов Республики Казахстан) по характеристикам суммарного водопотребления, в том числе по основным водопотребителям: коммунальное хозяйство, промышленность, орошение и сельскохозяйственное водоснабжение [132-135]. В таблице 30 приведено безвозвратное водопотребление в Есильском бассейне за период с 2005 по 2019 гг.

Анализ таблицы показывает, что безвозвратное водопотребление по хозяйственно-питьевому виду использования в Есильском бассейне составляет от 33 до 54 % от суммарного безвозвратного водопотребления, максимальное значение по безвозвратному хозяйственно-питьевому водопотреблению было в 2016 г.

Таблица 30 – Безвозвратное водопотребление (по видам использования) в Есильском бассейне, тыс. м³. (Комитет по водным ресурсам, Республика Казахстан)

| Год | Хозяйственно-питьевые | Производственные | Сельское хозяйство | | | | | Прудово-рыбное хозяйство | Полив зеленых насаждений | Промывка каналов | Прочие нужды | Сброс шахтно-рудничных вод без использования | Итого |
|------|-----------------------|------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------|--------------------------|--------------------------|------------------|--------------|--|--------|
| | | | сельскохозяйственное водоснабжение | орошение регулярное | орошение лиманное | обводнение пастбищ | всего | | | | | | |
| 2005 | 86997 | 51285 | 30234 | 16885 | 13230 | 4103 | 64452 | 789 | 3 | 0 | 674 | 0 | 204201 |
| 2006 | 106489 | 49361 | 31323 | 13467 | 5250 | 414 | 50454 | 285 | 3 | 0 | 839 | 0 | 207432 |
| 2007 | 95199 | 54747 | 33123 | 13385 | 21513 | 378 | 68399 | 219 | 3 | 0 | 1319 | 0 | 219886 |
| 2008 | 106480 | 53948 | 30924 | 8437 | 0 | 160 | 39522 | 341 | 1 | 0 | 1890 | 0 | 202182 |
| 2009 | 101129 | 52375 | 31208 | 8287 | 3680 | 82 | 43256 | 1754 | 1 | 24 | 2374 | 0 | 200913 |
| 2010 | 99633 | 55665 | 29859 | 11047 | 7772 | 80 | 48758 | 546 | 2012 | 0 | 1747 | 0 | 208361 |
| 2011 | 99863 | 66888 | 25102 | 6288 | 1612 | 0 | 33002 | 458 | 2355 | 0 | 1726 | 0 | 204291 |
| 2012 | 100677 | 67241 | 23579 | 7099 | 875 | 0 | 31552 | 334 | 1549 | 0 | 1596 | 0 | 202949 |
| 2013 | 95619 | 67613 | 23054 | 5613 | 2461 | 0 | 31129 | 325 | 4773 | 0 | 1799 | 0 | 201258 |
| 2014 | 104663 | 61914 | 22465 | 6849 | 4041 | 0 | 33355 | 353 | 4704 | 0 | 1832 | 0 | 206821 |
| 2015 | 100693 | 59194 | 20302 | 5691 | 2003 | 0 | 27996 | 503 | 4652 | 0 | 1964 | 0 | 195001 |
| 2016 | 103060 | 59322 | 19553 | 6035 | 1326 | 50 | 26964 | 430 | 455 | 0 | 104 | 1360 | 191694 |
| 2017 | 119962 | 205514 | 11802 | 12079 | 0 | 174 | 24055 | 22 | 251 | 0 | 1242 | 0 | 351046 |
| 2018 | 124124 | 192546 | 5320 | 10561 | 0 | 0 | 15881 | 711 | 12 | 0 | 1089 | 0 | 334363 |
| 2019 | 136695 | 266233 | 4076 | 10532 | 0 | 0 | 14608 | 677 | 25 | 0 | 293 | 0 | 418530 |

Безвозвратное водопотребление по производственному виду использования составляет от 24 до 64 % от суммарного безвозвратного водопотребления, максимальное значение было в 2019 г. Безвозвратное водопотребление (сельское хозяйство) от полного безвозвратного водопотребления составляет до 30 % (максимальное значение наблюдалось в 2005 г.), на рисунке 16 приведены графики безвозвратного водопотребления по видам использования в Есильском бассейне.

Коммунальное водопотребление. Коммунальное водопотребление состоит из двух частей и включает в себя как затраты воды непосредственно

на удовлетворение нужд городского населения (хозяйственно-бытовое водопотребление), так и на общегородские нужды (общегородское и коммерческое водопотребление).

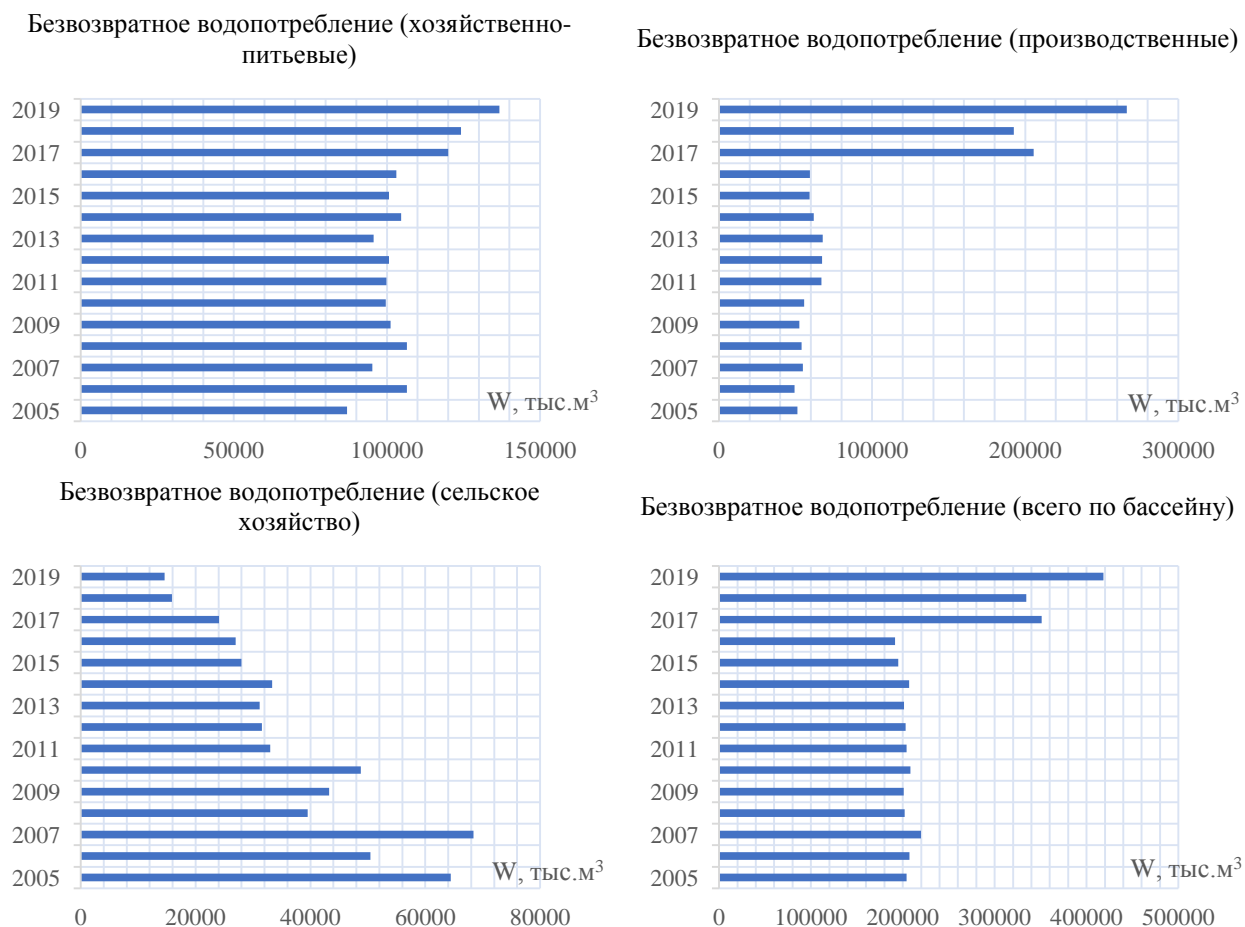


Рисунок 16 – Динамика объемов безвозвратного водопотребления (по видам использования) в Есильском бассейне

Хозяйственно-бытовое водопотребление связано с использованием воды в домашнем хозяйстве на нужды питья, мытья, стирки, полива газонов, садов и огородов, принадлежащих жителям. Общегородское водопотребление включает в себя водозабор на полив улиц и зеленых насаждений, содержание пожарных команд, обеспечение водой всех учреждений города, а также промышленности, непосредственно обеспечивающей нужды городского населения и потребляющей воду высокого качества из городских водопроводов [136].

Объем коммунального водопотребления зависит от числа городских жителей и от степени благоустройства населенных пунктов, т.е. наличия или отсутствия водопроводов, канализации, централизованного горячего водоснабжения, а также от климатических условий. Обычно считается, что для удовлетворения всех личных потребностей человека необходимо 150-200 л/сут., для работы коммунальных предприятий всей сферы обслуживания и поддержания чистоты и порядка в городе – еще 150-200 литров на одного

жителя. Расходование воды сверх указанных величин обычно связано с использованием ее городскими промышленными предприятиями, а также большими потерями в системах водоснабжения.

В различных странах мира разработаны расчетные нормы коммунального водопотребления для населенных пунктов. Обычно они зависят от степени благоустройства городов и климатических условий, для более северных стран нормы водопотребления меньше, для южных стран с жарким, сухим климатом они значительно возрастают.

Городское водопотребление в объемах более 500-600 л/сут. на одного жителя является свидетельством больших потерь воды в системах водоснабжения и соответствующего отношения населения к использованию воды в коммунальном хозяйстве в условиях отсутствия действительной платы за воду. В таблице 31 приведены данные по бытовому водопотреблению в расчете на душу населения в Республике Казахстан (Бюро национальной статистики. Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан).

Таблица 31 – Бытовое водопотребление в расчете на душу населения в Республике Казахстан, (млн. м³/год)

| Год | Коммунальное водоснабжение | | | Самообеспечение | | | Общее потребление воды (коммунальное водоснабжение и самообеспечение) | | |
|------|--|---|--|--|--|--|--|---|--|
| | Потребление воды в коммунальной сфере в стране | Население, подключенное к коммунальному водоснабжению, млн. человек | Потребление воды на душу населения в год, м ³ | Население, не подключенное к коммунальному водоснабжению (самообеспечение), млн. человек | Расчетное потребление воды на душу населения, м ³ | Потребление воды в коммунальной сфере в стране - самообеспечение, м ³ | Общее потребление воды | Общая численность населения, млн. человек | Потребление воды на душу населения в год, м ³ |
| 2010 | 425,3 | 13,5 | 31,5 | 2,8 | 26,1 | 73,1 | 498,4 | 16,3 | 30,6 |
| 2011 | 434,7 | 14,6 | 29,8 | 2,0 | 26,2 | 52,4 | 487,1 | 16,6 | 29,3 |
| 2012 | 468,5 | 14,8 | 31,7 | 2,1 | 27,7 | 58,2 | 526,7 | 16,9 | 31,2 |
| 2013 | 460,0 | 15,2 | 30,3 | 1,9 | 26,9 | 51,1 | 511,1 | 17,1 | 29,9 |
| 2014 | 463,3 | 15,1 | 30,7 | 2,2 | 26,8 | 59,0 | 522,3 | 17,3 | 30,2 |
| 2015 | 467,4 | 14,4 | 32,5 | 3,1 | 26,7 | 82,9 | 550,3 | 17,5 | 31,4 |
| 2016 | 470,4 | 16,2 | 29,0 | 1,6 | 26,4 | 42,3 | 512,7 | 17,8 | 28,8 |
| 2017 | 493,1 | 16,6 | 29,7 | 1,4 | 27,4 | 38,4 | 531,5 | 18,0 | 29,5 |
| 2018 | 516,9 | 17,0 | 30,4 | 1,3 | 28,2 | 36,7 | 553,6 | 18,3 | 30,3 |
| 2019 | 536,1 | 17,3 | 31,0 | 1,2 | 29,0 | 34,8 | 570,9 | 18,5 | 30,9 |
| 2020 | 573,7 | 17,8 | 32,2 | 1,0 | 30,5 | 30,5 | 604,2 | 18,8 | 32,1 |

В некоторых странах мира нормы коммунального водопотребления в городах дифференцированы в зависимости от численности жителей и сферы их основной деятельности. Например, в Японии нормы водопотребления для

малых городов с населением менее 10 тыс. составляют от 150 до 300 л/сут. на одного жителя и увеличиваются от 400 до 560 л/сут. для больших городов с населением более миллиона жителей.

Сегодня, когда потребление воды нужного качества в большинстве городов связано с ее дополнительной обработкой и повторным использованием, основной тенденцией в развитых странах мира является ориентация на экономию воды и снижение удельного водопотребления [137-138], и как регулирующий фактор ученые называют цену на воду, в таблице 32 приведены цены на водопользование в Республике Казахстан.

Таблица 32 – Цены на водопользование в Республике Казахстан. (Бюро национальной статистики. Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан)

| Год | Средние цены и тарифы на платные услуги для населения, тенге/м ³ | | | Цены приобретения на отдельные виды продукции производственно-технического назначения промышленными предприятиями, тенге/Гкал |
|------|---|---------------|-------------|---|
| | Горячая вода | Холодная вода | Канализация | Пар и горячая вода (тепловая энергия) |
| 2015 | 199 | 57 | 37 | 4446 |
| 2016 | 218 | 65 | 43 | 5284 |
| 2017 | 234 | 71 | 46 | 5435 |
| 2018 | 240 | 73 | 48 | 6410 |
| 2019 | 232 | 69 | 48 | 5600 |
| 2020 | 234 | 69 | 47 | 6039 |

В Есильском бассейне на фоне резкого увеличения объема общего водопотребления за период с 2017-2019 гг., объем коммунального водопотребления увеличился, динамика коммунального водопотребления в Есильском бассейне за период с 2005 по 2019 гг. приведена на рисунке 17.

Суммарные объемы воды, используемой на коммунальные нужды в том или ином регионе, стране или бассейне, определяются величиной удельного водопотребления и численностью городского населения. Значительнее сложно найти данные по динамике величин коммунального водопотребления по речным бассейнам, поскольку статистические данные собираются по административным регионам, по отдельным бассейнам такие данные являются результатом специальных исследований.

При расчетах водного баланса, для определения объемов сточных вод и количественной оценки влияния водопотребления на водные ресурсы большое значение имеют величины безвозвратного водопотребления на коммунальные нужды населения и объемы водоотведения. Большая часть забранной воды в городском водоснабжении после использования при эффективно действующей системе канализации возвращается снова (после очистки или без нее) в гидрографическую сеть в виде сточных вод.

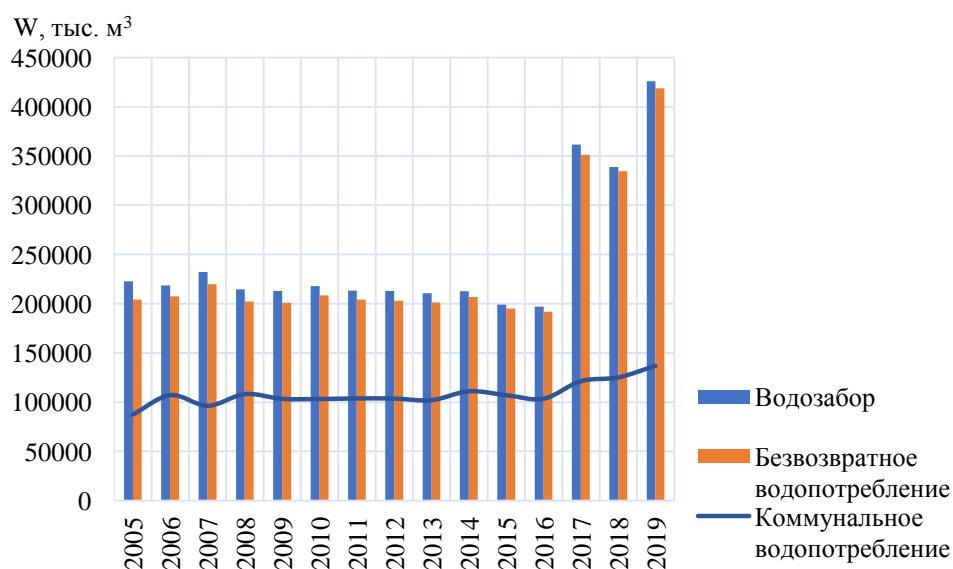


Рисунок 17 – Динамика коммунального водопотребления в Есильском бассейне (водозабор, безвозвратное водопотребление, коммунальное водопотребление)

При этом основная часть безвозвратных потерь складывается из потерь на испарение, при утечках из водопроводной и канализационной сети, при поливах зеленых насаждений, улиц и т.п. Таким образом, в значительной степени зависит от климатических условий: в сухих, жарких районах потери, естественно, больше, чем в холодных и влажных. Безвозвратное водопотребление непосредственно на личные нужды человека невелико по сравнению с потерями воды на испарение.

Очевидно, что величины безвозвратных потерь при коммунальном водопотреблении, выражаемые обычно в процентах от водозабора, в значительной степени зависят от объемов удельного водопотребления на коммунальные нужды. Так, в современных городах с централизованной водопроводной сетью и эффективной системой канализации безвозвратные потери не превышают от 5 до 10 % от суммарного водозабора. Для малых городов с большим фондом индивидуальных застроек, не обеспеченных полностью централизованной канализационной системой, где удельное водопотребление составляет в среднем от 80 до 120 л/сут, безвозвратные потери значительно возрастают и могут достигать от 40 до 60 % от водозабора. При этом наименьшие величины относятся к северным районам, наибольшие – к сухим южным.

Таким образом, величина безвозвратного водопотребления, зависящая от многих факторов, изменяется в больших пределах для отдельных городов, районов, стран. В ГГИ [31] для оценки влияния коммунального водопотребления на годовой сток в основном ориентируются на данные по полному водопотреблению, переходя от них к безвозвратным потерям путем введения коэффициентов, которые зависят от различного рода характеристик водопотребления и климатических условий.

Таким образом, уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления $\Delta U_{ком}$ будет равно:

$$\Delta U_{ком} = K_{ком} \times Q_{взб.ком} \quad (12)$$

где $Q_{взб.ком}$ – объем водозабора на коммунальные нужды; $K_{ком}$ – коэффициент, значения которого зависят от климатических условий и величин водозабора.

Исходя из опыта исследований Государственного гидрологического института (ГГИ) [31, 139-140] на уровень 1985 г., величина коэффициента принималась равной для крупных речных бассейнов в северных районах от 0,10 до 0,15, в южных от 0,20 до 0,30. Учитывая, что за период с 1985 по 2005 гг. величина водозабора на коммунальные нужды изменилась незначительно, указанные значения коэффициентов, по всей видимости, могут быть приняты и для современных оценок. Применяя методику ГГИ для оценки влияния коммунального водопотребления на годовой сток в данной диссертации рассчитано значение $\Delta U_{ком}$ за период с 2005 по 2019 гг. (таблица 33).

Таблица 33 – Уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления в Есильском бассейне

| Год | Водозабор, тыс. м ³ | Водозабор на коммунальные нужды, тыс. м ³ | $\Delta U_{ком}$, тыс. м ³ | % |
|------|--------------------------------|--|--|----|
| 2005 | 222825 | 87674 | 21919 | 10 |
| 2006 | 218466 | 107331 | 32199 | 15 |
| 2007 | 232283 | 96521 | 28956 | 12 |
| 2008 | 214466 | 108371 | 32511 | 15 |
| 2009 | 213072 | 103503 | 31051 | 15 |
| 2010 | 217782 | 103392 | 31018 | 14 |
| 2011 | 213314 | 103944 | 31183 | 15 |
| 2012 | 212889 | 103822 | 31146 | 15 |
| 2013 | 210625 | 102191 | 30657 | 15 |
| 2014 | 212630 | 111199 | 33360 | 16 |
| 2015 | 198994 | 107309 | 32193 | 16 |
| 2016 | 196883 | 103618 | 31085 | 16 |
| 2017 | 361610 | 121455 | 36436 | 10 |
| 2018 | 338846 | 125226 | 37568 | 11 |
| 2019 | 425756 | 137013 | 41104 | 10 |

В Есильском бассейне уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления составило в среднем от 10 до 16 %, максимальное уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления наблюдалось в 2006, 2008-2009, 2011-2016 гг.

Водопотребление промышленностью. Вода в промышленности применяется для охлаждения нагреваемых в процессе производства агрегатов, механизмов, инструментов и т.д. Значительное количество воды используется для поддержания в производственных помещениях и на территории предприятий необходимых санитарно-гигиенических условий, и на удовлетворение потребностей работающего персонала. В качестве

главного водопотребителя в промышленности выступают тепловые и атомные станции, которые требуют большого количества воды для охлаждения агрегатов. Объемы промышленного водопотребления различны не только для отдельных отраслей промышленности, но даже для выпуска одной и той же продукции в зависимости от технологии производственного процесса. Зависят они и от климатических условий. Как правило, в северных районах водопотребление промышленностью значительно меньше, чем в южных районах с высокими температурами воздуха. Главными потребителями воды в промышленности, кроме теплоэнергетики, являются химия и нефтехимия, черная и цветная металлургия, целлюлозно-бумажная промышленность и машиностроение.

Для характеристики водоемкости продукции, выпускаемой промышленностью, обычно используют удельные показатели расхода свежей воды (на 1 тонну готовой продукции, на 1 кВт/ч, на единицу затрат). Так, в черной металлургии на добычу и обогащение 1 тонны руды расходуется в среднем от 2 до 4 м³ свежей воды, на производство 1 тонны чугуна расходуется от 40 до 50 м³, меди до 500 м³.

Особенно большой расход воды требуется для предприятий целлюлозно-бумажной и нефтехимической промышленности: на производство 1 тонны целлюлозы требуется обычно в среднем от 400 до 500 м³, синтетической резины – до 2800 м³, конденсаторной бумаги до 6000 м³ и т.д.

Приведенные величины дают основание предполагать, что в последние два-три десятилетия должно резко увеличиться водопотребление промышленностью, поскольку именно в это время во всем мире резко выросло производство электроэнергии на тепловых и атомных станциях, интенсивно развивается производство синтетических волокон, искусственного каучука, пластмасс, целлюлозы, которые требуют особенно огромных затрат воды.

Основные характеристики промышленного водопотребления – объемы забора свежей воды, безвозвратного водопотребления, водоотведения – в очень большой степени зависят от принятой схемы водоснабжения. Как известно, существуют две основные принципиально различные схемы – прямоточная и оборотная. При прямоточной системе забираемая из источника вода после использования (с очисткой или без очистки) сбрасывается в водотоки. При оборотной системе использования вода охлаждается, очищается и снова поступает в систему водоснабжения. Таким образом, система оборотного водоснабжения исключает сброс отработанных вод обратно в водоемы или водотоки и предусматривает их многократное использование в производстве.

Количество необходимой свежей воды в случае оборотного водоснабжения незначительно и определяется расходом, необходимым для восполнения безвозвратного водопотребления в процессе производства и регенерации, а также для периодической замены воды в оборотных циклах.

Технический прогресс в промышленном водопотреблении с точки зрения рационального использования водных ресурсов состоит не только во все более широко используемом оборотном водоснабжении, но и во внедрении в производство безводных технологий или процессов, значительно сокращающих количество необходимой свежей воды. В тех отраслях промышленности, где основная часть воды используется для охлаждения, важным фактором снижения её расхода является замена водяного охлаждения воздушным. Это может дать уменьшение расхода свежей воды в различных отраслях от 50 до 70 % [141].

Величина безвозвратного водопотребления в промышленности, как правило, составляет незначительную долю от водозабора, но очень сильно колеблется в зависимости от отрасли, характера водоснабжения, технологического процесса, климатических условий, составляя в энергетике всего от 0,5 до 3 % от водозабора. В большинстве отраслей промышленности от 5 до %, достигая в отдельных отраслях от 30 до 40 %. При этом, при прямоточной системе водоснабжения безвозвратное водопотребление, выраженное в процентах от водозабора, существенно меньше, чем при оборотной системе водоснабжения, а забор свежей воды – наоборот.

Развитие промышленного водопотребления является одной из главных причин загрязнения природных вод. Это объясняется:

- во-первых, очень быстрым ростом промышленности;
- во-вторых, особенно интенсивным ростом наиболее водоемких производств (производство искусственных волокон, нефтехимия, целлюлозно-бумажная промышленность);
- в-третьих, бурным развитием теплоэнергетики и строительства атомных станций;
- в-четвертых, – очень малым безвозвратным потреблением воды в промышленности, когда большая часть забранной на нужды промышленности воды после использования сбрасывается в виде сточных вод, очень часто неочищенных, которые загрязняют водные объекты.

Таким образом, динамика промышленного водопотребления для отдельных районов, стран или речных бассейнов находится под влиянием различных тенденций. С одной стороны, объем водопотребления должен увеличиваться в связи с ростом промышленности. С другой стороны – это увеличение не должно быть пропорциональным росту промышленного производства, в связи с тем, что для многих стран, прежде всего высокоразвитых, характерна тенденция перехода на оборотные системы водоснабжения, а во многих отраслях промышленности – на так называемую безводную, или сухую технологию.

Следует отметить, что все современные прогрессивные технологии водообеспечения промышленности требуют очень больших капитальных затрат и, к сожалению, в данное время доступны только для высокоразвитых стран с большими доходами.

Несмотря на интенсивный рост промышленного производства, в последние десятилетия во многих развитых странах мира, отмечается

тенденция к стабилизации и даже к некоторому уменьшению промышленного водопотребления. Это происходит за счет постоянного снижения удельных затрат воды для производства различных видов промышленной продукции, и перехода на оборотное водоснабжения с увеличением циклов повторного использования воды в наиболее водоемких отраслях промышленности.

Например, за 30-летний период расход воды на производство единицы продукции в США уменьшился от 2 до 5 раз, а количество циклов повторного использования воды увеличилось от 20 % до более чем в 2 раза (в зависимости от отраслей промышленности). Естественно, что, несмотря на интенсивный рост промышленного производства, это привело к заметному снижению суммарного промышленного водопотребления в стране – объем промышленного водопотребления сократился на 17 % [142].

Надежная оценка влияния промышленного водопотребления на количественные характеристики гидрологического режима и водных ресурсов регионов и речных бассейнов представляет собой довольно сложную задачу в связи с отсутствием достоверных данных по безвозвратному водопотреблению в промышленности.

В ГГИ для приближенной оценки влияния промышленного (так же, как и коммунального) водопотребления, на сток рек используют более или менее достоверные данные по объемам водозабора; при этом безвозвратное водопотребление определяется приближенно путем ведения коэффициентов, которые зависят от отраслей промышленности, принятой системы водоснабжения и климатических условий.

Применительно к большим регионам и речным бассейнам, где имеют место самые различные отрасли промышленности, изменение годового стока рек (водных ресурсов) ΔU_{np} за счет промышленного водопотребления может быть приближенно оценено по следующим соотношениям:

$$\Delta U_{np} = K_{np} \times Q_{изб. np} \quad (13)$$

где $Q_{изб. np}$ – суммарные водозаборы на нужды промышленности; K_{np} – коэффициент, значения которого на уровень 1980-1990 гг. (когда объем промышленного водопотребления был практически стабильным) может быть принятым $K_{np}=0,08-0,10$ в северных районах и $K_{np}=0,15-0,20$ в южных районах.

Рассчитанные по методике ГГИ величины уменьшения годового стока р. Есиль за счет промышленного водопотребления приведены в таблице 34 за период с 2005 по 2019 гг.

В Есильском бассейне уменьшение среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления составило в среднем от 5 до 10 %, максимальное уменьшение среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления наблюдалось в 2017, 2018, 2019 гг.

Рассчитанные величины уменьшения годового стока р. Есиль за счет промышленного водопотребления составили до 40988 тыс. м³ (2019 г.), или примерно 10 % от водозабора в бассейне.

Что касается оценок безвозвратного водопотребления за период резкого уменьшения промышленного водопотребления в Республике Казахстан после 1990 г., которое произошло в результате обвала промышленного производства, то, по всей вероятности, коэффициент K_{np} в формуле (13) не претерпит существенных изменений.

Таблица 34 – Уменьшение среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления в Есильском бассейне

| Год | Водозабор, тыс. м ³ | Водозабор на промышленные нужды, тыс. м ³ | ΔU_{np} , тыс. м ³ | % |
|------|--------------------------------|--|---------------------------------------|----|
| 2005 | 222825 | 55989 | 8398 | 4 |
| 2006 | 218466 | 53304 | 7996 | 4 |
| 2007 | 232283 | 57992 | 8699 | 4 |
| 2008 | 214466 | 57730 | 8659 | 4 |
| 2009 | 213072 | 56079 | 8412 | 4 |
| 2010 | 217782 | 58038 | 8706 | 4 |
| 2011 | 213314 | 68257 | 10239 | 5 |
| 2012 | 212889 | 70087 | 10513 | 5 |
| 2013 | 210625 | 70447 | 10567 | 5 |
| 2014 | 212630 | 64903 | 9736 | 5 |
| 2015 | 198994 | 61973 | 9296 | 5 |
| 2016 | 196883 | 62943 | 9441 | 5 |
| 2017 | 361610 | 212790 | 31919 | 9 |
| 2018 | 338846 | 196740 | 29511 | 9 |
| 2019 | 425756 | 273252 | 40988 | 10 |

Однако в данном бассейне, начиная с 2017 г. наметился рост промышленного производства и стали сооружаться новые предприятия с современными водосберегающими технологиями использования воды, следовательно, при расчетах на перспективу до 2030 г. необходимо учитывать тенденцию возможного увеличения указанного коэффициента.

Орошение и сельскохозяйственное водоснабжение. В регионах и странах мира с аридным и субаридным климатом, где проживает большая часть населения земли, орошение является основным потребителем пресной воды и главной причиной, обуславливающей в маловодные годы или периоды дефицит водных ресурсов. Развитие орошения здесь, прежде всего, необходимо для обеспечения населения продуктами питания. Несмотря на то, что в настоящее время орошается всего больше 15 % всех обрабатываемых площадей мира, [31] продукция с орошаемых полей составляет в стоимостном выражении более половины всей сельскохозяйственной продукции.

Анализ многочисленных источников – статистических сборников, данных сайта Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан, различных монографий и

научных статей позволяет достаточно надежно оценить динамику орошаемых земель Казахстана [132-135] (таблица 35).

Орошаемые площади по территории Казахстана распределены крайне неравномерно, причем это распределение существенно изменяется во времени, о чем свидетельствуют данные, представленные в таблице 36-38.

С точки зрения оценки влияния орошения на сток рек наибольший интерес представляют данные по распределению орошаемых земель на территории основных речных бассейнов в Казахстане.

Таблица 35 – Динамика площади орошаемых земель по категориям, тыс. га. (Бюро национальной статистики. Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан)

| Год | Категории земель | | | | | | | |
|------|----------------------|--------------------------|--|---|---------------------|---------------------|--------------|---------------|
| | Земли с/х назначения | Земли населенных пунктов | Земли промышленности, транспорта, связи, обороны и иного не с/х назначения | Земли особо охраняемых природных территорий | Земли лесного фонда | Земли водного фонда | Земли запаса | Итого земель |
| 1991 | 2308,4 | 53,9 | 7,2 | 0,2 | 8,4 | 1,0 | 0,4 | 2379,5 |
| 2000 | 1640,2 | 142,5 | 3,8 | 1,2 | 8,9 | 0,4 | 431,3 | 2228,3 |
| 2018 | 1766,5 | 180,1 | 2,6 | 1,3 | 7,7 | 0,2 | 244,7 | 2203,1 |
| 2019 | 1779,4 | 180,4 | 3,0 | 1,1 | 7,4 | 0,2 | 253,1 | 2224,6 |

Следует отметить, что задача надежной оценки площадей орошаемых земель в пределах речных водосборов является далеко не простой, поскольку статистические данные по речным бассейнам, как правило, отсутствуют, и требуется сбор информации по большому числу субъектов за длительный промежуток времени, а это представляет собой немалые трудности, тем более, что некоторые области республики одновременно располагаются на территории нескольких речных бассейнов.

Есильский водохозяйственный бассейн включает в себя часть бассейна реки Есиль в пределах Республики Казахстан. Площадь Есильского водохозяйственного бассейна составляет 237226 км², в том числе Акмолинская область – 122100,8 км², Карагандинская область – 11520,9 км², Костанайская область – 5611,3 км², Северо-Казахстанская область – 97993 км².

Таблица 36 – Динамика площади орошаемых земель по областям Республики Казахстан, тыс. га. (Бюро национальной статистики. Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан)

| Наименование области | 1991 | 2000 | 2018 | 2019 |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Акмолинская | 45,2 | 44,5 | 31,6 | 31,6 |
| Актюбинская | 44,9 | 29,3 | 30,3 | 30,3 |
| Алматинская | 661,0 | 594,9 | 583,1 | 583,5 |
| Атырауская | 44,3 | 44,0 | 21,8 | 21,8 |
| Восточно-Казахстанская | 223,5 | 219,1 | 195,8 | 195,8 |
| Жамбылская | 249,3 | 237,5 | 230,8 | 230,9 |
| Западно-Казахстанская | 66,7 | 55,8 | 55,8 | 55,8 |
| Карагандинская | 96,6 | 89,6 | 93,0 | 93,1 |
| Кызылординская | 286,0 | 277,7 | 250,0 | 251,0 |
| Костанайская | 39,8 | 41,6 | 32,3 | 32,3 |
| Мангистауская | 1,7 | 2,0 | 2,3 | 2,3 |
| Павлодарская | 81,6 | 59,5 | 86,4 | 102,2 |
| Северо-Казахстанская | 35,4 | 22,8 | 17,0 | 17,0 |
| Туркестанская | 495,8 | 500,4 | 545,0 | 548,5 |
| г. Шымкент | - | - | 25,3 | 25,3 |
| г. Алматы | 7,7 | 4,9 | 2,3 | 2,9 |
| г. Астана | - | 4,7 | 0,3 | 0,3 |
| Всего | 2379,5 | 2228,3 | 2203,1 | 2224,6 |

Таблица 37 – Наличие и использование орошаемых земель в 2019 г., тыс. га. (Бюро национальной статистики. Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан)

| Наименование области | Наличие орошаемых земель | Использовалось орошаемых земель | Не использовалось орошаемых земель | В том числе по причинам: | | | |
|------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|---|----------------|
| | | | | засоления, подтопления, заболачивание | водонеобеспеченности | Неисправности оросительной и дренажной сети | Прочие причины |
| Акмолинская | 31,6 | 24,1 | 7,5 | 5,5 | - | - | 2,0 |
| Актюбинская | 30,3 | 19,2 | 11,1 | 1,8 | 0,3 | 3,3 | 5,7 |
| Алматинская | 583,1 | 479,4 | 103,7 | 16,4 | - | 30,4 | 56,9 |
| Атырауская | 21,8 | 7,1 | 14,7 | 2,0 | - | - | 12,7 |
| Восточно-Казахстанская | 195,8 | 94,7 | 101,1 | 18,6 | - | - | 82,5 |
| Жамбылская | 182,4 | 93,4 | 89,0 | - | - | 88,9 | 0,1 |
| Западно-Казахстанская | 55,8 | 6,6 | 49,2 | 7,7 | 0,1 | 23,3 | 18,1 |
| Карагандинская | 93,1 | 20,6 | 72,5 | 9,8 | 0,3 | - | 62,4 |
| Кызылординская | 251,0 | 194,5 | 56,5 | 4,5 | 3,0 | 1,3 | 47,7 |
| Костанайская | 32,3 | 4,6 | 27,7 | 2,4 | - | - | 25,3 |
| Мангистауская | 2,3 | 0,9 | 1,4 | - | - | - | 1,4 |
| Павлодарская | 102,2 | 53,3 | 48,9 | 4,8 | 2,1 | 21,0 | 21,0 |
| Северо-Казахстанская | 17,0 | 1,8 | 15,2 | - | - | - | 15,2 |
| Туркестанская | 548,4 | 486,7 | 61,7 | 15,3 | 15,6 | - | 30,8 |
| Всего | 2147,1 | 1486,9 | 660,2 | 88,8 | 21,4 | 168,2 | 381,8 |

Таблица 38 – Динамика площади орошаемых земель по угодьям, тыс. га. (Бюро национальной статистики. Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан)

| Виды угодий | 1991 | 2000 | 2018 | 2019 |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Пашня | 1969,7 | 1971,3 | 1634,4 | 1665,0 |
| Многолетние насаждения | 112,7 | 93,1 | 89,7 | 91,0 |
| Залежь | 52,2 | 566,5 | 306,5 | 298,9 |
| Сенокосы | 22,9 | 17,8 | 17,0 | 17,0 |
| Пастбища | 123,5 | 109,3 | 97,1 | 94,1 |
| Итого сельскохозяйственных угодий | 2281,0 | 2158,0 | 2144,7 | 2166,0 |
| Прочие угодья | 98,5 | 70,3 | 58,4 | 58,6 |
| Всего орошаемых земель | 2379,5 | 2228,5 | 2203,1 | 2224,6 |

На рисунке 18 представлены данные по динамике орошаемых земель (примерно составляет 10 % от общей площади орошаемых земель по Республике Казахстан) в Есильском бассейне.

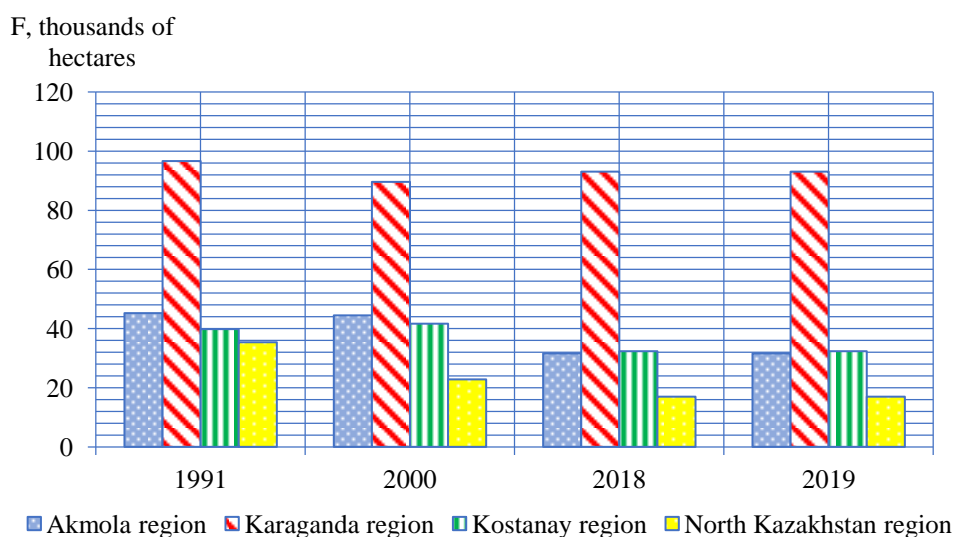


Рисунок 18 – Динамика площади орошаемых земель в Есильском водохозяйственном бассейне

Орошение и обеспечивающие его инженерно-технические мероприятия могут оказывать очень существенное влияние на гидрологический цикл и водные ресурсы рассматриваемого региона. Создание крупных орошаемых массивов, использующих огромные объемы пресной воды, приводят к некоторому изменению климата территории и перераспределению во времени и в пространстве многих элементов водного, теплового и солевого балансов, которые происходят не только в пределах орошаемого массива, но и на прилегающих территориях. Все эти процессы в той или иной степени находят отражение в изменениях различных характеристик речного стока.

Важнейшими с практической точки зрения аспектами влияния орошения на гидрологический режим и водный баланс являются вопросы изменения суммарного стока рек, интенсивность которого зависит от

большого числа естественных и антропогенных факторов и, прежде всего, от масштабов орошения, типов оросительных систем, объемов полного и безвозвратного водопотребления, местных физико-географических условий.

Естественно, влияние орошения на речной сток будет существенно различным для малых рек, питающихся в основном поверхностным стоком, и крупных речных систем, дренирующих все категории подземных вод и имеющих замкнутый водный баланс.

Для малых рек в результате орошения возможен полный разбор воды из русла реки, однако это еще не говорит о полном истощении водных ресурсов территории, так как большая часть воды в результате фильтрации из каналов и в виде возвратных вод с орошаемых полей поступает на пополнение естественных запасов грунтовых вод, дренируемых более крупными реками.

Для крупных рек изменение стока после орошения в основном определяется изменением суммарного испарения в бассейне, которое состоит из испарения на орошаемых землях и непродуктивного испарения на прилегающих территориях. В зависимости от соотношений указанных значений испарения сток реки после орошения может уменьшиться, продолжительное время оставаться неизменным, а в отдельные периоды даже несколько увеличиваться. Последние два варианта, хотя и кажутся, на первый взгляд, маловероятными, однако они, как показывают исследования, реально могут существовать на больших водосборах с разнообразными физико-географическими характеристиками, на которых одновременно с расширением орошаемых площадей осуществляется уничтожение влаголюбивой растительности, уменьшение разливов рек и сокращение продолжительности затопления пойменных участков в результате руслового регулирования [31, 139-140].

В ГГИ при выполнении комплексных научных исследований по влиянию орошаемого земледелия на водные ресурсы, гидрологический режим и качество речных вод были разработаны и практически использованы следующие методы для оценки и прогноза влияния орошения на годовой и сезонный сток рек:

– детальные воднобалансовые методы, основанные на использовании экспериментальных данных по водному балансу орошаемых земель, применимые для малых и средних речных бассейнов, а также для однородных по физико-географическим условиям регионов;

– упрощенные воднобалансовые методы, основанные на использовании укрупненных проектных показателей (гидрометеорологических и гидрогеологических характеристик) для средних и больших речных бассейнов и регионов перспективного развития орошения;

– методы интегральной оценки по наблюдаемому стоку в замыкающем створе и основным стокообразующим факторам за многолетние периоды (для речных бассейнов южных районов, где орошение является основным видом хозяйственной деятельности и практикуется многие десятилетия).

Детальные воднобалансовые методы, разработанные в ГГИ [143], весьма трудоемкие и требуют наличия большого количества экспериментальных данных, которые, как правило, отсутствуют, поэтому они не находят широкого применения на практике.

В зоне традиционного орошения, где орошение является основным видом хозяйственной деятельности, оказывающим преобладающее влияние на водные ресурсы, оценка и прогноз влияния орошения на речной сток достаточно надежно могут быть выполнены на основе статистического анализа многолетних данных наблюдений по стоку в замыкающих створах рек совместно с основными стокообразующими факторами, метеорологическими условиями и динамикой орошаемых площадей в бассейне. В таблице 39 и на рисунке 19 приведены данные по динамике безвозвратного водопотребления на орошение и сельхозводоснабжение в бассейне р. Есиль за период с 2005 по 2019 гг.

Таблица 39 – Динамика безвозвратного водопотребления на орошение и сельхозводоснабжение в бассейне р. Есиль, тыс. м³. (Комитет по водным ресурсам, Республика Казахстан)

| № | Год | Безвозвратное водопотребление | | | | |
|----|------|------------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|
| | | Сельскохозяйственное водоснабжение | Регулярное орошение | Лиманное орошение | Обводнение пастбищ | Сельское хозяйство, всего |
| 1 | 2005 | 30234 | 16885 | 13230 | 4103 | 64452 |
| 2 | 2006 | 31323 | 13467 | 5250 | 414 | 50454 |
| 3 | 2007 | 33123 | 13385 | 21513 | 378 | 68399 |
| 4 | 2008 | 30924 | 8437 | 0 | 160 | 39522 |
| 5 | 2009 | 31208 | 8287 | 3680 | 82 | 43256 |
| 6 | 2010 | 29859 | 11047 | 7772 | 80 | 48758 |
| 7 | 2011 | 25102 | 6288 | 1612 | 0 | 33002 |
| 8 | 2012 | 23579 | 7099 | 875 | 0 | 31552 |
| 9 | 2013 | 23054 | 5613 | 2461 | 0 | 31129 |
| 10 | 2014 | 22465 | 6849 | 4041 | 0 | 33355 |
| 11 | 2015 | 20302 | 5691 | 2003 | 0 | 27996 |
| 12 | 2016 | 19553 | 6035 | 1326 | 50 | 26964 |
| 13 | 2017 | 11802 | 12079 | 0 | 174 | 24055 |
| 14 | 2018 | 5320 | 10561 | 0 | 0 | 15881 |
| 15 | 2019 | 4076 | 10532 | 0 | 0 | 14608 |

Данные, приведенные в таблице 39 и на рисунке 19, показывают, что максимальные величины безвозвратного водопотребления на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение в рассматриваемом бассейне относятся следующие годы: 2007, 2009 гг. (сельхозводоснабжение), 2005, 2010, 2017 гг. (регулярное орошение), 2005, 2007 гг. – лиманное орошение.

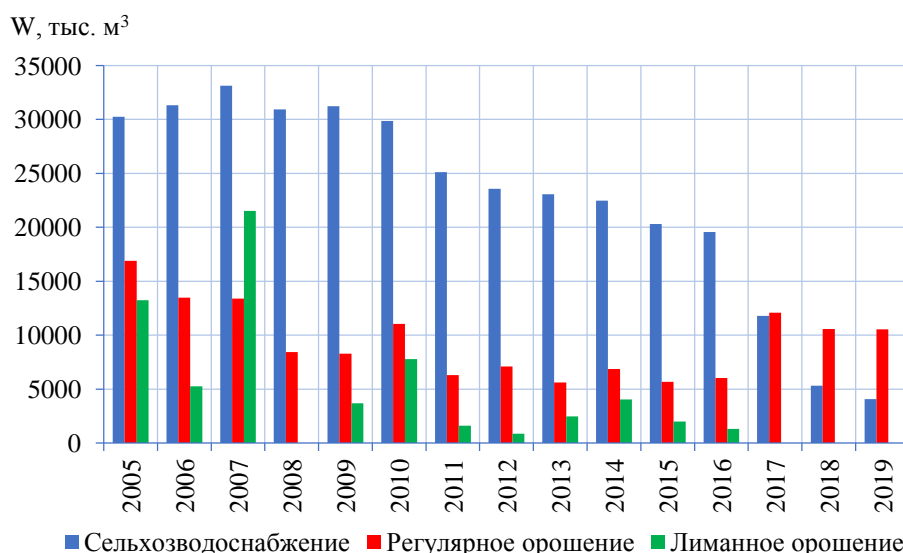


Рисунок 19 – Динамика безвозвратного водопотребления на орошение (регулярное и лиманное) и сельхозводоснабжение в бассейне р. Есиль

Обращает на себя внимание очень резкое уменьшение безвозвратного водопотребления за последние десять лет в рассматриваемом регионе, орошаемые площади в бассейне р. Есиль по сравнению с 1990 г. уменьшились в 1,2 раза (таблица 40). Это объясняется интенсивным сокращением фактически поливаемых земель в бассейне, которое сопровождается уменьшением поливных норм. В сельском хозяйстве, помимо орошения, вода расходуется на хозяйственно-бытовые нужды сельского населения, потребляется домашними животными, затрачивается на полив огородов и благоустройство сельских населенных пунктов. Потребление воды на сельскохозяйственное водоснабжение зависит в основном от численности населения и животных, наличия систем водопроводов и канализации, от климатических условий и изменяется обычно от 200-270 до 20-30 л/сут на человека.

Таблица 40 – Динамика площади орошаемых земель в Есильском водохозяйственном бассейне, тыс. га

| Область | 1991 | 2000 | 2018 | 2019 |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Акмолинская | 45,2 | 44,5 | 31,6 | 31,6 |
| Карагандинская | 96,6 | 89,6 | 93,0 | 93,1 |
| Костанайская | 39,8 | 41,6 | 32,3 | 32,3 |
| Северо-Казахстанская | 35,4 | 22,8 | 17,0 | 17,0 |
| Всего | 217,0 | 198,5 | 173,9 | 174,0 |

В бассейне р. Есиль наблюдается сокращение безвозвратного водопотребления на сельхозводоснабжение, значительное сокращение обусловлено резким уменьшением поголовья скота, сокращением численности сельского населения и переводом значительной части сельскохозяйственных водопроводов в систему жилищно-коммунального

хозяйства. Безвозвратные потери, определяемые в процентах от водозабора, как и в коммунальном водопотреблении, зависят, прежде всего, от объема водозабора и климатических условий. При водопотреблении в 100-200 л/сут на человека безвозвратные потери воды обычно не превышают 15-30 % от водозабора (20-50 л/сут), в то время как при малых водозаборах 20-50 л/сут они могут составить до 70-100 %.

Во всех исследованиях по оценке динамики безвозвратного водопотребления по речным бассейнам, величины сельскохозяйственного водоснабжения не выделяются отдельно, а учитываются совместно с водопотреблением на орошаемое земледелие.

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные выводы:

1. Безвозвратное водопотребление по хозяйственно-питьевому виду использования в Есильском бассейне составляет от 33 до 54 % от суммарного безвозвратного водопотребления, максимальное значение по безвозвратному хозяйственно-питьевому водопотреблению было в 2016 г. Безвозвратное водопотребление по производственному виду использования составляет от 24 до 64 % от суммарного безвозвратного водопотребления, максимальное значение было в 2019 г. Безвозвратное водопотребление (сельское хозяйство) от полного безвозвратного водопотребления составляет до 30 % (максимальное значение наблюдалось в 2005 г.).

2. В Есильском бассейне на фоне резкого увеличения объема общего водопотребления за период с 2017-2019 гг., объем коммунального водопотребления увеличился. Применяя методику ГГИ для оценки влияния коммунального водопотребления на годовой сток, в данной диссертации рассчитано значение уменьшения среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления за период с 2005 по 2019 гг. Уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления составило в среднем от 10 до 16 %, максимальное уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления наблюдалось в 2006, 2008-2009, 2011-2016 гг.

3. В Есильском бассейне уменьшение среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления составило в среднем от 5 до 10 %, максимальное уменьшение среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления наблюдалось в 2017, 2018, 2019 гг. Рассчитанные величины уменьшения годового стока р. Есиль за счет промышленного водопотребления составили до 40988 тыс. м³ (2019 г.), или примерно 10 % от водозабора в бассейне. В данном бассейне, начиная с 2017 г. наметился рост промышленного производства и стали сооружаться новые предприятия с современными водосберегающими технологиями использования воды, следовательно, при расчетах на перспективу до 2030 г. необходимо учитывать тенденцию возможного уменьшения среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления.

4. К максимальным величинам безвозвратного водопотребления на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение в рассматриваемом

бассейне относятся следующие годы: 2007, 2009 гг. (сельхозводоснабжение), 2005, 2010, 2017 гг. (регулярное орошение), 2005, 2007 гг. – лиманное орошение. Обращает на себя внимание очень резкое уменьшение безвозвратного водопотребления за последние десять лет в рассматриваемом регионе, орошаемые площади в бассейне р. Есиль по сравнению с 1990 г. уменьшились в 1,2 раза. Это объясняется интенсивным сокращением фактически поливаемых земель в бассейне, которое сопровождается уменьшением поливных норм.

6.3 Рекомендации по управлению водными ресурсами рассматриваемой территории

Ключевая концепция управления водными ресурсами. Концепция водной безопасности выражает главную цель управления водными ресурсами, которая состоит в улучшении качества жизни для всех.

Водная безопасность является отправной точкой для переговоров по сложным вопросам распределения ограниченных водных ресурсов среди многих конкурирующих, и часто противоречивых потребностей. Мир, в котором обеспечена водная безопасность – это мир, где каждый человек имеет доступ к необходимому количеству безопасной, доступной и чистой воды для здорового и продуктивного образа жизни и где общины защищены от наводнений, засух и заболеваний, передаваемых через воду [144-147].

Реализация концепции водной безопасности означает определение ее различных параметров, установку целевых показателей, и поиск мер для достижения этих целей. Повышение водной урвня водной безопасности лежит в следующем:

- обеспечение наличия достаточных и надежных водных ресурсов приемлемого качества для предоставления услуг водоснабжения для всех видов социально-экономической деятельности экологически устойчивым способом;

- снижение рисков, связанных с водой, таких как наводнения, засухи и загрязнения;

- решение конфликтов, которые могут возникнуть в связи со спорами по поводу совместных водных ресурсов, особенно в ситуациях растущего стресса, и превращение их в беспроигрышные решения.

Формулирование параметров водной безопасности. Водная безопасность касается не только наличия достаточного количества воды. Она включает в себя все вопросы, связанные с водой. Водная безопасность решает вопросы управления водными ресурсами, когда их «слишком мало», «слишком много», и они «слишком грязные».

Речь идет о смягчении связанных с водой рисков, таких как наводнения и засухи, урегулировании конфликтов, возникающих из споров по поводу совместных водных ресурсов, и снятия напряжения между различными заинтересованными сторонами, которые конкурируют за ограниченный ресурс. Вода признана в качестве главного принципа «зеленой» экономики.

Она имеет решающее значение для устойчивого управления природными ресурсами и вплетена во все аспекты развития:

- сокращение бедности, обеспечение продовольственной безопасности и здравоохранение;

- в процессы обеспечения устойчивого экономического роста в сельском хозяйстве, промышленности и энергетике.

Водная безопасность имеет три ключевых аспекта – социальная справедливость, экологическая устойчивость и экономическая эффективность.

Экономический аспект:

- повышение продуктивности воды и ее сбережение во всех секторах, использующих воду;

- совместное использование экономических, социальных и экологических выгод в управлении трансграничных рек, озер и водоносных горизонтов.

Социальный аспект:

- обеспечение равноправного доступа к водным услугам и ресурсам для всех через тщательно проработанные нормативно-правовые базы на всех уровнях;

- формирование устойчивости сообществ перед лицом экстремальных явлений посредством проведения «мягких» и «твердых» мер.

Экологический аспект:

- управление водными ресурсами на устойчивой основе в рамках «зеленой» экономики;

- восстановление экосистемных услуг в бассейнах рек для улучшения здоровья рек.

Есть два подхода к решению вопроса водной безопасности. Одним из них является подход развития, направленный на повышение водной безопасности в течение долгого времени, данный подход стремится к достижению результатов, в виде целей и задач, через сочетание реформ и инвестиционных проектов. Второй подход, основанный на оценке рисков, стремится управлять рисками и снизить уязвимость перед процессами, возникающими в результате изменчивости климата и связанных с водой бедствиями. Два подхода дополняют друг друга, и их необходимо осуществлять одновременно и сбалансировано.

Подход развития может сформулировать водную безопасность различными способами: от узкого дисциплинарного или с акцентом на «особый интерес», до широкого, комплексного, и всеобъемлющего. Узкий дисциплинарный подход обоснован, и даже предпочтителен в некоторых ситуациях, так как он акцентирует внимание на основных, важнейших вопросах водной безопасности для конкретной страны или территории (таблица 41) [144-147].

Таблица 41 – Узкое дисциплинарное формулирование водной безопасности (отдельные примеры)

| Дисциплина | Фокус определения водной безопасности |
|---|--|
| Сельское хозяйство | – ресурс сельскохозяйственного производства и продовольственной безопасности |
| Инжиниринг | – защита от опасностей, связанных с водой (наводнения, засухи, загрязнение); – гарантия поставок (процент удовлетворенного спроса) |
| Экология | – доступ к водным функциям и услугам для человека и окружающей среды; – доступность воды с точки зрения качества и количества; – минимизация последствий гидрологической изменчивости |
| Рыбное хозяйство, геология, гидрология | – гидрологическая изменчивость (подземных вод); – безопасность всего гидрологического цикла |
| Здравоохранение | – гарантия поставок и доступа к безопасной воде; – профилактика и оценка загрязнения воды в системах распределения |
| Антропология, экономика, география, история, право, менеджмент, политология | – безопасность инфраструктуры питьевого водоснабжения; – ресурс производства продуктов питания, здоровья, благополучие человека; – минимизация (бытовой) уязвимости к гидрологической изменчивости |
| Политика | – междисциплинарные связи (продовольственная, климатическая, энергетическая, экономическая и человеческая безопасность); – устойчивое развитие; – защита от опасностей, связанных с водой; – охрана водных систем и от наводнений и засух; – устойчивое развитие водных ресурсов для обеспечения доступа к водным функциям и услугам |
| Водные ресурсы | – нехватка воды; – гарантии поставок (управление спросом); – «зеленая» водная безопасность |

Подход к водной безопасности на основе оценки рисков рассматривает вопросы того, как общество справляется с изменчивостью. Осадки, в частности, могут быть непредсказуемы и сильно варьируются. Всегда будут засушливые и многоводные годы, и в течение этих лет будут засушливые и влажные периоды. Многие общества справляются с изменчивостью, выращивая богарные культуры в течение влажных периодов, инвестируя в орошение, а также путем создания водохранилищ многолетнего регулирования для обеспечения питьевого водоснабжения городов. Независимо от того, какие шаги предпринимаются, не представляется возможным устранить все риски, связанные с водой. Это может быть технически возможным, но может быть слишком дорогостоящим:

– в сельском хозяйстве 20 % риск (1 раз в 5 лет) часто считается приемлемым;

– проекты городских систем питьевого водоснабжения считают приемлемым гораздо более низкий уровень риска (например, 1 день в течение 5 лет).

Подход на основе оценки риска к вопросу водной безопасности обычно состоит из трех этапов: I – определение рисков; II – постановка целей; III – управление рисками. Различные структуры применяют этот подход [145, 148, 149]. Основная задача состоит в определении на стадии рисков, которые являются приемлемыми, терпимыми, или невыносимыми.

В то время как «текущие» риски изменчивости климата достаточно хорошо известны из статистического анализа исторических записей, «будущие» риски неизвестны. Эта неопределенность относится не только к изменению климата и социально-экономическому развитию, но и перспективам общества относительно того, что является приемлемым и терпимым. Перспективы могут изменяться, в зависимости от социально-экономических условий. Два вопроса заслуживают особого внимания в подходе, основанном на оценке риска.

Во-первых, некоторые страны с низким уровнем дохода являются весьма уязвимыми перед лицом связанных с водой бедствий и плохо обеспечены водными ресурсами. В таких странах, достижения экономического роста могут быть повторно обращены вспять в порочном круге засух и наводнений. Чтобы предотвратить эти обратные процессы, страны должны снизить риски и достичь минимального (порогового) уровня водной безопасности. Это может означать объединение инвестиции в инфраструктуру с улучшением руководства с целью направить свою экономику на более устойчивый путь роста.

Второй вопрос гармонизации точек зрения на риски государственного и частного секторов. Частные компании все чаще признают необходимость партнерств в городах и речных бассейнах в целях управления их краткосрочными, среднесрочными и долгосрочными рисками на основе интегрированного подхода. Интегрированный подход к управлению водными ресурсами помогает устойчиво и сбалансировано управлять и развивать водные ресурсы, учитывая социальные, экономические и природоохранные интересы.

С помощью интегрированного подхода координируется управление водными ресурсами в различных секторах экономики или заинтересованными группами в различных масштабах, от местного до межгосударственного уровня. Он подчеркивает необходимость включения в процессы разработки национальной политики и законодательной базы, учреждая более совершенную систему управления и создавая эффективные институциональные и регулирующие структуры, необходимые для выработки более справедливых и устойчивых решений. Набор инструментов, таких как социальная и экологическая оценки, экономические показатели и системы мониторинга, сбора и обмена информацией, поддерживают этот процесс.

Ключевые цели управления водными ресурсами могут быть сформулированы для следующих главных областей:

– в международном контексте водные ресурсы должны управляться с соблюдением международных соглашений, конвенций, глобальных ценностей и хорошего добрососедства, что обеспечивает равноправное совместное использование водных ресурсов и выгод от трансграничных водотоков;

– в национальном контексте водные ресурсы должны управляться, обеспечивая достижение национальных целей развития, таких как борьба с бедностью, целей развития тысячелетия и отраслевых целей в производстве продуктов питания, энергетике, промышленности и защите окружающей среды;

– в контексте нужд населения и экосистем водные ресурсы должны управляться таким способом, чтобы они были доступными для каждого, удовлетворяя основным потребностям людей и экосистем, эти потребности населения и экологические требования должны обладать приоритетом при распределении водных ресурсов;

– в контексте управленческих принципов наиболее важные принципы включают децентрализацию обязанностей до самого низкого уровня, участие общественности в управлении и процессе принятия решений, включая участие женщин, совместное управление (межведомственное и различных агентств) и управление в границах гидрологических единиц (бассейны рек);

– в контексте финансовой устойчивости управление водными ресурсами выигрывает от полного возмещения издержек производства в пределах системы управления, при этом пользователи и загрязнители воды оплачивают услуги.

Проблемы управления водными ресурсами в конкретной стране определяют, какие инструменты управления являются наиболее приемлемыми, и где их усилия должны быть сконцентрированы. Такие проблемы, как риски наводнения, дефицит воды, загрязнение, истощение подземных вод, конфликты между пользователями в верхнем или нижнем течении, эрозия и заиление все они требуют специального сочетания инструментальных средств управления, которое будет эффективно использовано.

Ключевыми целями в контексте инструментальных средств управления являются:

– создание гидрологических и гидрогеологических служб, соответствующих конкретному состоянию водных ресурсов и ключевым проблемам управления водными ресурсами;

– сбор информации по водным ресурсам, основанной на мониторинге и оценке состояния водных ресурсов, которая, в случае необходимости, дополняется данными моделирования и используется для повышения информированности общественности;

– разработка механизма водораспределения, разрешительной системы на забор поверхностных и подземных вод и сбросы сточных вод и связанных баз данных;

– разработка стратегии и структур планирования, и подготовка специалистов в области оценки рисков, проведения экологической, социальной и экономической оценок;

– подготовка специалистов по управлению спросом и использованию цен и стоимости для повышения уровня эффективности использования и справедливости доступа к ресурсам;

– развитие людских ресурсов и создание потенциала для управления водными ресурсами и решения институциональных проблем.

Проблема управления водными ресурсами относится к классу многоуровневых и оптимизационных задач, где необходимо использование эколого-экономических критерий [150]. Задачи подобного рода базируются на информации и закономерностях пространственно-временных колебаний стока рек и формах его использования (пространственно-временные колебания стока рек рассмотрены во 2 разделе диссертации).

Особую сложность проблема управления поверхностными водными ресурсами приобретает в условиях нестационарности стокового процесса, возникающие в связи с прямым воздействием хозяйственной деятельности на сток рек и из-за последствий антропогенных изменений климата (рассмотрено в 4 разделе диссертации).

Для Есильского водохозяйственного бассейна рекомендуется разработка основных положений концепции управления поверхностными водными ресурсами в условиях нестационарности климата и стока – в качестве основного критерия, например, можно принять надежность водоснабжения (расчетная обеспеченность). Согласно исследованиям [151] концепция управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности должна включать следующие блоки:

– анализ исходной информации по стоку рек (оценка однородности исходной информации, содержащейся в рядах наблюдений за стоком: стоковые характеристики рек Есильского водохозяйственного бассейна рассмотрены в 3 разделе диссертации);

– выбор стоковой модели, определение сценариев модификации, установление характеристик модифицированного стока (ряды наблюдений с минимальным антропогенным воздействием: изменение нагрузки на водные ресурсы Есильского водохозяйственного бассейна под влиянием климатических и антропогенных факторов рассмотрены в 4 разделе диссертации);

– стратегия управления при регулировании речного стока.

В процессе антропогенного воздействия может происходить как уменьшение, так и увеличение стока: первое из них (уменьшение) является более сложным в методическом отношении и более важным с экономической точки зрения, поэтому сценариям изъятия в дальнейших исследованиях необходимо уделить предпочтение.

Разработка данной концепции в условиях Есильского водохозяйственного бассейна даст возможность улучшить качество управления организациям, принимающим решения в области водохозяйственного природообустройства, что в конечном итоге повысит безопасность водопользования.

Таким образом резюмируя все вышесказанное для решения проблем и для повышения эффективности использования водных ресурсов в Есильском водохозяйственном бассейне, были предложены следующие рекомендации:

- дальнейшее совершенствование нормативно-правовых актов в области использования и реализации мер по защите водных ресурсов рассматриваемого бассейна, в том числе по решению вопросов загрязнения и сокращения воды в реках;

- разработка концепции управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности климата и стока;

- обеспечение устойчивого экономического роста в сельском хозяйстве, промышленности и энергетике (водосберегающие меры; эффективное использование воды; совершенствование технологий по утилизации и повторному использованию сточных вод и т.д.);

- использование технологий дистанционного зондирования для оценки состояния водных ресурсов на территории Есильского водохозяйственного бассейна и применение цифровых технологий для оценки и прогнозирования (моделирования) состояния водных ресурсов на рассматриваемой территории;

- развитие государственно-частного партнерства в сфере управления водными ресурсами рассматриваемого водохозяйственного бассейна.

Выводы по шестому разделу.

В результате проведенных научных исследований были получены следующие основные выводы:

1. Безвозвратное водопотребление по хозяйственно-питьевому виду использования в Есильском бассейне составляет от 33 до 54 % от суммарного безвозвратного водопотребления. Безвозвратное водопотребление по производственному виду использования составляет от 24 до 64 % от суммарного безвозвратного водопотребления.

2. Уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления составило в среднем от 10 до 16 %.

3. В Есильском бассейне уменьшение среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления составило в среднем от 5 до 10 %.

4. Для решения проблем и для повышения эффективности использования водных ресурсов в Есильском водохозяйственном бассейне, были предложены рекомендации (дальнейшее совершенствование нормативно-правовых актов; разработка концепции управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности климата и стока; обеспечение устойчивого экономического роста в сельском хозяйстве, промышленности и энергетике).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значение воды в жизни общества сложно переоценить, поскольку количество и качество водных ресурсов определяет все виды хозяйственной, культурной, социальной и экологической деятельности человека. В результате научных исследований произведены следующие работы и получены следующие результаты:

1. Для целостного понимания всех особенностей рассматриваемого региона была описана краткая характеристика природных условий формирования речного стока и особенностей гидрологического режима рек Есильского водохозяйственного бассейна (строение поверхности, климатические факторы формирования стока, условия и факторы формирования снежного покрова, гидрографическая сеть и гидрологическая изученность территории). В Есильском водохозяйственном бассейне установлена отличительная черта поверхности рассматриваемой территории – большое количество плоских бессточных понижений, имеющих характер степных блюдеч, диаметром от 100 до 1000 м, при глубине от 1-2 м до 4-5 м.

Поверхностный сток формируется главным образом за счет талых снеговых вод. Повышение температуры приземного воздуха холодного периода происходило со скоростью 0,5 °С за каждые 10 лет. Характерной особенностью изученности речного стока рассматриваемой территории является кратковременность наблюдений на большинстве постов и неравномерность их размещения по территории. Исходя из вышеизложенного, гидрологическая изученность рассматриваемого района недостаточна.

2. Проведенные исследования выявили цикличность стока в реках, принадлежащих Есильскому водохозяйственному бассейну, с периодом колебаний от 15 до 25 лет. Для рек, входящих в состав Есильского водохозяйственного бассейна, выявлена выраженная тенденция к формированию группировок многоводных и маловодных лет. Вероятность того, что маловодный год следует за многоводным, составляет 50%, в то время как за маловодным годом маловодный год наступает с вероятностью 55%. Напротив, вероятность того, что многоводный год следует за другим многоводным, на реке Есиль составляет всего 14%, и за маловодным годом вероятность наступления многоводного года составляет 30%. Эти результаты указывают на сложную и цикличную динамику гидрологического режима в регионе [153].

3. По выбранным методикам был восстановлен сток рек, с пропусками данных наблюдений, были определены основные гидрологические характеристики рек Есильского водохозяйственного бассейна (для многолетнего периода 1933-2019 гг., и современного периода 1974-2019 гг.).

4. Результаты расчетов позволили оценить внутригодовое распределение стока, оценить влияние водохранилищ на речной сток, и оценить изменение нагрузки на водные ресурсы под влиянием климатических и антропогенных факторов в рассматриваемом регионе. Из

анализа изменения стока и его внутригодового распределения стока, очевидно, что гидрологический режим р. Есиль претерпел серьезные изменения на большей своей части. В верхнем течении р. Есиль наиболее заметно снижение весеннего стока. В нижнем течении реки в створе г. Петропавловск весенний сток за период с нарушенным режимом намного выше весеннего стока за естественный период, повышение сезонного стока, особенно зимнего стока, отмечается в маловодные годы 95 % обеспеченности.

Увеличение коэффициента естественной зарегулированности стока, который выражает комплексное влияние физико-географических факторов на внутригодовое распределение стока сопровождается существенным уменьшением стока за половодье и со значимым увеличением меженного стока за зимний и летний периоды. В результате увеличения коэффициента естественной зарегулированности стока зимний сток р. Есиль в среднем течении увеличился в два-три раза.

Анализ результатов оценки влияния на сток объемов заполнения водохранилищ выявил, что хозяйственная деятельность с 1974 г. по 2019 г. обусловила уменьшение стока в створе р. Есиль – г. Астана в средние по водности годы (50 % обеспеченности) на 30 %, а в замыкающем створе р. Есиль – г. Петропавловск уменьшение стока составляет до 7 %.

Выявленные тенденции изменения нагрузки на водные ресурсы под влиянием климатических и антропогенных факторов показывают, что в период зимней межени в Есильском водохозяйственном бассейне водные ресурсы подвергаются критической сильной нагрузке V категории. Острая нехватка водных ресурсов становится лимитирующим фактором развития экономики и улучшения благосостояния населения. Территория Есильского водохозяйственного бассейна уже имеет высокую нагрузку на водные ресурсы, требуется особенное внимание и при дальнейшем освоении территории рекомендуется внедрение эффективных водосберегающих технологий, необходимо ограничение заборов воды из природных объектов.

5. Результаты оценки риска наводнений позволили выявить количественные оценки гидрологических экстремумов, характеризующих опасность наводнений они показали, что максимальные расходы воды могут превосходить на р. Есиль – 4 тыс. м³/с, на р. Жабай – 1,7 тыс. м³/с; амплитуды уровней воды на р. Есиль превышают 12 м. Были получены количественные результаты по максимальной глубине затопления поймы: наибольшие глубины затопления поймы в бассейне р. Есиль наблюдаются на гидрологических постах г. Астана, с. Каменный Карьер, с. Покровка, г. Петропавловск г. Атбасар, выявлено, что периодичность затопления прибрежной территории происходит один раз в 2 года по р. Есиль, по р. Жабай периодичность составляет один раз в 3-5 лет.

6. Результаты анализа использования водных ресурсов Есильского водохозяйственного бассейна в отраслях экономики позволили выявить следующее: безвозвратное водопотребление по хозяйственно-питьевому виду использования в Есильском бассейне составляет от 33 до 54 % от суммарного

безвозвратного водопотребления; безвозвратное водопотребление по производственному виду использования составляет от 24 до 64 % от суммарного безвозвратного водопотребления; уменьшение среднегодового стока рек за счет коммунального водопотребления составило в среднем от 10 до 16 %; в Есильском бассейне уменьшение среднегодового стока рек за счет промышленного водопотребления составило в среднем от 5 до 10 %.

В завершении диссертационной работы для решения проблем и для повышения эффективности использования водных ресурсов в Есильском водохозяйственном бассейне, были предложены следующие рекомендации:

- дальнейшее совершенствование нормативно-правовых актов в области использования и реализации мер по защите водных ресурсов рассматриваемого бассейна, в том числе по решению вопросов загрязнения и сокращения воды в реках;

- разработка концепции управления поверхностными водными ресурсами для условий нестационарности климата и стока;

- обеспечение устойчивого экономического роста в сельском хозяйстве, промышленности и энергетике (водосберегающие меры; эффективное использование воды; совершенствование технологий по утилизации и повторному использованию сточных вод и т.д.);

- использование технологий дистанционного зондирования для оценки состояния водных ресурсов на территории Есильского водохозяйственного бассейна и применение цифровых технологий для оценки и прогнозирования (моделирования) состояния водных ресурсов на рассматриваемой территории;

- развитие государственно-частного партнерства в сфере управления водными ресурсами рассматриваемого водохозяйственного бассейна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, – 2006. – 221 с.
2. Бекниязов М.К. Опыт управления водными ресурсами в развитых странах. Международный научный комплекс «Астана». 2017. Режим доступа: <http://isca.kz/ru/pubs-ru/analytics-ru/2361>
3. Falkenmark M., Wang-Erlandsson L., Rockström J. Understanding of water resilience in the Anthropocene // Journal of Hydrology. 2019. № 2. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2018.100009>.
4. WWDR. 2019. The United Nations World Water Development Report 10. Leaving No One Behind // World Water Assessment Programme (WWAP). https://www.unwater.org/publication_categories/world-waterdevelopment-report/.
5. Mahmoud Abu-Zeid, Shiklomanov I.A. Water resources as a challenge of the twenty-first century. Tenth WMO lecture // WMO. – 2004. – № 959. – 152 p.
6. Volk M., Hirschfeld J., Schmidt G. et al. A SDSS-based Ecological-economic Modelling Approach for Integrated River Basin Management on Different Scale Levels – The Project FlumaGIS // Water Resources Management. – 2007. Vol. 21. Is. 12. pp. 2049-2061 <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9158-z>.
7. Данилов-Данильян В.И., Асарин А.Е., Балонишникова Ж.А., Иванов А.Л., Прохорова Н.Б. Задачи оптимального управления водными ресурсами в целях устойчивого развития регионов России // Доклады VII Всероссийского Гидрологического съезда. СПб: Гидрометеиздат, – 2013.
8. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Изменение стока рек России при глобальном потеплении климата // Доклады VI Всероссийского Гидрологического съезда. М.: Метеоагентство Росгидромета, – 2008. – Секция 3. – Ч. 2. – С. 159-163.
9. Makhmudova L., Kozykeyeva A., Kambarbekov G., Karimova G., Zhulkainarova M. Hydrological bases of water resources management of the rivers of Northern Kazakhstan // Journal of Contaminant Hydrology. Volume 256, May 2023, 104182. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104182>.
10. Makhmudova L., Sagin J., Kanatuly A., Zharylkassyn A., Zhulkainarova M. Assessment of reservoirs impact on the river flow // Вестник КазНУ. Серия географическая. – Алматы: КазНУ, 2022. – №4(67). – С. 54-66.
11. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Книга 1. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана / Под ред. Гальперина Р.И. – АО «Национальный научно-технический холдинг "Парасат" Институт Географии. – Алматы, 2012. – 684 с.
12. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К. Основные гидрологические характеристики рек бассейна р. Есиль. Монография – Тараз: ТИГУ, 2018. 157 с.

13. Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные. Температура воздуха. Северо-Казахстанская область. – Алматы, 2004. – Вып. 1, раздел 1.
14. Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные. Температура воздуха. Акмолинская область. – Алматы, 2004. – Вып. 3, раздел 1.
15. Долгих С.А. О многолетних тенденциях термического режима на территории Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. – 1995. – № 3. – С. 68–77.
16. Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные. Атмосферные осадки. Северо-Казахстанская область. – Алматы, 2004. – Вып. 1, раздел 2.
17. Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные. Атмосферные осадки. Акмолинская область. – Алматы, 2004. – Вып. 3, раздел 2.
18. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель, Акмолинская область Казахской ССР. Под редакцией В.А. Урываева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – Вып. 1. – 789 с.
19. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель, Кокчетавская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – Вып. 3. – 569 с.
20. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К. Солтүстік Қазақстан аумағының қар жамылғысы сипаттамаларының аймақтық климаттық өзгерістер шеңберіндегі динамикасы // Гидрометеорология және экология, №4. Алматы, 2013, С. 32-44.
21. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К. Пространственно-временная изменчивость максимальной высоты снежного покрова на территории Северного и Центрального Казахстана // Гидрометеорология и экология, №3. Алматы, 2015, С. 28-38.
22. Moldakhmetov M.M., Makhmudova L.K., Zhanabayeva Z.A., Kumeiko A., Hamid M.D., and Sagin Jay (2019). Spatial and temporal variabilities of maximum snow depth in the Northern and Central Kazakhstan. Arabian Journal of Geosciences. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4505-y>.
23. Тиллакарим Т., Кауазов А., Гафуров А. (2023). Динамика изменения запасов воды в снежном покрове в Есильском водохозяйственном бассейне. Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов, 9(2), р. 1-16. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-2/1-16.rus>
24. Гальперин Р.И. Материалы по гидрографии Казахстана. Части 1, 2, 3. Алматы: КазНУ им. аль-Фараби, 1997. – 90 с.
25. Гальперин Р.И. Водные ресурсы бессточной впадины Шалкар-Тениз // Вестник КазГУ. Сер. геогр. – 1994. – С. 65-71.
26. Бейлинсон М.М. Формирование и разрушение ледяного покрова. – Алма-Ата: Наука, 1989. – 261 с.
27. Современные глобальные изменения природной среды. Под. ред. Клиге Р.К. Т.1. – М.: Научный мир, 2006. – 696 с.

28. Мелешко В.П. и др. Климат России в XXI веке. Часть 1 – Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета // Метеорология и гидрология, 2008, № 6. – С. 5-19.
29. Мелешко В.П. Климат России в XXI веке. Часть 3 – Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 //, Метеорология и гидрология, 2008, № 9. – С. 5-21.
30. Дроздов О.А. Надежность использования аналогов прошлого для прогнозов водного режима на будущее // Водные ресурсы, 1992, № 4. – С. 7-12.
31. Водные ресурсы России и их использование / Под. ред. Шикломанов И.А. – СПб., 2008. – 600 с.
32. Чичасов Г.А. Технология долгосрочных прогнозов погоды. Спб: Гидрометеиздат, 1991. – 304 с.
33. Долгих С.А. Мониторинг и сценарий изменения климата Республики Казахстан с учетом глобального потепления. Автореф. дисс. канд. геогр. наук. – Алматы, 1999. – 23 с.
34. О состоянии окружающей среды в РК в 2003 году Национальный доклад Министерства окружающей среды РК. – Астана, 2005. – 256 с.
35. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2019 год. – Министерство экологии, геологии и природных ресурсов (РГП «Казгидромет»). – Нур-Султан, 2020. – 62 с.
36. Голубцов В.В. О внутривековых колебаниях водности рек // Тр. КазНИГМИ. – 1967. – Вып. 26. – С. 33-53.
37. Агарков С.Г. Многолетние колебания речного стока в Западной Сибири: автореф. канд. геогр. наук. – М.: МГУ, 1973. – 16 с.
38. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – Т.5, вып. 1. – 467 с.
39. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1981-1990 гг. Бассейны рек Иртыш, Ишим, Тобол. – Алматы, 2002. – Книга 2, выпуск 1, часть 1. – 284 с.
40. Государственный водный кадастр Республики Казахстан. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши 1991-2000 гг. Бассейны рек Иртыш, Ишим, Тобол. – Алматы, 2004. – Книга 1, выпуск 1, часть 1. – 171 с.
41. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963-1970 и весь период наблюдений). Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – Т.15, вып. 2. – 383 с.
42. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 и весь период наблюдений). Бассейны Иртыша, Ишима, Тобола. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – Т.15, вып. 2. – 291 с.
43. Рождественский А.В., Лобанова А.Г., Лобанов В.А., Сахарюк А.В. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических

характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. Нижний Новгород: Вектор-ТиС, 2007. – 133 с.

44. Рождественский А.В., Лобанова А.Г., Лобанов В.А., Сахарюк А.В. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. СПб: Ротапринт, 2007. – 66 с.

45. Рождественский А.В., Лобанова А.Г., Лобанов В.А., Сахарюк А.В. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным. СПб: Нестор-История, 2010. – 162 с.

46. Христофоров А.В. Теория случайных процессов в гидрологии. Учебное пособие. М.: Изд. МГУ, 1994. 143 с.

47. Евстигнеев В.М., Магрицкий Д.В. Практические работы по курсу «Речной сток и гидрологические расчеты». Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2013. – 108 с.

48. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том V. Климат Казахстана – основа формирования водных ресурсов. / Под ред. Сальникова В.Г. – АО «Национальный научно-технический холдинг «Парасат» Институт Географии. – Алматы, 2012. – 430 с.

49. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е. Атмосферная циркуляция и особенности распределения аномалий температуры и осадков в Казахстане // Вестник КазНУ. Серия географическая. 2010. №2 (31). – С. 62-75.

50. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Долгих С.А. Особенности пространственно-временного распределения осадков в Казахстане // Вестник КазНУ. Серия географическая. 2009. №2 (29). – С. 70-78.

51. Гальперин Р.И. Нюансы статистической интерпретации гидрологических рядов // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы гидрометеорологии и экологии». Алматы: КазНИИМОСК, 2001. – С. 103-105.

52. Коваленко В.В., Гайдукова Е.В., Куасси А.Б.Г. Фрактальная диагностика речного стока для устойчивого описания многолетних колебаний гидрологических характеристик // Метеорология и гидрология. 2008. №4. – С. 73-81.

53. Ineson S., Maycock A., Gray L. et al. Regional climate impacts of a possible future grand solar minimum. Nat Commun 6, 7535 (2015). <https://doi.org/10.1038/ncomms8535>

54. Gray L.J., et al. (2010). Solar influences on climate, Rev. Geophys., 48, RG4001. [doi:10.1029/2009RG000282](https://doi.org/10.1029/2009RG000282).

55. Makhmudova L., Moldakhmetov M., Mussina A., Kanatuly A. (2021). Perennial fluctuations of river runoff of the Yesil river basin. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, No 4, p. 149-165. <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v9i4.2306>

56. Махмудова Л.К., Канатулы Э., Жакен К., Абиев М.А., Амангельди Р. Оценка многолетних колебаний стока рек бассейна р. Есиль / Климат и водные ресурсы: мелиорация и экология. Сборник научных трудов. ТОО «КазНИИВХ». – Тараз, 2022. – С. 76-81.
57. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. – М.: Госстрой России, 2004. – 71 с.
58. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
59. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Ч.1, Ч.2. – С. 115-215.
60. Федорова И.С. Зависимость распределения стока горных рек в теплый период от видов питания. – Вестник МГУ, География, 1971, №4.
61. Быков В.Д., Важнов Л.Н., Федорова И.С. Некоторые результаты исследования внутригодового распределения стока горных рек. – Тр. IV Всесоюзного гидрологического Съезда, 1975. – Т.3.
62. Скоцеляс Н.И. Расчет внутригодового распределения стока для неизученных рек Горного Алтая. – Тр. КазНИГМИ, 1975. – С. 15-20.
63. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1983. – 36 с.
64. Соколовский Д.Л. Речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 540 с.
65. Швец Г.И. Восстановление характеристик годового стока Днепра за историческое время. В сборнике: Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – 280 с.
66. Андреянов В.Г. Внутригодовое распределение стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 327 с.
67. Молдахметов М.М., Сарсенбаев М.Х., Махмудова Л.К. Влияние малых водохранилищ и прудов на речной сток р. Есиль: материалы Международной научной-практической конференции «Четвертые Жандаевские чтения». Проблемы экологической геоморфологии. – Алматы, 2007. – С. 175-180.
68. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Калмашова А.Н. Особенности формирования водопользования в водосборах бассейна реки Есиль в условиях антропогенной деятельности. – Исследования, Результаты, 2019. – №4 (84). – С. 295-303.
69. Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Нестеренко Д.П., Повалишников Е.С. Естественная зарегулированность стока рек бассейна Волги в условиях меняющегося климата. – Водное хозяйство России, 2013, №6. – С. 32-49.
70. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водоохранилища. – М.: Мысль, 1987. – 326 с.
71. Авакян А.Б., Истомина М.Н. Наводнения в мире в последние годы XX в. // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27, №5. – С. 517-523.

72. Гальперин Р.И., Молдахметов М.М. Проблема оценки водных ресурсов // Актуальные проблемы геосистем аридных территорий – Алматы: Қазақ университеті, 2003. – С. 41-46.
73. Скоцеляс И.И. Весенний приток воды в Верхнетобольские водохранилища и его антропогенные изменения // Гидрометеорология и экология. – 1995. - № 2. – С. 34-56.
74. Колмогоров В.П. Изменение режима стока р. Ишим у г. Целинограда под влиянием различных факторов // Сб. работ по гидрологии. – 1987. – № 19. – С. 70-75.
75. Леонов Е.А., Леонов В.Е. Применение метода линейного тренда к оценке и прогноза изменения годового стока под влиянием орошения. – Известия ВГО, 1981. Том 113. Вып. 5. – С. 403-410.
76. Гальперин Р.И., Васильев А.И. Анализ группировок маловодных и многоводных лет на реках Казахстана // Использование и охрана водных ресурсов Казахстана. – Алма-Ата: КазГУ, 1979. – С. 130-136.
77. Гальперин Р.И. Нюансы статистической интерпретации гидрологических рядов // Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы гидрометеорологии и экологии». Алматы: КазНИИМОСК, 2001. С. 103-105.
78. Леонов Е.А. Норма годового стока и ее изменения под влиянием хозяйственной деятельности // Тр. ГГИ. – 1986. – Вып. 315. – С. 68 – 83.
79. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К. Есіл және Тобыл өзендерінің жылдық ағынды үлестіріміне бөгендердің тигізетін ықпалы жөнінде // Географические проблемы устойчивого развития: Теория и практика, – Алматы: Институт Географии АО ЦНЗМО МОН РК, 2008. – С. 288-293.
80. Шикломанов И.А., Кожевников В.П. Потери стока р. Волги в Волго-Ахтубинской пойме и в дельте // Труды ГГИ. – 1974. – Вып. 221.
81. Георгиевский В.Ю. и др. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология, 1996, №11. – С. 89-99.
82. ФАО. 2018. Прогресс в области определения уровня нагрузки на водные ресурсы: глобальный базисный уровень для показателя 6.4.2 ЦУР. Рим. – 58 с.
83. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. 2016. Природно-климатические и антропогенные изменения стока Волги и Дона. Фундаментальная и прикладная экология. Т. 2. – С. 55-78.
84. Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. 2012. Гидрологический режим и водные ресурсы. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. Москва. – С. 53-85.
85. Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. 2017. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС. – 205 с.
86. Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И., Телегина Е.А. 2017. Внутригодовое распределение стока рек с оценкой роли зимней межени. Водные ресурсы. Т. 44. №6. – С. 603-611.

87. Alimkulov S.K., Tursunova A.A., Saparova A.A. (2021). River flow resources of Kazakhstan in the context of future climatic and anthropogenic changes. *The Journal of Hydrometeorology and ecology*. No.1. p. 59-71.

88. Meshyk A., Makhmudova L., Zharylkassyn A., Kanatuly A., Zhulkainarova M. (2022) The contribution of climatic and anthropogenic factors to changes in the runoff of plain rivers. *Vestnik of Brest State Technical University*. No3 (129). p. 37-40.

89. Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М., Падалко Ю.А. 2021. Изменение минимального стока в бассейне реки Урал. *Известия РАН. Серия географическая*. Т. 85. №6. – С. 900-913.

90. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К., Құрманғазы Е. Статистические параметры временных рядов стока весеннего половодья рек Есильского водохозяйственного бассейна // *Вестник КазНУ. Сер. Геогр.* – 2020. №56. – С. 39-49.

91. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. 2014. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга. *Метеорология и гидрология*. №3. – С. 75-85.

92. Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. 2018. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона. *Вопросы географии*. Т. 145– С. 285-297.

93. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Телегина Е.А. 2015. Изменение зимнего стока рек Европейской части России. *Водные ресурсы*. Т. 42. №6. – С. 581-588.

94. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К., Құрманғазы Е. 2020. Минимальный сток рек Есильского водохозяйственного бассейна. *Гидрометеорология и экология*. №1. – Р. 64-78.

95. Absametov M., Sagin J., Adenova D., Smolyar V., Murtazin E. 2023. Assessment of the groundwater for household and drinking purposes in central Kazakhstan. *Groundwater for Sustainable Development*. doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100907.

96. Kristen M. Whitney, Enrique R. Vivoni, Theodore J. Bohn, Giuseppe Mascaro, Zhaocheng Wang, Mu Xiao, Mohammed I. Mahmoudde, Chuck Cullom, Dave D. White. 2023. Spatial attribution of declining Colorado River streamflow under future warming. *Journal of Hydrology*. V. 617. Part C. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129125.

97. Ruxin Zhao, Hongquan Sun, Lisong Xing, Renzhi Li, Ming Li. 2023. Effects of anthropogenic climate change on the drought characteristics in China: From frequency, duration, intensity, and affected area. *Journal of Hydrology*. V. 617. Part B. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.129008.

98. Шикломанов И.А., Бабкин В.И., Балонишникова Ж.А. 2011. Водные ресурсы, их использование и водообеспеченность в России: современные и перспективные оценки. *Водные ресурсы*. Т. 38. №2. – С. 131-141.

99. Демин А.П., Болгов М.В., Филиппова И.А. 2015. Изменение нагрузки на водные ресурсы бассейна реки Оки под влиянием климатических и антропогенных факторов. *Научное обеспечение реализации Водной*

стратегии Российской Федерации на период до 2020 г. Сборник научных трудов. Петрозаводск. Т. 2 – С. 86-93.

100. Коробкина Е.А., Филиппова И.А., Харламов М.А. 2020. Оценка стока в бассейне р. Дон: необходимость смены парадигмы гидрологических расчетов. Водные ресурсы. Т. 47. №6. – С. 663-673.

101. Плеханов П.А. Закономерности чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Казахстане // Гидрометеорология и экология. – Алматы, Казгидромет, – 2004. – №3. – С. 120-133.

102. Гальперин Р.И., Авезова А., Медеу Н.Н. Много воды – тоже плохо – 2016. – №1. – С. 31-40.

103. Шарипханов С.Д., Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б. Управление рисками наводнений. Методическое пособие. – Кокшетау: Кокшетауский технический институт КЧС МВД Республики Казахстан, 2015. – 94 с.

104. Голицын Г.С., Васильев А.А. Гидрометеорологические опасности. Тематический том. – М.: Издательская фирма «КРУК», 2001. – 296 с.

105. Найденов, В.И. Математические модели эффекта Харста / В.И. Найденов, И.А. Кожевникова // Российская наука: дорога жизни. – М.: Октопус, 2002. – С. 44-58.

106. Найденов, В.И. Почему так часто происходят наводнения? / В.И. Найденов, И.А. Кожевникова // Природа, – 2003. – №9. – С. 12-20.

107. Chen Y. Water Resources Research in Northwest China – Dordrecht: Springer Netherlands, 2014. – pp. 444.

108. Гальперин Р.И. Использование усеченных кривых распределения для расчета максимальных уровней воды в реках // Вестник КазНУ. Сер. Геогр. – 1999. №8-9. С. 109-111.

109. Гальперин Р.И. Высокие уровни воды на реках равнинного Казахстана. – Алматы: КазГУ, 1994. – 172 с.

110. Атлас природных и техногенных опасностей в Российской Федерации. – М.: РАН, 2008. – 271 с.

111. Лутц М., Копп С.-Д., Ведель М., Ибатуллин С.Р. Обзор политики и рекомендации для Республики Казахстан в сфере управления трансграничными водными ресурсами. Подготовлен в рамках проекта ЕС/ПРООН/ЕЭК ООН «Поддержка Казахстана по переходу к модели зеленой экономики», 2016. – 68 с.

112. The United Nations world water development report 2021: Valuing water // UNESCO. – 2021.

<https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en/download-report>.

113. Водный кодекс Республики Казахстан от 9 июля 2003 года № 481-ІІ (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2022 г.) // https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1042116&

114. Об утверждении Государственной программы управления водными ресурсами Республики Казахстан на 2020 – 2030 годы // Открытые НПА. – <https://legalacts.egov.kz/application/downloadnpa?id=4275600>

115. Проект Концепции развития системы управления водными ресурсами Республики Казахстан на 2021-2025 годы // Открытые НПА. – URL: <https://legalacts.egov.kz/application/downloadnпа?id=12660453>

116. О текущей водохозяйственной ситуации и перспективах развития водной отрасли // Официальный сайт Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.

<https://www.gov.kz/memleket/entities/ecogeo/press/news/details/318809?lang=ru>

117. Информационно-аналитический обзор к парламентским слушаниям на тему: «Водная безопасность Казахстана: состояние, проблемы и рекомендации» // Сенат Парламента Республики Казахстан.

<https://senate.parlam.kz/storage/536c3d72c4494ae687e43510c22c78f1.pdf?ysclid=kzhxb64cfv>

118. Рыбкина И.Д., Сивохиц Ж.Т. Водные ресурсы российско-казахстанского трансграничного региона и их использование // Юг России: экология, развитие. 2019. – №2. – С. 70- 86.

119. Зауирбек А.К. Принципиальные основы разрешения водохозяйственных проблем в бассейне трансграничной реки Сырдарья // Sciences of Europe. – 2020. – №53. – С. 13-27.

120. Sustainable management of water resources in agriculture // Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/49040929.pdf>

121. UN Report on the state of the World's water resources. World Water Resources Assessment Program «Water for people, water for life» // United Nations. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210047012>

122. Бояркина О.А. Российско-казахско-китайские взаимоотношения на трансграничных реках // Известия ИГУ. – 2017. – №. 22. – С. 211-216.

123. Разработан и утверждён План работы МЭГПР в межвегетационный и вегетационный периоды 2021-2022 годов // Служба центральных коммуникаций при Президенте Республики Казахстан. <https://ortcom.kz/ru/novosti/1643367864>

124. Государственная программа управления водными ресурсами Республики Казахстан до 2030 года: презентация // Официальный сайт Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. <https://wecoop.eu/wp-content/uploads>

125. Проблемы в области управления водными ресурсами и рекомендации // Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций.

https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/Water_Convention/2016/Projects_in_Central_Asia/Review_of_the_main_challenges_of_the_river_basin_principles_implementation_in_Kazakhstan_and_recommendations.pdf

126. Kuncham, V., Rao N.V. Water Management Using Remote Sensing Techniques // National Institute of Technology Tiruchirappalli. CVR Journal of Science and Technology.

https://www.researchgate.net/publication/340584282_Water_Management_Using_Remote_Sensing_Techniques

127. Water Management // International Water Association. https://library.uniteddiversity.coop/Water and Sanitation/water_management.pdf
128. Бейсембин К.Р. Мынбаев М.С. Интегрированное управление водными ресурсами Казахстана // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2016. – №3. – С. 29-33.
129. UN Report on the state of the World's water resources. World Water Resources Assessment Program «Water for people, water for life» // United Nations. <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210047012>
130. Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes // United Nations treaty collection. https://treaties.un.org/doc/Treaties/1992/03/19920317%2005-46%20AM/Ch_XXVII_05p.pdf
131. Torkil J.-C. Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency Plans by 2005: Why, what and how? // Global Water Partnership. <http://www.ecoaccord.org/english/wi/2004/IWRM-Eng.pdf>
132. Охрана окружающей среды в Республике Казахстан. Статистический сборник (2016-2020). Агентство по стратегическому планированию и реформам РК. Бюро Национальной статистики. – Нур-Султан, 2021. – 244 с.
133. Охрана окружающей среды в Республике Казахстан. Статистический сборник (2015-2019). Агентство по стратегическому планированию и реформам РК. Бюро Национальной статистики. – Нур-Султан, 2020. – 253 с.
134. Охрана окружающей среды в Республике Казахстан. Статистический сборник (2010-2014). Комитет по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан. – Астана, 2015. – 159 с.
135. Охрана окружающей среды в Республике Казахстан. Статистический сборник (2006-2010). Агентство Республики Казахстан по статистике. – Астана, 2011. – 192 с.
136. Tate D.M. Water Demand Management in Canada: A State-of-the-Art Review. Ottawa. Canada, 1990
137. Fleming N.S., Daniell T.M. Sustainable water resources management. // Water resources Journal. – 1994. – №183. – P. 16-23.
138. Seckler D., et. al. World Water Demand and Supply, 1990-2025. // IWMI Research Report. – 1998.
139. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 302 с.
140. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. – Л.: Гидрометиздат, 1989. – 335 с.
141. Шикломанов И.А., Маркова О.Л. Проблемы водообеспечения и переброски стока в мире. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 293 с.
142. Gleick P.H. The Worlds Water: Report on Fresh Water Resources. – Washington: DC, 1998.
143. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 374 с.

144. GWP. (2014). Assessing Water Security with Appropriate Indicators. Proceedings from the GWP Workshop. Global Water Partnership, Stockholm.
145. Bakker K. and C. Morinville. (2013). «The governance dimensions of water security: a review» Philosophical Transactions of the Royal Society, A Vol. 371, No. 2002: 20130116.
146. Cook C. and K. Bakker. (2012). «Water Security: Debating an emerging paradigm» Global Environmental Change 22. pp. 94-102.
147. ICA. (2012). Global Water Security. Intelligence Community Assessment 2012-08. USA.
148. Rees J.A. (2002). Risk and Integrated Water Management. TEC Background Papers, No. 6. Global Water Partnership, Stockholm.
149. Renn O. and P. Graham. (2006). Risk Governance: Towards an Integrative Approach. White Paper. International Risk Governance Council (IRGC).
150. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, – 2010. – 229 с.
151. Красов В.Д. Управление поверхностными водными ресурсами при нестационарности их формирования и использования // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. – Воронеж, 2013. – и №1. – С. 102-109.
152. Молдахметов Марат Молдабекович / роль природных и антропогенных факторов в формировании стока рек центрального казахстана (бассейны рек торгай, сарысу) (Кандидатская 1999)
153. Махмудова Ляззат Камаловна / Оценка водных ресурсов рек Центрального Казахстана (на примере рек Есиль и Нура) с учетом антропогенного влияния на сток (Кандидатская 2010)
154. Калиева Карлыгаш Есимовна / Исследование и предложения по оценке поверхностного стока рек Центрального Казахстана (на примере рек Есиль и Нура) для использования различных отраслей экономики (Магистрская 2016)