

**НЕКОТОРЫЕ МОМЕНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМА ПОЛОВОДЬЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ****С.Б. Саиров\*** *к.г.н.*, **Т.А. Тілләкәрім** *PhD*, **Н.Т. Серікбай***РГП «Казгидромет», Астана, Казахстан**E-mail: sairov\_s@meteo.kz*

В статье рассматриваются методы совершенствования прогнозирования объема стока весеннего половодья. Основными объектами исследования являются реки Оба, Ульби и Дресвянка, которые являются боковыми притоками Шульбинского водохранилища. Данные реки относятся к типу рек с весенне-летним половодьем и растянутым на более 2...3 месяцев стоком. Целью исследования является разработка методики прогнозирования стока на основе связи между накоплением снега и стоком реки в весенний и летний периоды. Представлены результаты исследования гидрологических и метеорологических факторов, влияющих на формирование стока, а также выведены уравнения для прогноза стока в период весенне-летнего половодья и его продолжительности. Полученные уравнения множественной регрессии продемонстрировали высокую точность в моделировании объемов половодья, с коэффициентами корреляции между наблюдаемыми и прогнозируемыми данными, находящимися в диапазоне от 0,79 до 0,91. Согласно расчетам по критерию  $S/\sigma$ , полученные результаты свидетельствуют о хорошей воспроизводимости наблюдаемых объемов половодья, с показателями в пределах 0,46...0,53.

**Ключевые слова:** методика прогнозирования, расход воды, осадки за холодный период, температура воздуха, продолжительность половодья, Шульбинское водохранилище.

Поступила: 17.09.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-7-19

**ВВЕДЕНИЕ**

Движущей силой возникновения весеннего половодья для Казахстанских рек является снегонакопление за зимний период и их таяние. Оно характеризуется ежегодной повторяемостью в один и тот же сезон с разной интенсивностью и продолжительностью для рек одной климатической зоны в зависимости от количества аккумулярованного снега за зиму (Волковская и др., 2019; Terekhov и др., 2020; Kauazov и др., 2023; Tillakarim и др., 2023).

Половодье является главной фазой водного режима рек, в течение которой пропускает основную часть годового стока. При высоких уровнях весенних половодий река может выйти из русла на пойму, нанося ущерб обжитой части поймы. Могут отмечаться и низкие значения, которые не будут затапливать пойменные озёра, приводящей в дальнейшем их исчезновению и нарушению водного баланса территории (Тореханова

и др., 2019; Семенова, Буковский., 2022).

В связи, гидрологические исследования, направленные на выяснения механизмов формирования экстремальных (максимальных, минимальных) величин стока рек в различных географических условиях, являются весьма актуальными задачами как с научной, так и с практической точек зрения.

Прогнозирование паводков, вызываемых таянием снежного покрова и льдов в реках весной; сильными дождями и ветряными волнами в районах вдоль побережья и устьев рек, является сложной областью оперативной гидрологии (Болатова, 2019). В Казахстане наводнения создают серьезную угрозу для населения, проживающего вдоль берегов крупных рек, таких как, таких как Ертис, Жайык, Тобол, Есиль, Иле и др. (Гальперин, 2013).

РГП «Казгидромет» для составления гидропрогнозов в оперативную практику внедрены численные концептуальные и полу-

распределённые модели: HBV-light и SWIM, основанных на упрощённых предположениях водного баланса (Болатова и др., 2018, 2019; Нурбаcina и др. 2019, Serikbay и др. 2023, Тиллакарим и др., 2023, Tillakarim и др., 2023, Volatova и др. 2023).

Модели HBV-light и SWIM адаптированы также для бассейнов рек Оба, Ульби и Дресвянка и внедрены в оперативное прогнозирование стока. Однако для горных рек с продолжительным половодьем модели имеют ограничения в прогнозировании его объема. Это связано с тем, что долгосрочные метеопрогнозы не могут предоставляться с точностью по дням. Кроме того, следует учитывать отсутствие модуля, моделирующего сток в холодный период года, включая ледовые процессы.

Дальнейшее решение проблем долгосрочных прогнозов половодья, и других фаз гидрологического режима, зависит от выявления дополнительных новых статистических зависимостей суммарно приближенно учитывающие влияния действующих факторов:

- атмосферные осадки, температура воздуха, увлажненность почвы на формирование уровня и расхода воды, продолжительность половодья, паводка, меженного периода;
- даты перехода температур воды через  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  и воздуха через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и минус  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  определенные пороги на формирование ледовых явления на установление и разрушение ледостава.

Выбранный подход для прогноза, а именно, статистической модели множественной регрессии, когда зависимость будущего значения от прошлого задается в виде уравнении, в данном случае обусловлен следствием крайней ограниченности имеющейся гидрометеорологической информации.

Впоследствии при обнаружении таких статистических зависимостей, мы должны рассмотреть возможность внедрения этих связей либо в вышеуказанные модели, либо в разработке новой модели прогноза.

В данной работе объектом исследования были выбраны реки Оба, Ульби и Дресвянка относящейся к Алтайскому типу водного режима рек которой свойственна весеннее половодье, растянутое на более 2...3 месяцев, повышенный летний сток и низкая

зимняя межень (Шульц, 1965). Сток рек можно считать условно-естественными ввиду отсутствия значительного водопотребления и водохозяйственного использования. Основным фактором формирования стока является накопление влагозапасов в виде снега за холодный период года. В связи с этим возникает необходимость разработки методов прогнозирования отдельных элементов гидрографа стока, таких как половодье и меженный сток, с учетом связи между снегом и стоком в непрерывном цикле, принимая во внимание только вклад снега.

Цель данной работы – рассмотреть возможность разработки модели прогноза стока весеннего половодья через определение их связей с гидрометеорологическими и другими факторами.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- сформировать базу данных гидрологических и метеорологических наблюдений по исследуемому бассейну;
- изучить закономерности связей половодья от зимних осадков как основного фактора формирования стока во время половодья и зависимостей суммарно учитывающих влияние действующих факторов в гидрологическом режиме реки и вывести уравнения моделей прогноза стока весеннего половодья, продолжительности половодья и стока в период грунтового питания реки в соответствии гидрологическим годом.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Описание объекта исследования.

Шульбинское водохранилище является одним из крупных водохранилищ Иртышского каскада, емкость которых составляет  $52,7\text{ км}^3$  комплексного назначения. Общий объем составляет  $2390\text{ млн м}^3$ , площадь  $255\text{ га}$ .

Главными притоками водохранилища являются реки Оба и Ульби (рис. 1). Гидроузел осуществляет неполное сезонное регулирование стока боковой проточности ниже плотины Бухтарминской ГЭС при природоохранных весенних попусках и при прохождении летне-осенних паводков. Режим водохранилища – полностью искусственный, исключая период попусков рек Оба и Ульби в период паводков. В апреле...мае

водохранилище срабатывает более чем на половину, чем обеспечивает орошение поймы Ертиса (Водные ресурсы Казахстана, 2012).

Водный режим р. Ертис в районе Шульбинского водохранилища в основном определяется особенностями стока в верхней части реки, сильно зарегулированного Бухтарминским и Усть-Каменогорским водохранилищами, и стока правобережных притоков Ульби, Оба, Шульбинка и др., питающихся за счет таяния горных снегов и выпадающих дождей. Бассейны рек Оба и Ульби составляют 75 % площади правобережной части бассейна р. Ертис на участке между Усть-Каменогорским и Шульбинским водохранилищами.

Важной фазой гидрологического режима рек Оба и Ульби, необходимой для оценки их водности в весенний период, является вскрытие ото льда. Начало ледохода на этих реках наблюдается в среднем во второй декаде апреля. Даты поздних сроков вскрытия совпадают со средней датой начала расчетных пусков воды из Бухтарминского водо-

охранилища. Весеннее половодье начинается обычно через 5...8 суток после наступления устойчивого перехода среднесуточных температур воздуха через 0 °С к положительным значениям. Максимальные уровни и расходы воды в период весеннего половодья обычно наблюдаются в конце апреля – начале мая и продолжаются 1...2 суток. Конец половодья на реках Оба и Ульби происходит в весенне-летние (апрель...сентябрь) месяцы. Зимний сток имеет почти постоянную величину и составляет 5...9 % годового. Сток весеннего половодья рек Оба и Ульби используется для осуществления специализированных пусков с целью затопления поймы р. ниже с.Шульба. Дата начала пусков соответствует дате наибольшего расхода за половодье, обеспеченного в течение 18 суток (Ресурсы поверхностных вод, 1969).

На карте показано расположение водосборной области с указанием мест наблюдения за стоком и метеорологических характеристик (рисунок 1).

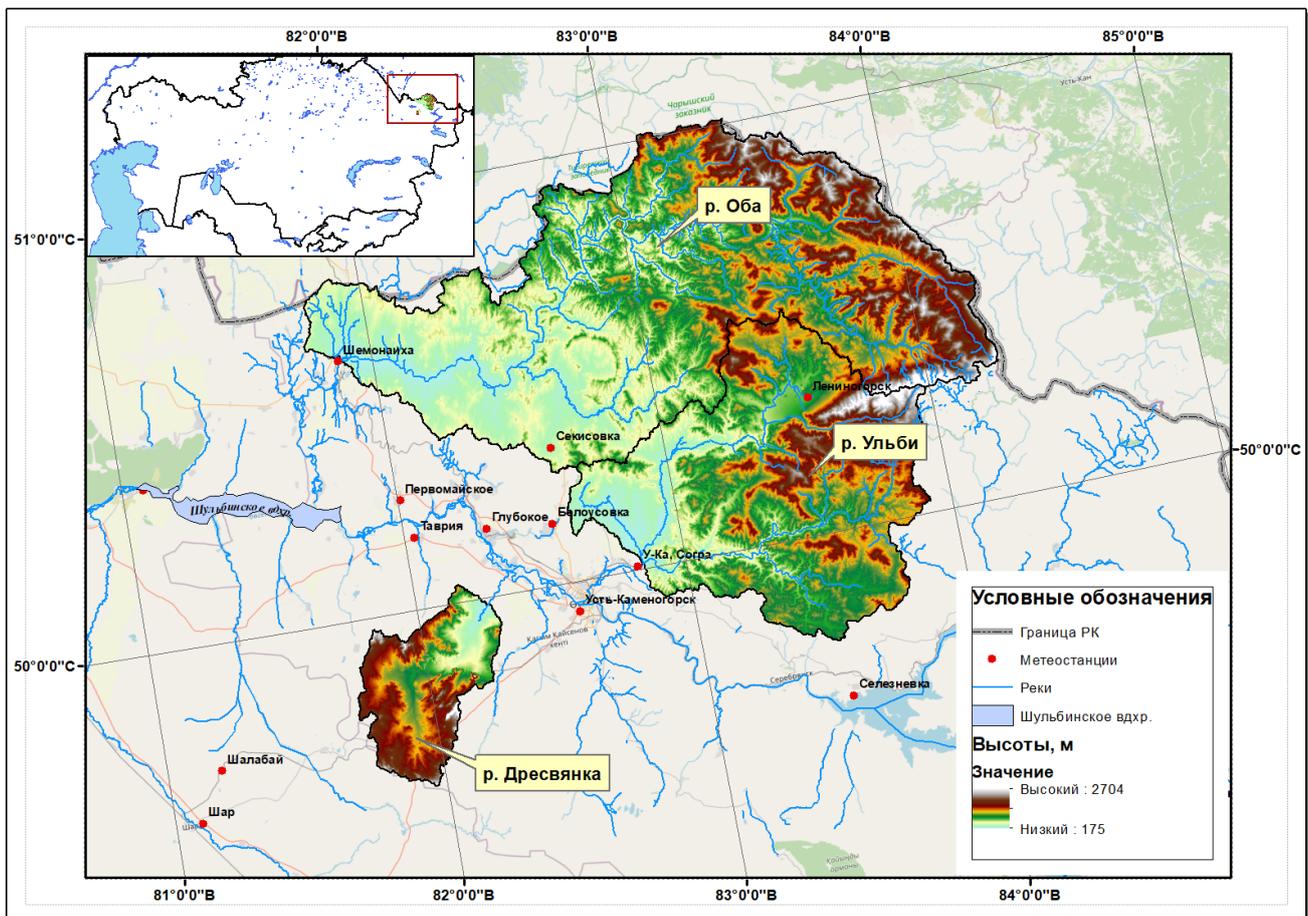


Рис 1. Расположение объектов исследования

Исходными данными служили данные государственной наблюдательной сети РГП «Казгидромет». Используются данные 3 гидрологических постов рек Оба, Ульби и Дресвянка, а также данные метеорологических станции, расположенных на территории водосборной области или на близлежащей территории.

Гидрологический пост свайного типа, замыкающий верхнее течение реки является р. Оба – с. Шемонаиха (F=8470 км<sup>2</sup>) расположена на правом берегу реки, в 0,5 км к югу от города. Русло реки умеренно извилистое, на участке поста – прямое, песчано-галечное, устойчивое. Наблюдения за уровнем воды ведутся с 1954 года по настоящее время.

Гидрологический пост р. Ульби – с. Ульби-Перевалочная (F=4900 км<sup>2</sup>) свайного типа, находится на левом берегу реки и расположен в 300 м ниже впадения р. Киши Ульби, в центре с. Каменный карьер к северу от села. Русло реки на участке поста прямолинейное, валунно-галечное, деформирующееся. Берега высотой до 3...4 м. песчано-галечные, правый обрывистый, левый – крутой. Наблюдения за уровнем воды

ведутся с 1940 года по настоящее время.

Гидрологический пост р. Дресвянка – с. Отрадное (F=986 км<sup>2</sup>) свайного типа, находится на левом берегу реки и расположен на юго-восточной окраине села Отрадное. Русло реки на всем протяжении сильно извилистое, на участке поста сравнительно прямолинейное, песчано-гравийное, деформирующееся. Наблюдения за уровнем воды ведутся с конца 2004 года по настоящее время.

В работе были использованы следующие гидрологические данные: расходы воды, уровни воды, объемы половодья, даты начала и конца половодья, продолжительность половодья, минимальный расход воды в период зимней межени.

Метеорологические данные, которые были использованы в данной работе: температура воздуха, атмосферные осадки. Для реки Дресвянка в качестве метеорологических данных были использованы данные измерения температуры воздуха и количества осадков, измеренных на территории гидрологического поста. Общие сведения о данных наблюдения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Имеющиеся гидрологические и метеорологические данные

Характеристики	Река-пункт		
	р.Оба-г.Шемонаиха	р.Ульби-с.Ульби-Перевалочная	р. Дресвянка – с. Отрадное
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	8470	4900	986
Диапазон высоты водосбора, м	297...2752	335...2746	279...793
Период наблюдений	1954...2023	1940...2023	2005...2023
Метеостанции (МС)	Шемонаиха, Лениногорск	Усть-Каменогосрк, Лениногорск	ГП Отрадное
Период наблюдений МС	1934...2023	1926...2023	2011...2023

*Методика исследования.* В настоящее время сформулированы два основных принципа установления начала гидрологического года:

а) в пределах выбранного (12-месячного) гидрологического года должен завершаться цикл накопления и расходования влаги в водосборе;

б) коррелятивная связь между осадками и стоком в пределах выбранного гидроло-

гического года должна быть наиболее тесной.

В большинстве стран мира начало гидрологического года устанавливают на основе первого принципа. При этом за начало гидрологического года принимают обычно среднюю дату наступления (1/X) осеннего сезона (округленную до ближайшего начала месяца). Осеннее начало гидрологического года в разных странах различно.

В странах СНГ началом гидрологического года для подавляющего большинства водосборов принят с даты установления снежного покрова.

Многие авторы исходя из второго принципа выбора гидрологического года и указывая, что для года с началом 1/V получаются наиболее тесные коррелятивные связи между годовыми осадками и годовым стоком, время, когда водосбор насыщен влагой до предела.

В данной работе для водосборов рек Оба, Ульби и Дресвянка началом гидрологического года был выбран март, обусловленный тем, что максимальные запасы влаги и начало половодья в отдельные годы приходятся на этот месяц. Используя данные ежедневных расходов воды, были построены гидрографы стока для каждого года и определены даты начала и окончания половодья.

Для выполнения статистического анализа гидрологических характеристик рассматриваемых рек применялись парная ( $r$ ), когда зависимая переменная связана более чем с одной независимой переменной множественная регрессионные анализы ( $r$ ). Применимость и качества оценивались по отношению средней

квадратичной ошибки проверочных прогнозов ( $\bar{S}$ ) к среднему квадратичному отклонению ( $\bar{\sigma}$ ) находящихся в допустимых диапазонах.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В дальнейшем будут рассмотрены корреляционные анализы связи, таких параметров как, осадки за холодный период (снег), суммарная среднесуточная температура воздуха за период активного таяния снега и продолжительность половодья влияющих на формирование объемов половодья и пополнения запасов подземных вод. На основе полученных связей для получения уравнений регрессии и с добавлением еще одного косвенного фактора полученный посредством гидрологических наблюдений за стоком, о чем будет идти речь ниже.

*Прогнозирование объема половодья.* Парная корреляция объема половодья с накопленными осадками за холодный период года (ноябрь...апрель) (рис.2) показала неудовлетворительный результат с низким критерием применимости для воспроизведения прогнозных данных.

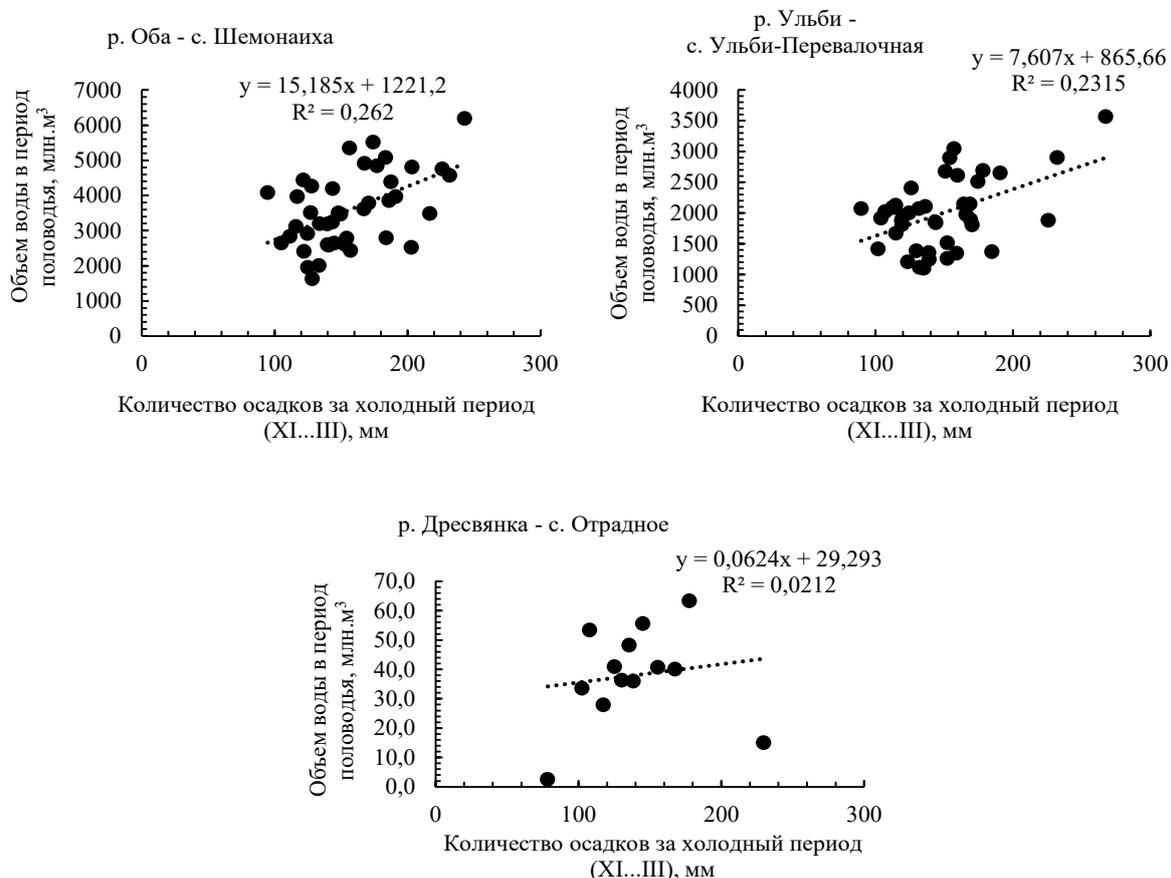


Рис 2. Зависимость объема половодья рек Оба, Ульби и Дресвянка от сумм атмосферных осадков за холодный период года (ноябрь...март)

Далее был применен метод множественной корреляции с использованием дополнительных факторов, такие как среднесуточные температуры воздуха за период половодья (апрель...июнь) и продолжительности половодья. И эти дополнительные факторы существенно улучшили показатель коэффициента корреляции с удовлетворительным результатом, с критерием применимости возросшего до равным  $S/\sigma = 0,69$  для р. Оба и  $0,76$  для реки Ульби, однако для р. Дресвянка оценка применимости методики, показало не удовлетворительный результат равный  $2,78$  (табл. 3).

Также учитывая, что в апреле оттаиванию подвергаются только предгорная и низкогорная части бассейнов, и активизация таяния среднегорной и высокогорья начинается со второй половины мая, температурный фактор анализа множественной корреляции усредненный за апрель...май заменен усредненной температурой воздуха за период апрель...июнь.

Вместе с тем, общеизвестно, что часть влагозапасов зимних осадков, фильтруясь, уходит на пополнение запасов подземных вод, оценку которой можно произвести через разницу объема стока с окончания весеннего половодья за предыдущий год и минимального объ-

ема стока за холодный период текущего года.

Этот показатель будет являться гидрологической характеристикой количественной оценки насколько освободились влагоемкость почво-грунтов водосбора от общей влагоемкости водосбора со времени окончания половодья прошедшего года к времени начала будущего половодья.

Данный показатель обозначим символом  $\Delta W^{i-1}$ , который вводится тоже как одним из основным фактором для прогноза формирования будущего весеннего половодья (табл. 2).

Формула расчёта выглядит следующим образом:

$$\Delta W^{i-1} = W_{\text{пол}}^{i-1} - W_{\text{меж}}$$

где  $\Delta W^{i-1}$  – объем влагоразгрузки почвогрунтовых вод на питание общего межженного стока или потенциальная влагоемкость для пополнения инфильтрационными водами во время прохождения половодья;

$W_{\text{пол}}^{i-1}$  - суточный объем воды на конец половодья прошедшего года;

$W_{\text{меж}}$  - минимальный суточный объем воды за холодный период перед началом будущего половодья.

Таблица 2

Определение показателя  $\Delta W^{i-1}$  на примере реки Оба

Годы	Суточный объем воды на конец половодья, $W_{\text{пол}}$ млн.м <sup>3</sup>	Минимальный суточный объем воды за холодный период, $W_{\text{меж}}$ млн.м <sup>3</sup>	Объем водопоглощения грунтов бассейна, $\Delta W^{i-1}$ млн.м <sup>3</sup>
1959...1960	180,0	...	...
1960...1961	144,0	29,4	150,6
1961...1962	208,0	27,6	116,4
...	...	...	...
2020...2021	109,0	7,0	102,0

Результат добавления показателя  $\Delta W^{i-1}$  как одного из факторов факторов в многомерную корреляционную модель расчета объемов половодья привело к улучшению коэффициентов корреляции между объемами половодья и множественными предикторами: для реки Оба до  $0,86$ , для реки Ульби до  $0,91$ , а для реки Дресвянка до  $0,79$ . Значение применимости методики прогнозирования равна  $S/\sigma = 0,53, 0,46, 0,49$ , соответственно для рек Оба, Ульби, Дресвянка (таблица 4).

При сравнительном анализе типовых гидрографов этих рек выявлено, что

на тесноту связи между показателем  $\Delta W^{i-1}$  влияет в основном продолжительность половодья, которое в свою очередь зависит от морфометрических характеристик, таких как площадь, высота, уклон и форма водосбора (вытянутый, компактный и др.).

Водосборы с более компактной формой, как у реки Ульби, имеют короткое время добегания, что усиливает пик половодья. Водосборы вытянутой формы например, как у реки Буктырма, растягивают сток во времени, смягчая пик.

Динамика результатов наблюдений и прогнозные значения приведены на рисунке 3. Характеристики множественной корреляции приведены в таблице 4.

В то же время, если учесть тенденцию интенсивного потепления климата и усиливающееся таяние ледников в рассматриваемых бассейнах рек, можно ожидать дальнейшего увеличения водности реки до полного исчезновения ледников в ближайшем

будущем (прогнозируемом через 30...40 лет).

Принимая во внимание эту тенденцию в дальнейшем для построения модели прогнозирования формирования весеннего половодья и меженного стока чисто снегового генезиса с исключением паводков дождей и ледниковых составляющих, была проведена проверка полученных множественных регрессионных уравнений (табл. 3) за период 2000...2023 гг. для рек Оба и Ульби (табл. 5, рис. 4).

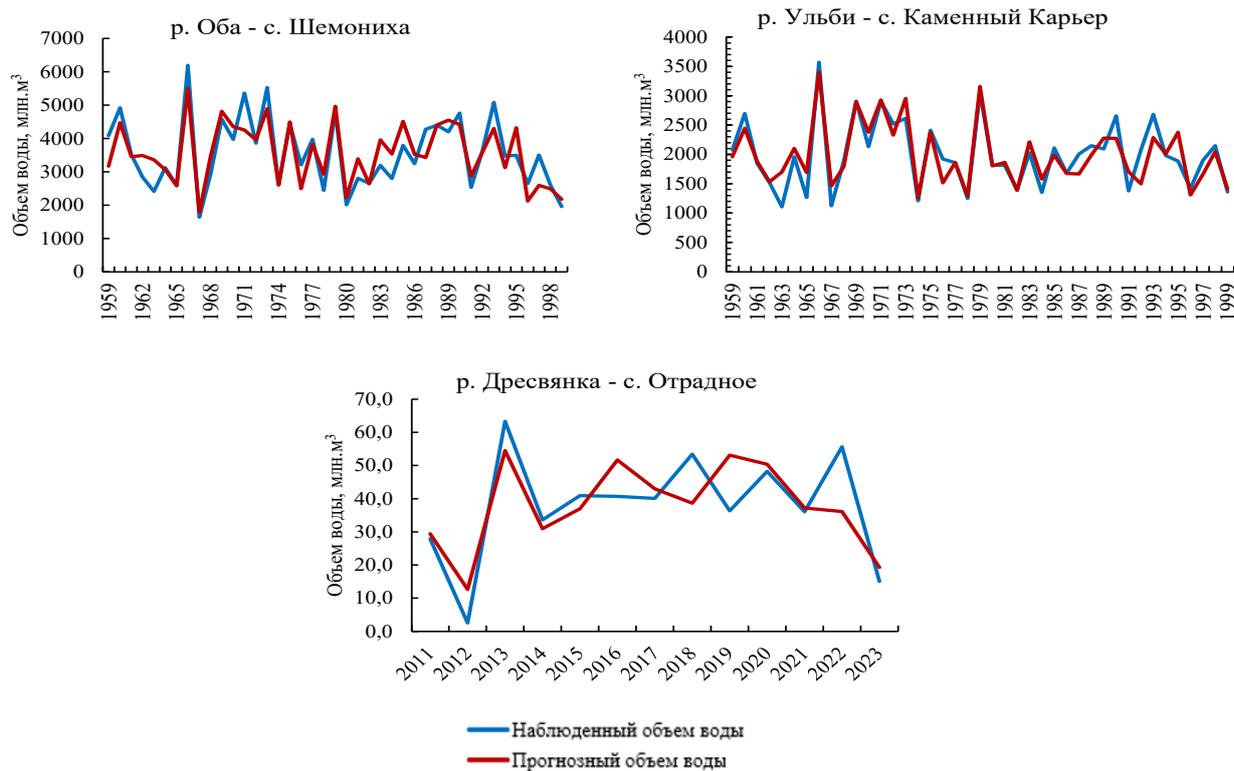


Рис 3. Наблюденные и рассчитанные по уравнениям объемы половодья

Полученные результаты прогнозирования объемов половодья с 2000 по 2023 гг. (табл. 5, рис. 4), показали, что данная методика может быть использована для дальнейшего применения при прогнозировании формирования половодья в результате таяния снега.

В данном случае отношение средней

квадратичной ошибки проверочных прогнозов ( $S$ ) к среднему квадратичному отклонению ( $\sigma$ ) свидетельствует о достаточно высокой адекватности и применимости данного подхода в оперативной практике, а также в других исследовательских и прикладных направлениях.

Таблица 3

Регрессионная статистика и уравнения прогнозов объема половодья

Река	Период	Факторы	Годы	R	$\sigma_{\text{станд}}$	Уравнения регрессии	S/ $\sigma$
Оба	1958...1999	$X_{\text{осадки}}(XI...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}$	40	0,74	738	$Y = 27,8 * L_{\text{прод.пол.}} + 13,1 * X_{\text{осадки}} - 222,5 * T_{\text{воздуха}} + 2155,7$	0,69
Ульби	1958...1999	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}$	40	0,68	440	$Y = 10,9 * L_{\text{прод.пол.}} + 7,4 * X_{\text{осадки}} - 155,9 * T_{\text{воздуха}} + 1584,3$	0,76
Дресвянка	2011...2023	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}$	13	0,78	11,9	$Y = 0,68 * L_{\text{прод.пол.}} + 0,04 * X_{\text{осадки}} - 0,77 * T_{\text{воздуха}} + 10,9$	2,78

Таблица 4

Регрессионная статистика и уравнения прогнозов объема половодья

Река	Период	Факторы	Годы	R	$\sigma_{\text{станд}}$	Уравнения регрессии	S/ $\sigma$
Оба	1958...1999	$X_{\text{осадки}}(XI...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}, Q_{\text{мин зим}}$	40	0,86	574,2	$Y = 38,6 * L_{\text{прод.пол.}} + 9,0 * X_{\text{осадки}} - 98,4 * T_{\text{воздуха}} + 7,7 * \Delta W^{i-1} + 20,7 * Q_{\text{мин}}$	0,53
Ульби	1958...1999	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}$	40	0,91	267,0	$Y = 19,3 * L_{\text{прод.пол.}} + 3,6 * X_{\text{осадки}} - 34,5 * T_{\text{воздуха}} + 9,7 * \Delta W^{i-1} - 2,0 * Q_{\text{мин}}$	0,46
Дресвянка	2011...2023	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}$	13	0,79	12,4	$Y = 0,68 * L_{\text{прод.пол.}} + 0,03 * X_{\text{осадки}} - 0,27 * T_{\text{воздуха}} - 0,87 * \Delta W^{i-1} + 1,62$	0,49

Таблица 5

Результаты прогнозирования объемов весеннего половодья за 2000...2023 гг.

Река	Период	Факторы	Годы	R	$\sigma_{\text{станд}}$	Уравнения регрессии	S/ $\sigma$	Оправдываемость
Оба	2000...2023	$X_{\text{осадки}}(XI...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}$	23	0,90	1090	$Y = 38,6 * L_{\text{прод.пол.}} + 9,0 * X_{\text{осадки}} - 98,4 * T_{\text{воздуха}} + 7,7 * \Delta W^{i-1} + 20,7 * Q_{\text{мин}} - 1161,6$	0,35	89 %
Ульби	2000...2023	$X_{\text{осадки}}(II...IV), T_{\text{воздуха}}(V...VII), L_{\text{прод.пол. дни}}, \Delta W^{i-1} \text{ объем влг.}$	23	0,80	594	$Y = 19,3 * L_{\text{прод.пол.}} + 3,6 * X_{\text{осадки}} - 34,5 * T_{\text{воздуха}} + 9,7 * \Delta W^{i-1} - 2,0 * Q_{\text{мин}} - 552,4$	0,51	86 %

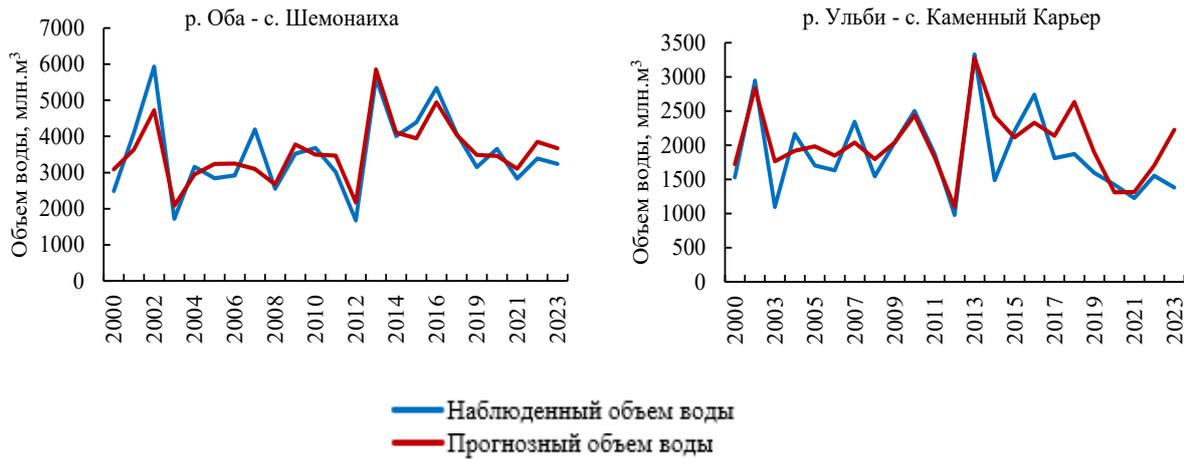


Рис 4. Наблюденные и рассчитанные объемы половодья за период 2000...2023 гг.

Прогнозирование продолжительности половодья. Немаловажной характеристикой весеннего половодья является его продолжительность которой теоретически напрямую зависел бы от сумм атмосферных осадков за холодный период, средней температура возду-

ха за период половодья, дата начала половодья, в ходе проведения множественного регрессионного анализа которых получены результаты  $r=0,71$  и  $S/\sigma = 0,74$  для реки Оба,  $r=0,69$  и  $S/\sigma = 0,78$  для реки Ульби и  $r=0$  и  $S/\sigma = 0$ , для реки Дресвянка (таблица 6).

Таблица 6

Регрессионная статистика и уравнения прогнозов объема половодья

Период	Факторы	Годы	R	Станд.	Уравнения регрессии	S/σ
Оба	$X_{\text{осадки}} (XI...IV)$ , $T_{\text{воздуха}} (IV...VII)$ , $D_{\text{дата.нач.пол. день}}$ , $Q_{\text{мин.зим.меж.}}$ , $\Delta W^{i-1}$ объем вдг	41	0,71	9,8	$Y = 0,05 * X_{\text{осадки}} - 0,04 * \Delta W^{i-1} - 6,04 * T_{\text{воздуха}} - 0,98 * D_{\text{дата.нач.пол}} - 0,02 * Q_{\text{мин.зим.меж}} + 44667$	0,74
Ульби	$X_{\text{осадки}} (II...IV)$ , $T_{\text{воздуха}} (V...VII)$ , $D_{\text{дата.нач.пол. день}}$ , $Q_{\text{мин.зим.меж.}}$ , $\Delta W^{i-1}$ объем вдг	41	0,69	9,0	$Y = 0,01 * X_{\text{осадки}} - 0,06 * \Delta W^{i-1} - 5,83 * T_{\text{воздуха}} - 0,96 * D_{\text{дата.нач.пол}} - 0,09 * Q_{\text{мин.зим.меж}} + 43518$	0,78

Но в то же время с добавлением косвенного показателя  $\Delta W$  подземного водопоглощения бассейна реки намного улучшились статистические характеристики уравнения множественной регрессии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Всерассмотренные факторы, такие как атмосферные осадки, температура воздуха, увлажненность почвы на формирование на уровне и расхода воды, продолжительность половодья, паводка, меженного периода показали значимые результаты для дальнейшего их использования в прогностической

модели формирования весеннего половодья.

В то же время в проделанной работе применен дополнительный фактор исходящий из разностей гидрологических характеристик, косвенно обрисовывающий показатели водоемкости почво-грунтов водосборов рек Оба, Ульби и Дресвянка, наравне с другими основными гидрометеорологическими факторами влияющих на формирование весеннего половодья и меженного стока чисто снегового генезиса, который хоть и ненамного, но все-таки улучшил характеристики множественного регрессионного анализа.

Вновь вводимый дополнительный фактор показал свою работоспособность в применении для прогнозирования характеристик таких как продолжительность половодья и меженного стока.

Для прогнозирования меженного стока без дождевых паводков этот фактор оказался единственным применимым с хорошей результативностью показателем.

Этот фактор является комплексным показателем учитывающий все свойства почво-грунтов такие как влагоемкость, пористость, высота капиллярного поднятия воды, коэффициент фильтрации грунтов и т.д. от которых зависит вся динамика подземного стока всего водосбора и во время весеннего половодья, и во время меженного стока полученных косвенным способом.

В то же время, применение всех факторов в совокупности позволил получить высокие коэффициенты с высокими критериями применимости в прогностических моделях характеристик множественного регрессионного анализа.

Результаты настоящей работы будут использоваться для построения модели непрерывного прогнозирования фаз гидрологического режима рек Оба, Ульби и Дресвянка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волковская Н. П., Мезенцева О. В. АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕСЕННЕГО ПОЛО-ВОДЬЯ РЕКИ ИРТЫШ У ГОРОДА ОМСКА //ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПРИРОДЫ: Материалы VIII Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. – Томск: ООО «Парус», 2019. –85 с.
2. Terekhov, A.G., Ivkina, N.I., Abayev, N.N., Galayeva, A.V., Yeltay, A.G. Streamflow response of the Ural River to basin snow depth changes during 2001-2019 *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2020. – 17(5). – 181–190 p.
3. Kauazov A., Tillakarim T., Salnikov V., Polyakova S. Assessment of changes in the area of snow cover in Kazakhstan from 2000 to 2022 // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. – 2023. – Т. 20. – №1. – С. 298–305.
4. Tillakarim, T., Kauazov, A., Gafurov, A., Sairov, S. SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF WATER RESERVES IN SNOW COVER IN THE NURA-SARYSU WATER BASIN. *Izdenister Natigeler*. – 2023. – No3 (99). – 292–307 p. <https://doi.org/10.37884/3-2023/30>
5. Тореханова, Н. С., Алдиярова, А. Е., Зулпыхаров, Б. А. Особенности формирования гидрологического режима реки Ертис на территории Казахстана в условиях антропогенной деятельности. Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий. – 2019. - № 2. – 218 с.
6. Семенова, А. В., Буковский, М. Е. Зависимость пика весеннего половодья в верховьях реки Цны от климатических факторов. *Географический вестник*, – 2022. - №1 (60). – 87-99 с. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99
7. Болатова А.А., Тиллакарим Т.А., Раимжанова М.Н. Применение гидрологической модели HBV для прогнозирования стока рек на примере бокового притока воды в Шульбинское водохранилище // *Гидрометеорология и экология*, 2019. – №3. – 26-43 с.
8. Гальперин Р.И. Высокие половодья в Северной половине Казахстана // *Вопросы географии и геоэкологии*, 2013. – № 1. – 3-10 с.
9. Болатова А.А., Тиллэкәрім Т.А., Раимжанова М.Н., Серікбай Н.Т., Багитова Б.Е., Болатов К.М. Результаты калибрования гидрологической модели HBV для горных рек Казахстана // *Гидрометеорология и экология*, 2018. – №3. – 110-124 с.
10. Нурбаcina, А. А., Дидовец, Ю., Лобанова, А. Адаптация гидрологической модели SWIM для прогнозирования стока равнинных рек Казахстана во время паводков/половодья. *Гидро-метеорология и экология*, 2019. – №3 (94). – 45-60 с.
11. Serikbay, N.T.; Tillakarim, T.A.; Rodrigo-Illarri, J.; Rodrigo-Clavero, M.-E.; Duskayev, K.K. Evaluation of Reservoir Inflows Using Semi-Distributed Hydrological Modeling Techniques: Application to the Esil and Moildy Rivers' Catchments in Kazakhstan. *Water*. 2023. - No15. – 2967 p. <https://doi.org/10.3390/w15162967>
12. Тиллакарим, Т., Серікбай Н., Сатмурзаев А., Саиров, С. Моделирование стока горных рек Илейского Алатау с применением модели HBV-light. *Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов*, 2024. – No 10(1). – p. 1-20. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-1/1-20.rus>
13. Tillakarim, T., Serikbay, N., Rakishev, D., Sairov, S. MODELING RIVER RUNOFF OF LITERAL TRIBUTARIES OF THE BUKTYRMA RESERVOIR WITH USING HBV MODEL. *Journal of Geography & Environmental Management*, 2023. – No 70(3). doi.org/10.26577/JGEM.2023.v70.i3.08

14. Bolatova, A., Krysanova, V., Lobanova, A., Bolatov, K. Assessment of climate change impacts for two tributary basins of the Irtysh River in Kazakhstan. *Climate Research*, 2023. No 91. – 159-174 p.
15. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Ленинград.: Гидрометеоиздат, 1965. – 691 с.
16. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление, Т. VII, Кн. 1: Возобновляемые ресурсы поверхностных вод западного, северного, центрального и восточного Казахстана/ под науч. ред. Р.И. Гальперина. – Алматы: ТОО «Арко», 2012. – 684 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. – Вып. 1. Горный Алтай и Верхний Иртыш. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 318 с.
- REFERENCES**
1. Volkovskaya N. P., Mezenceva O. V. ANALIZ FORMIROVANIYA VESENNEGO POLOVOD'YA REKI IRTYSH U GORODA OMSKA // PRIRODOPOL'ZOVANIE I OHRANA PRIRODY: Materialy VIII Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoj kon-ferencii. – Tomsk: OOO «Parus», 2019. – 85 p.
2. Terekhov, A.G., Ivkina, N.I., Abayev, N.N., Galayeva, A.V., Yeltay, A.G. Streamflow response of the Ural River to basin snow depth changes during 2001-2019 *Sovremennye Problemy Distantcion-nogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2020. – 17(5). – 181–190 p.
3. Kauazov A., Tillakarim T., Salnikov V., Polyakova S. Assessment of changes in the area of snow cover in Kazakhstan from 2000 to 2022 // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. – 2023. – Т. 20. – №1. – P. 298–305.
4. Tillakarim, T., Kauazov, A., Gafurov, A., Sairov, S. SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF WATER RESERVES IN SNOW COVER IN THE NURA-SARYSU WATER BASIN. *Izdenis-ter Natigeler*. – 2023. – No3 (99). – 292–307 p. <https://doi.org/10.37884/3-2023/30>
5. Torekhanova, N. S., Aldiyarova, A. E., Zulpjharov, B. A. Osobennosti formirovaniya gidro-logicheskogo rezhima reki Ertis na territorii Kazahstana v usloviyah antropogen-noj deyatel'nosti. *Problemy razvitiya sel'skohozyajstvennyh melioracij i vodohozyajstvennogo kompleksa na baze cifrovyyh tekhnologij*. – 2019. - № 2. – 218 p.
6. Semenova, A. V., Bukovskij, M. E. Zavisimost' pika vesennego polovod'ya v verhov'yah reki Cny ot klimaticheskikh faktorov. *Geograficheskij vestnik*. – 2022. - №1 (60). – 87-99 p. doi: 10.17072/2079-7877-2022-1-87-99
7. Bolatova A.A., Tillakarim T.A., Raimzhanova M.N. Primenenie gidrologicheskoy modeli HBV dlya prognozirovaniya stoka rek na primere bokovogo pritoka vody v SHul'binskoe vodohranilishche // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2019. – №3. – 26-43 p.
8. Gal'perin R.I. Vysokie polovod'ya v Severnoj polovine Kazahstana // *Voprosy geografii i ge-oekologii*, 2013. – № 1. – 3-10 p.
9. Bolatova A.A., Tillakarim T.A., Raimzhanova M.N., Serikbay N.T., Bagitova B.E., Bolatov K.M. Rezul'taty kalibrovaniya gidrologicheskoy modeli HBV dlya gornyyh rek Kazahstana // *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2018. – №3. – 110-124 p.
10. Nurbacina, A. A., Didovec, YU., Lobanova, A. Adaptaciya gidrologicheskoy modeli SWIM dlya prognozirovaniya stoka ravninnyh rek Kazahstana vo vremya pavod-kov/polovod'ya. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2019. – №3 (94). – 45-60 p.
11. Serikbay, N.T.; Tillakarim, T.A.; Rodrigo-Illarri, J.; Rodrigo-Clavero, M.-E.; Duskayev, K.K. Evaluation of Reservoir Inflows Using Semi-Distributed Hydrological Modeling Techniques: Application to the Esil and Moildy Rivers' Catchments in Kazakhstan. *Water*. 2023. - No15. – 2967 p. <https://doi.org/10.3390/w15162967>
12. Tillakarim, T., Serikbay N., Satmurzaev A., Sairov, S. Modelirovanie stoka gornyyh rek Ilejskogo Alatau s primeneniem modeli HBV-light. *Central'noazyatskij zhurnal issledovaniy vodnyh resursov*, 2024. – No 10(1). – p. 1-20. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-1/1-20.rus>
13. Tillakarim, T., Serikbay, N., Rakishev, D., Sairov, S. MODELING RIVER RUNOFF OF LITERAL TRIBUTARIES OF THE BUKTYRMA RESERVOIR WITH USING HBV MODEL. *Journal of Geography & Environmental Management*, 2023. – No 70(3). doi.org/10.26577/JGEM.2023.v70.i3.08
14. Bolatova, A., Krysanova, V., Lobanova, A., Bolatov, K. Assessment of climate change impacts for two tributary basins of the Irtysh River in Kazakhstan. *Climate Research*, 2023. No 91. – 159-174 p.
15. SHul'c V.L. Reki Srednej Azii. Ленинград.: Гидрометеоиздат, 1965. – 691 p.
16. Vodnye resursy Kazahstana: oценка, prognoz, upravlenie, Т. VII, Кн. 1: Vozobnavlyaemye resursy poverhnostnyh vod zapadnogo, severnogo, central'nogo i vostochnogo Kazahstana/ pod nauch. red. R.I. Gal'perina. – Алматы: ТОО «Арко», 2012. – 684 p.
17. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. – Т. 15. Altaj i Zapadnaya Sibir'. – Vyp. 1. Gornyy Altaj i Verhnij Irtysh. – L.: Гидрометеоиздат, 1969. – 318 p.

## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕР ШЕКТЕУЛІ КЕЗДЕ СУ ТАСҚЫНЫ КӨЛЕМІН БОЛЖАУДЫ ЖЕТІЛДІРУДІҢ КЕЙБІР ЖАҒДАЙЛАРЫ

С.Б. Саиров\* *к.г.н.*, Т.А. Тілләкәрім *PhD*, Н.Т. Серікбай

«Қазгидромет» РМҚ, Астана, Қазақстан

E-mail: sairov\_s@meteo.kz

Мақалада көктемгі су тасқыны ағынының көлемін болжауды жетілдіру әдістері қарастырылған. Зерттеудің негізгі нысандары – Шүлбі су қоймасының бүйірлік салалары болып табылатын Оба, Үлбі және Дресвянка өзендері. Бұл өзендер көктемгі-жазғы су тасқыны және 2...3 айдан астам созылған ағыны бар өзен түріне жатады. Зерттеудің мақсаты – көктем мен жаз мезгілдерінде қардың жиналуы мен өзеннің ағындысы арасындағы байланыс негізінде ағынды болжау әдісін әзірлеу. Ағынды сулардың пайда болуына әсер ететін гидрологиялық және метеорологиялық факторларды зерттеу нәтижелері ұсынылған, сондай-ақ көктемгі-жазғы су тасқыны кезеңінде және оның ұзақтығында ағынды болжау үшін теңдеулер келтірілген. Алынған көптік регрессия теңдеулері су тасқыны көлемін модельдеуде жоғары дәлдікті көрсетті, бақыланған және болжанған деректер арасындағы корреляция коэффициенттері 0,79-дан 0,91-ге дейін ауытқиды. S/σ критерийі бойынша есептеулерге сәйкес, алынған нәтижелер 0,46...0,53 шамасындағы көрсеткіштермен бақыланатын су тасқыны көлемдерінің жақсы өндіру критерийіне сәйкестігін көрсетеді.

**Түйін сөздер:** болжау әдістемесі, өзен ағындысы, суық кезеңдегі жауын-шашын мөлшері, ауа температурасы, су тасқынының ұзақтығы, Шүлбі су қоймасы.

## SOME ASPECTS OF IMPROVING FLOOD VOLUME FORECASTING UNDER CONDITIONS OF LIMITED HYDROMETEOROLOGICAL DATA

S. Sairov\* *candidate of geogr. Science*, T. Tillakarim *PhD*, N. Serikbay

RSE «Kazhydromet», Astana, Kazakhstan

E-mail: sairov\_s@meteo.kz

The article deals with methods of improving the forecasting of the volume of spring flood runoff. The main objects of the study are the Oba, Ulbi and Dresvyanka rivers, which are lateral tributaries of the Shulba reservoir. These rivers belong to the type of rivers with spring-summer flooding and extended flow for more than 2...3 months. The aim of the study is to develop a methodology for flow forecasting based on the relationship between snow accumulation and river flow in spring and summer periods. The results of the study of hydrological and meteorological factors affecting runoff formation are presented, and equations for forecasting runoff during spring and summer floods and its duration are derived. The obtained multiple regression equations demonstrated high accuracy in modelling flood volumes, with correlation coefficients between observed and predicted data ranging from 0,79 to 0,91. According to S/σ calculations, the results obtained indicate good reproducibility of the observed flood volumes, with values ranging from 0,46 to 0,53.

**Keywords:** forecasting methodology, water discharge, cold period precipitation, air temperature, flood duration, Shulbinskoe reservoir.

**Сведения об авторах/Авторлар туралы мәліметтер/Information about authors:**

**Саиров Серік Бияхметович** – к.ғ.н., первый заместитель генерального директора РГП «Казгидромет», г. Астана, Мәңгілік ел 11/1, *Sairov\_s@meteo.kz*

**Тілләкәрім Тұрсын Адамбекқызы** – PhD, начальник управления климатических исследований Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», г. Астана, Мәңгілік ел 11/1, *Tillakarim\_t@meteo.kz*

**Серікбай Нұрғалым Тәжібайұлы** – начальник управления моделирования гидрологических процессов и гидрологических расчетов Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», г. Астана, Мәңгілік ел 11/1, *Serikbay\_n@meteo.kz*

**Саиров Серік Бияхметұлы** – г.ғ.к., «Казгидромет» РМК бас директорының бірінші орынбасары, Астана қ., Мәңгілік ел 11/1, *Sairov\_s@meteo.kz*

**Тілләкәрім Тұрсын Адамбекқызы** – PhD, «Казгидромет» РМК Ғылыми-зерттеу орталығының Климаттық зерттеулер басқармасының бастығы, Астана қ., Мәңгілік ел 11/1, *Tillakarim\_t@meteo.kz*

**Серікбай Нұрғалым Тәжібайұлы** – «Казгидромет» РМК Ғылыми-зерттеу орталығының гидрологиялық процестерді модельдеу және гидрологиялық есептеулер басқармасының бастығы, Астана қ., Мәңгілік ел 11/1, *Serikbay\_n@meteo.kz*

**Sairov Serik** – Candidate of Geological Sciences, First Deputy Director General of RSE «Kazhydromet», Astana, Mangilik el 11/1, *Sairov\_s@meteo.kz*

**Tillakarim Tursyn** – PhD, Head of Climate Research Department, Research Centre of RSE «Kazhydromet», Astana, Mangilik el 11/1, *Tillakarim\_t@meteo.kz*

**Serikbay Nurgalym** – Head of Hydrological Process Modelling and Hydrological Calculations Department, Research Centre of RSE «Kazhydromet», Astana, Mangilik el 11/1, *Serikbay\_n@meteo.kz*

**Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution**

**Саиров С.Б.** – общее руководство, разработка концепции, разработка методологии, проведение анализа, редактирование текста

**Тілләкәрім Т.А.** – проведение расчетов, проведение анализа, подготовка и редактирование текста

**Серікбай Н.Т.** – подготовка и редактирование текста

**Саиров С.Б.** – жалпы басшылық, тұжырымдаманы әзірлеу, әдіснаманы әзірлеу, талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу

**Тілләкәрім Т.А.** – есептеулер жүргізу, талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу

**Серікбай Н.Т.** – мәтінді дайындау және өңдеу

**Sairov S.B.** – general management, concept development, methodology development, analyses, text editing

**Tillakarim T.A.** – calculations, analyses, text preparation and editing

**Serikbay N.T.** – text preparation and editing