

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 556.182:626/628

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗВРАТНЫХ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД С ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ АРИДНЫХ ЗОН

Ф.Х. Хикматов¹, Н.Л. Фролова², Г.Х. Юнусов³, Ю.С. Даценко⁴

^{1,3} Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, гидрометеорологический факультет, кафедра гидрологии суши

^{2,4} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши

¹ Проф., д-р геогр. наук; e-mail: hikmatov_f@mail.ru

² Проф., зав. кафедрой, д-р геогр. наук; e-mail: frolova_nl@mail.ru

³ Доц., зав. кафедрой, д-р геогр. наук; e-mail: yunusov-g@mail.ru

⁴ Д-р геогр. наук; e-mail: yuri0548@mail.ru

Статья посвящена изучению зависимости возвратных коллекторно-дренажных вод с крупных орошаемых массивов от объемов водозабора для целей ирригации и общей площади посевов. Задача решена на примере орошаемых земель Бухарской области Узбекистана. Расчеты выполнены в трех вариантах с применением объективного метода выравнивания и нормализации корреляционных связей. Получены уравнения нормализованной регрессии, характеризующие связь между коллекторно-дренажным стоком, объемом водозабора по Аму-Бухарскому каналу и площади орошаемых земель. Они имеют довольно высокие значения коэффициентов множественной корреляции. На основе третьего варианта этих уравнений построена расчетная номограмма. Произведена оценка точности номограммы. Результаты показали, что она может быть использована как для расчета, так и в целях прогноза коллекторно-дренажного стока с крупных орошаемых массивов аридных зон.

Ключевые слова: водозабор, орошаемый массив, корреляция, уравнение регрессии, расчетная номограмма, модель

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.2.12

ВВЕДЕНИЕ

В аридных зонах мира, куда и относится территория Узбекистана, вода и жизнь неразделимы. Здесь вода является основным ключевым фактором для производства продовольствия, охраны здоровья, достойной жизни и развития человечества. Это указывает на необходимость более рационального управления и бережного использования водных ресурсов в Узбекистане. Сегодня в Узбекистане, с одной стороны, наблюдается острый дефицит водных ресурсов, а с другой – из-за применения в орошаемом земледелии старых примитивных методов орошения формируется огромное количество возвратных вод. Поэтому проведение более углубленных исследований по количественной оценке величины возвратных вод орошаемых территорий с целью их повторного использования в сельском хозяйстве и других отраслях экономики имеет актуальное значение.

Первые научные сведения о возвратных водах с орошаемых полей среднеазиатского региона относятся к концу 1920 – началу 1930-х гг. В 1925 г. А.В. Чаплыгиным опубликована монография под названием «Урегулирование водного хозяйства Ферганской долины». Спустя некоторое время, в 1933 и 1935 гг., этот вопрос рассматривался М.А. Шмидтом на примере бассейна р. Тупалангдара. Им изучены вопросы взаимосвязи оросительных и возвратных вод некоторых оазисов Узбекистана. В этих исследованиях впервые использован термин «возвратные воды».

В последующем этим вопросом занимались В.П. Светицкий [Светицкий, 1972], С.Ш. Мирзаев [1989], В.А. Духовный [Духовный, 1984], Ф.Э. Рубинова [Рубинова, 1981], Е.К. Хайитов [Хайитов, 2017] и др. Следуя их определениям, под возвратными коллекторно-дренажными водами нами понимается ирригационная составляющая динамиче-

ских запасов стока грунтовых вод и поверхностный сток оросительных вод с полей.

Предшествующими исследователями доказано, что возвратный сток состоит из подземной и поверхностной составляющих [Геткер и др., 1975; Рубинова, 1987; Харченко, Левченко, 1972]. Подземная составляющая возвратного стока формируется из естественного подземного притока на орошаемую площадь и фильтрационных потерь с орошаемых полей, ирригационной системы и атмосферных осадков, выпадающих на данную территорию. Поверхностная составляющая возвратных вод может формироваться из сбросов с орошаемых полей и из оросителей, а также из стока талых снеговых и дождевых вод.

Как отмечает Ф.Э. Рубинова, фильтрационные потери с орошаемых полей и ирригационной сети, а также сбросы с орошаемых полей и из борозд связаны с ирригацией, поэтому относятся к антропогенным факторам, а остальные зависят от природных условий, которые, в свою очередь, также зависят от хозяйственной деятельности человека [Харченко, Левченко, 1972; Рубинова, 1987; Фролова, 2006].

Следует отметить, что вклады упомянутых выше факторов в процесс формирования возвратного стока с орошаемых территорий существенно отличаются и их значения зависят от природно-водохозяйственной обстановки. Однако в любом случае объем возвратных коллекторно-дренажных вод с орошаемых массивов зависит от поверхностного стока, т. е. от объема водозабора для целей орошения. Такой вывод подтверждается результатами регрессионного анализа, выполненного Ф.Э. Рубиновой на примере Ферганского, Чирчик-Ахангаран-Келесского и Голодностепского ирригационных районов [Рубинова, 1987].

Эти результаты исследования Ф.Э. Рубиновой показали, что в Ферганском и Голодностепском ирригационных районах возвратный сток с орошаемых полей тесно коррелируется с водозабором текущего ($0,81 \leq r \leq 0,91$) и предшествующего годов ($r = 0,74 \div 0,93$).

Как правильно отмечают Ф.Э. Рубинова, С.И. Харченко и другие [Рубинова, 1991; Харченко, Левченко, 1972], современная гидрометрия позволяет непосредственно измерить лишь внутрисистемную, т. е. поверхностную составляющую возвратных вод, концентрирующихся в коллекторно-дренажной сети с контура крупных орошаемых массивов. В связи с этим суммарный возвратный коллекторно-дренажный сток (КДС), т. е. русловая и внутрисистемная его составляющие оцениваются приближенно как остаточный член уравнения водного баланса орошаемой территории. В данном случае, отмечая преимущество методов водного

баланса, необходимо также отметить возможности гидрометрического метода.

Отсутствие в настоящее время точной оценки значений составляющих суммарной затраты стока не позволяет применить метод водного баланса для количественной оценки КДС с орошаемой территории Бухарской области.

В качестве альтернативного варианта к решению данной проблемы нами предлагается разработать многофакторную зависимость КДС от определяющих его факторов. Для решения этой задачи в нашем распоряжении находятся материалы по КДС, величине водозабора из реки Амударья по Аму-Бухарскому каналу и орошаемых площадей за период с 1962 по 2015 г. С другой стороны, для решения поставленной задачи в настоящее время существуют многочисленные статистические способы установления многофакторной зависимости КДС от перечисленных выше факторов. Одним из этих способов является объективный метод выравнивания и нормализации корреляционных связей, предложенный Г.А. Алексеевым [Алексеев, 1971].

Основной целью данной работы является статистическая оценка зависимости коллекторно-дренажного стока с орошаемых земель Бухарской области от объема водозабора и величины орошаемой площади и на ее основе разработка модели количественной оценки возвратных вод с орошаемых массивов аридных зон.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Зеравшанский оазис находится в средней части Узбекистана и является частью бассейна р. Зеравшан. Территория оазиса вытянута с востока на запад на 400–420 км, а с юга на север – в среднем на 200 км. Основная стокообразующая часть бассейна р. Зеравшан находится в пределах Республики Таджикистан. Площадь ее водосбора составляет 11 300 км². Река Зеравшан собирает свои воды с южных склонов Туркестанского хребта, обоих склонов Зеравшанского и северного склона Гиссарского хребтов.

Предварительные расчеты показали, что за 1962–2015 гг. в среднем около 67% КДС с орошаемых полей Зеравшанского оазиса принадлежат Бухарской области. Оставшаяся часть, т. е. всего лишь 33%, относится к Самаркандской (16%) и Навоийской (17%) областям. Поэтому в данной работе основное внимание уделено орошаемым посевным площадям Бухарской области.

В качестве основной исходной информации в работе были использованы материалы стандартных сетевых наблюдений на гидрологических постах, действующих в системе Минсельводхоза и

Госкомприроды Республики Узбекистан. Предварительный анализ исходных материалов позволил выделить следующие периоды: 1962–1985 гг. – постепенного улучшения водообеспеченности изучаемой территории; 1986–2015 гг. – лимитированного водообеспечения (рис. 1).

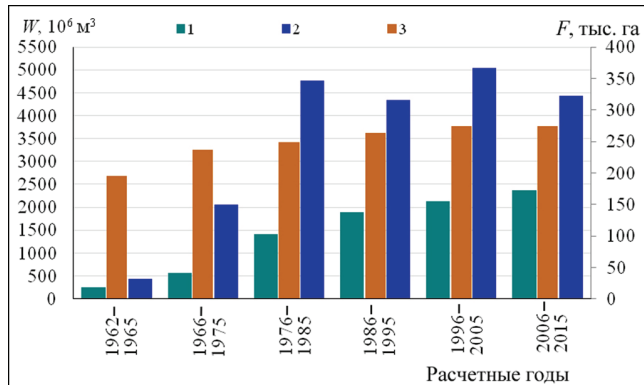


Рис. 1. Динамика орошаемой площади, объемов КДС и водозабор по Аму-Бухарскому каналу:

1 – орошаемая площадь, тыс. га; 2 – коллекторно-дренажный сток, км³; 3 – водозабор из Амударьи по Аму-Бухарскому каналу, км³

Fig. 1. Dynamics of irrigated area, volumes of collector-drainage runoff (CDR) and water withdrawal through the Amu-Bukhara canal:

1 – irrigated area, thousand ha; 2 – collector-drainage runoff, km³; 3 – water intake from the Amu Darya River through the Amu-Bukhara canal, km³

При установлении многофакторной связи возвратного коллекторно-дренажного стока ($W_{\text{КДС}}$) с орошаемой территории Бухарской области в качестве основных аргументов нами использованы объем водозабора из Аму-Бухарского канала ($W_{\text{АБ}}$) и площади орошаемых земель ($F_{\text{оз}}$) Бухарской области. Расчеты выполнены с использованием объективного метода выравнивания и нормализации корреляционных связей, предложенного Г.А. Алексеевым [Алексеев, 1971].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для условий Средней Азии, в том числе для орошаемых массивов Узбекистана, известны попытки М.И. Геткера и его соавторов [Геткер и др., 1975], Г.Х. Исмаиловой и его коллег [Исмаилов, Федоров, 1981], Ф.Э. Рубиновой [Рубинова, 1987] и других [Харченко и др., 1972, Харченко, 1975; Рубинова и др., 1988; Рубинова, Иванов, 2005] оценить величину возвратных вод при помощи упрощенного уравнения водного баланса орошаемой территории:

$$Y_{\text{воз}} = Y_{\text{вз}} - P, \quad (1)$$

где $Y_{\text{воз}}$ – потенциальный возвратный сток с орошаемой территории, $Y_{\text{вз}}$ – суммарный водозабор на орошаемую площадь, P – суммарные затраты стока на испарение с орошаемых полей и перелогов, аккумуляцию влаги в почвогрунтах и промышленно-коммунальное водопотребление.

Расчеты по установлению зависимости коллекторно-дренажного стока с орошаемых полей Бухарской области от определяющих факторов, выполнялись описанным выше методом в трех следующих вариантах: 1) для периода постепенного улучшения водообеспеченности изучаемой территории (1962–1985); 2) для периода лимитированного водообеспечения (1986–2015); 3) за весь период (1962–2015).

Как видно, при определении расчетных вариантов нами учитывались условия водообеспеченности орошаемых земель и изменения водохозяйственной обстановки в пределах орошаемых массивов Бухарской области.

Определялись нормализованные значения исходных переменных, в нашем случае объем коллекторно-дренажного стока [$U_0(W_{\text{КДС}})$] с орошаемых полей рассматриваемой области, объем водозабора [$U_1(W_{\text{АБ}})$] по Аму-Бухарскому каналу для цели орошения и площадь орошаемых земель [$U_2(F_{\text{оз}})$].

В результате выполнения соответствующих расчетов получено уравнение нормализованной регрессии:

$$U_0(W_{\text{КДС}}) = \alpha_{01} \cdot U_1(W_{\text{АБ}}) + \alpha_{02} \cdot U_2(F_{\text{оз}}). \quad (2)$$

Уравнение (2) характеризует связь между коллекторно-дренажным стоком ($W_{\text{КДС}}$) и определяющими его факторами, т. е. объемом водозабора по Аму-Бухарскому каналу ($W_{\text{АБ}}$) и площадью орошаемых земель ($F_{\text{оз}}$).

Анализ рассчитанных значений парных коэффициентов корреляции и коэффициентов регрессии можно произвести для каждого варианта или для всех вариантов в целом (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что второй вариант расчета характеризуется наименьшими значениями как парных коэффициентов корреляции, так и коэффициентов регрессии. Парный коэффициент корреляции между объемом водозабора по Аму-Бухарскому каналу ($W_{\text{АБ}}$) и площадью орошаемых земель ($F_{\text{оз}}$) имеет слабое отрицательное значение ($r_{12} = -0,091$), что объясняется уменьшением площади посевов в годы независимости республики за счет устранения хлопковой монокультуры, начиная с 1991 г. Это может быть также связано как с ошибками при учете и оценке коллекторно-дренажных вод, так и экстремальными, т. е. маловодными и многоводными условиями их формирования.

Таблица 1

Вычисленные значения парных коэффициентов корреляции и коэффициентов регрессии

Варианты расчета	Парные коэффициенты корреляции			Коэффициенты регрессии	
	r_{01}	r_{02}	r_{12}	α_{01}	α_{02}
1	0,835	0,581	0,548	0,739	0,176
2	0,444	0,248	-0,091	0,469	0,290
3	0,745	0,895	0,633	0,297	0,706

Для всех вариантов были получены уравнения нормализованной регрессии (2), которые отличаются только значениями коэффициентов регрессии (табл. 2).

Полученные для различных расчетных вариантов уравнения нормализованной регрессии характеризуются довольно высокими значениями полных коэффициентов множественной корреляции (r_0) (см. табл. 2). Их значения колеблются в пределах от $0,529 \pm 0,141$ до $0,923 \pm 0,021$. При этом расхождения в оценках коэффициентов корреляции оказались в пределах ошибок их расчета.

Рассчитанные нами уравнения нормализованной регрессии имеют тот же порядок, как и вышеупомянутые уравнения регрессии, полученные Ф.Э. Рубиновой для различных ирригационных районов бассейна Сырдарьи [Рубинова, 1987; Хикматов и др., 2020; Хикматов и др., 2017; Руководство..., 1986; Трунова, 1984; Наставление..., 1993]. Полученные нами уравнения нормализованной регрессии ре-

комендуются для расчета и прогноза возвратных коллекторно-дренажных вод с крупных орошаемых массивов Бухарской области. При этом принимается, что в ближайшей перспективе условия их формирования существенно не изменятся.

Для удобства выполнения расчетов и прогнозов коллекторно-дренажного стока нами предложена графическая интерпретация уравнения нормализованной регрессии, полученного для третьего варианта. Она осуществляется с использованием зависимости между исходными и нормализованными переменными, реализуется в виде номограммы, которая представлена на рисунке 2. Эта номограмма нами принимается как модель количественной оценки возвратных вод с орошаемых территорий аридных зон. Ее можно использовать как для расчета, так и для прогноза в расчетных и в прогностических целях коллекторно-дренажного стока.

Таблица 2

Уравнения нормализованной регрессии и их полные коэффициенты множественной корреляции

Варианты расчета	Уравнения нормализованной регрессии	$r_0 \pm \sigma_{r_0}$
1	$U_0(W_{\text{КДС}}) = 0,739 \cdot U_1(W_{\text{АБ}}) + 0,176 \cdot U_2(F_{\text{ОЗ}})$	$0,846 \pm 0,061$
2	$U_0(W_{\text{КДС}}) = 0,469 \cdot U_1(W_{\text{АБ}}) + 0,290 \cdot U_2(F_{\text{ОЗ}})$	$0,529 \pm 0,141$
3	$U_0(W_{\text{КДС}}) = 0,297 \cdot U_1(W_{\text{АБ}}) + 0,706 \cdot U_2(F_{\text{ОЗ}})$	$0,923 \pm 0,021$

Примечание: r_0 – полный коэффициент множественной корреляции, σ_{r_0} – ошибка полного коэффициента корреляции.

Оценка надежности построенной номограммы для расчетных целей произведена путем сопоставления фактически наблюдаемых ($W_{\text{КДС}}^{\text{ф}}$) и рассчитанных ($W_{\text{КДС}}^{\text{р}}$) по номограмме величин КДС. Результаты расчетов показали их хорошую сходимость. Коэффициент корреляции между ними равен $0,775 \pm 0,037$ (рис. 3).

Анализ результатов сопоставления показал, что из рассмотренных 54 случаев в 31 случае абсолютная ошибка меньше 30%, в 12 случаях – до 40%, а в остальных 11 она составляет около 50% и более. В среднем погрешность рассчитанных по номограмме величин КДС составляет 28%.

Наибольшие отклонения от средней линии имеют многоводные (1969) и маловодные (1974) и следующие за ними 1975, 1976, 1977 гг. (см. рис. 3). В связи с этим во втором варианте из расчета исключен многоводный 1969 г., когда во всем среднеазиатском регионе выпало атмосферных осадков в $1,5 \div 2,0$ раза больше нормы. В результате резко увеличилась доля атмосферных осадков в формировании коллекторно-дренажного стока с орошаемых полей, что привело к большим погрешностям. Исключение 1969 г. обеспечило повышение значения коэффициента корреляции ($0,791 \pm 0,035$), характеризующего связь между

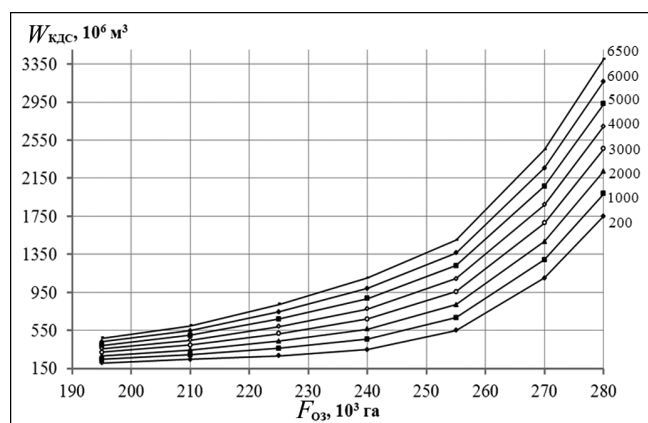


Рис. 2. Номограмма для расчета и прогноза коллекторно-дренажного стока

Fig. 2. Nomogram for calculation and forecast of collector-drainage runoff

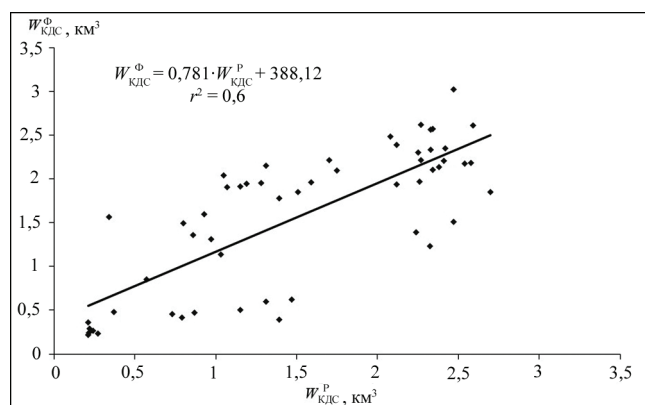


Рис. 3. График связи рассчитанных по номограмме ($W_{\text{КДС}}^P$) и фактически наблюдаемых ($W_{\text{КДС}}^Ф$) величин КДС

Fig. 3. Graph of the correlation of the calculated according to the nomogram ($W_{\text{КДС}}^P$) and actually observed ($W_{\text{КДС}}^Ф$) values of collector-drainage runoff

фактически наблюдаемыми и рассчитанными значениями КДС.

В третьем варианте дополнительно к многоводному 1969 г. из расчета исключены маловодные 1975 и 1976 гг., когда наблюдались наибольшие погрешности между фактически наблюдаемыми и рассчитанными по номограмме величинами КДС. Теснота связи в результате увеличилась по сравнению с предыдущими вариантами, коэффициент корреляции и его ошибка равны $0,813 \pm 0,032$.

В перспективе с целью повышения точности расчетов на графике связи $W_{\text{КДС}}^Ф = f(W_{\text{КДС}}^P)$ (см. рис. 3) можно провести две линии, разделив его на две части. Первая часть, расположенная под прямой линией, характеризует маловодные годы на Амударье, а вторая, расположенная над прямой, – многоводные годы.

Учитывая изложенные результаты, полученная нами номограмма рекомендуется для оценки величины коллекторно-дренажного стока с орошаемых полей Бухарской области. Преимущество этой модели заключается в том, что расчеты

КДС по ней можно осуществлять на основе минимума информации – объема водозабора и площади орошаемых земель. Это дает возможность применить данную модель для оценки КДС с орошаемых земель неизученных районов других аридных территорий.

Как отмечено выше, номограмму (см. рис. 2) также можно использовать для прогноза коллекторно-дренажного стока с орошаемых полей. Оценка ее надежности для прогностических целей выполнена на основе наставления [Наставление..., 1993], утвержденного Узгидрометом при Кабинете министров Республики Узбекистан (ныне при МЧС Республики Узбекистан) (табл. 3).

Отношение S/σ в различных вариантах расчета колеблется в пределах $0,62 \div 0,67$ (см. табл. 3), т. е. для всех расчетных вариантов предлагаемая нами прогностическая зависимость и построенная на ее основе прогностическая номограмма удовлетворяют требованиям, предъявляемым к гидрологическим прогнозам.

Таблица 3

Оценка точности и эффективности разработанной методики прогноза коллекторно-дренажного стока

Варианты оценки	Коэффициент корреляции и его ошибка, $r \pm \sigma_r$	Критерии оценки качества и эффективности прогноза				
		σ	δ_m	S	S/σ	$P, \%$
1-й вариант	$0,78 \pm 0,04$	801	± 539	538	0,67	66,7
2-й вариант	$0,79 \pm 0,04$	807	± 544	516	0,64	69,8
3-й вариант	$0,81 \pm 0,03$	795	± 536	493	0,62	72,5

Примечание: $r \pm \sigma_r$ – коэффициент корреляции и его ошибка; δ_m – абсолютная погрешность методики прогноза; S – средняя квадратическая ошибка проверочных прогнозов, 10^6 м^3 ; σ – среднее квадратическое отклонение предсказываемой величины, 10^6 м^3 ; P – обеспеченность методики прогноза, %.

ВЫВОДЫ

На основе расчетов множественной корреляции между возвратным КДС с орошаемых массивов Бухарской области, объемом водозабора и общей площадью посевов получены уравнения нормализованной регрессии. Предложена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде номограммы, которую можно использовать как в расчетных, так и в прогностических целях КДС с

орошаемых земель Бухарской области. В среднем, абсолютная погрешность рассчитанных по номограмме величин коллекторно-дренажного стока составляет 28%; а критерий качества предложенной методики прогноза S/σ в различных вариантах расчета колеблется в пределах $0,62 \div 0,67$. Наибольшие ошибки в прогнозах отмечены в экстремально многоводные или, наоборот, экстремально маловодные годы.

Благодарность. Работа выполнена в рамках научного сотрудничества кафедр гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова и НУУз имени Мирзо Улугбека. Авторы статьи приносят искреннюю благодарность своим коллегам за советы, предложения и поддержку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. Л.: ГМИЗ, 1971. 363 с.
- Геткер М.И., Куропатка Л.М., Рубинова Ф.Э. Сток возвратных вод в бассейне р. Сырдарьи и его влияние на минерализацию речной воды в современных условиях и в перспективе // Тр. САННИИРИ, 1975. Вып. 25(106). С. 3–22.
- Духовный В.А. Водохозяйственный комплекс в зоне орошения. Формирование, развитие. М.: Колос, 1984. 255 с.
- Исмайлов Г.Х., Федоров В.М. Исследование закономерностей формирования возвратных вод в бассейне Сырдарьи // Водные ресурсы. 1981. № 4. С. 5–20.
- Мирзаев С.Ш., Каримов А.Х. Основы совместного использования подземных вод на орошение. Ташкент: Фан, 1989. 103 с.
- Наставление по службе прогнозов. Л.: ГМИЗ, 1993. 193 с.
- Рубинова Ф.Э. Изменение стока и минерализации рек аридных бассейнов под влиянием водных мелиораций // Современные проблемы гидрологии орошаемых земель. М.: Изд-во МГУ. 1981. Ч. II. С. 119–127.
- Рубинова Ф.Э. Влияние водных мелиораций на сток и гидрохимический режим рек Аральского моря // Тр. САННИИРИ, 1987. Вып. 124(205). 159 с.
- Рубинова Ф.Э., Доронина С.И., Хасанов О.З. Водный баланс территории бассейна р. Зеравшан (зона влияния Аму-Бухарского канала) // Тр. САННИИРИ, 1988. Вып. 127(208). С. 78–88.
- Рубинова Ф.Э. Развитие антропогенной гидрологии в Средней Азии. М.: Гидрометеиздат, 1991. 54 с.
- Рубинова Ф.Э., Иванов Ю.Н. Качество воды рек бассейна Аральского моря и его изменение под влиянием хозяйственной деятельности. Ташкент: НИГМИ Узгидромет, 2005. 185 с.
- Руководство по использованию дренажных вод на орошение сельскохозяйственных культур и промывки засоленных земель. Ташкент: САННИИРИ, 1986. 70 с.
- Светицкий В.П. Изменение ресурсов возвратных вод в бассейнах рек Амударьи и Сырдарьи в перспективе // Тр. САННИИРИ. 1972. Вып. 133. С. 101–109.
- Трунова Т.А. Ирригационный возвратный сток, его качество и использование в бассейне Амударьи // Сб. ин-та «Средазгипроводхлопок». Ташкент, 1984. С. 17–31.
- Фролова Н.Л. Гидрология рек (антропогенные изменения речного стока): учеб. пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2006. 112 с.
- Хайитов Е.К. Формирование возвратно-сточных вод Зеравшанского оазиса, их очистка и вторичное использование: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Ташкент: НИИГМИ, 2017. 68 с.
- Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. Л.: ГМИЗ, 1975. 373 с.
- Харченко С.И., Левченко Г.П. Методика определения возвратных вод с орошаемых земель // Тр. ГГИ. 1972. Вып. 199. С. 3–67.
- Хикматов Ф.Х., Хайитов Е.К., Аденбаев Б.Е., Юнусов Г.Х., Эрлапасов Н.Б. О корреляции возвратных вод с орошаемых массивов с объемом водозабора и площадью посевов // Вестник НУУз, 2017. № 3/2. С. 370–373.
- Хикматов Ф.Х., Юнусов Г.Х. и др. Закономерности формирования водных ресурсов горных рек в условиях изменения климата (монография). Ташкент: FTNМУ, 2020. 232 с.

Поступила в редакцию 25.06.2022

После доработки 16.08.2022

Принята к публикации 22.09.2022

QUANTITATION OF RETURN COLLECTOR-DRAINAGE WATER FROM THE IRRIGATED AREAS IN ARID ZONES

F.H. Khikmatov¹, N.L. Frolova², G.Kh. Yunusov³, Yu.S. Datsenko⁴

^{1,3} Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Faculty of Hydrometeorology, Department of Land Hydrology

^{2,4} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology

¹ Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: hikmatov_f@mail.ru

² Professor, Head of department, D.Sc. in Geography; e-mail: frolova_nl@mail.ru

³ Associate Professor, Head of department, D.Sc. in Geography; e-mail: yunusov-g@mail.ru

⁴ D.Sc. in Geography; e-mail: yuri0548@mail.ru

The article deals with the study of the dependence of return collector-drainage water from the large irrigated areas on the volume of water withdrawal for irrigation purposes and the total area of crops. The task is solved in the context of irrigated lands in the Bukhara region of Uzbekistan. Three variants of calculation were performed using an objective method of equalizing and normalizing correlations. Equations of normalized regression are obtained that characterize the relationship between the collector-drainage runoff, the volume of water intake from the Amu-Bukhara canal and the area of irrigated land. Their total multiple correlation coefficients are rather high. Based on the third variant of these equations, a calculated nomogram was plotted. The accuracy of the nomogram was assessed. The results showed that it can be used both for calculation and forecast of collector-drainage runoff from the large irrigated land areas in arid zones.

Keywords: water intake, irrigated massif, correlation, regression equation, calculated nomogram, model

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of scientific cooperation between the Departments of Land Hydrology of the Lomonosov Moscow State University and Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan. The authors express their sincere gratitude to their colleagues for advice, suggestions and support.

REFERENCES

- Alekseev G.A. *Obektivnye metody vyравnivanja i normalizatsii korrelyatsionnykh svyazey* [Objective methods of alignment and normalization of correlations], Leningrad, GMIZ, 1971, 363 p. (In Russian)
- Duhovnyj V.A. *Vodohozhajstvennyj kompleks v zone orosheniya. Formirovanie, razvitiye* [Water management complex in the irrigation zone. Formation, and development], Moscow, Kolos Publ., 1984. 255 p. (In Russian)
- Frolova N.L. *Gidrologiya rek (antropogennye izmeneniya rechnogo stoka)* [Hydrology of rivers (anthropogenic changes in river flow)], tutorial, Moscow, Faculty of Geography, MSU 2006, 112 p. (In Russian)
- Getker M.I., Kuropatka L.M., Rubinova F.Je. *Stok vozvratnykh vod v bassejne r. Syrdar'i i ego vliyanie na mineralizatsiyu rechnoy vody v sovremennykh usloviyakh i v perspektive* [The flow of return waters in the basin of the Syr Darya River and its influence on the mineralization of river water under current conditions and in the future], *Tr. SARNIGMI*, 1975, iss. 25(106), p. 3–22. (In Russian)
- Hajitov E.K. *Formirovanie vozvratno-stochnykh vod Zeravshanskogo oazisa, ih ochildka i vtorichnoe ispol'zovanie*, avtoref. dis. ... dokt. geogr. nauk [Formation of return-waste waters of the Zeravshan oasis, their purification and reuse, Ph.D. dis. ... doc. geogr. sciences], Tashkent, NIIGMI Publ., 2017, 68 p. (In Russian)
- Harchenko S.I. *Gidrologiya oroshayemykh zemel'* [Hydrology of irrigated lands], Leningrad, GMIZ Publ., 1975, 373 p. (In Russian)
- Harchenko S.I., Levchenko G.P. *Metodika opredeleniya vozvratnykh vod s oroshayemykh zemel'* [Methodology for determining return waters from irrigated lands], *Tr. GGI*, 1972, iss. 199, p. 3–67. (In Russian)
- Hikmatov F.H., Junucov G.H. et al. *Zakonomernosti formirovaniya vodnykh resursov gornyykh rek v usloviyakh izmeneniya klimata* [Regularities of formation of water resources under the climate change], Tashkent, FTNMU Publ., 2020, 232 p. (In Russian)
- Hikmatov F.H., Hajitov Jo.K., Adenbaev B.E., Yunusov G.H., Jerlapasov N.B. *O korrelyatsii vozvratnykh vod s oroshayemykh massivov s ob'emom vodozabора i ploshchad'yu posevov* [On the correlation of return waters from irrigated areas with the volume of water withdrawal and the area under crops], *Vestnik NUUZ*, 2017, no. 3/2, p. 370–373. (In Russian)
- Ismaylov G.H., Fedorov V.M. *Issledovanie zakonomernostey formirovaniya vozvratnykh vod v bassejne Syrdar'i* [Study of patterns of formation of return waters in the Syr Darya River basin], *Vodnye resursy*, 1981, no. 4, p. 5–20. (In Russian)
- Mirzaev S.Sh., Karimov A.H. *Osnovy sovmestnogo ispol'zovaniya podzemnykh vod na oroshenie* [Basics of sharing groundwater for irrigation], Tashkent, Fan Publ., 1989, 103 p. (In Russian)
- Nastavlenie po sluzhbe prognozov* [Manual on Forecasting Service], Leningrad, GMIZ Publ., 1993, 193 p. (In Russian)
- Rubinova F.Je. [Changes in runoff and mineralization of rivers in arid basins under the influence of water reclamation], *Sovremennye problemy gidrologii oroshayemykh zemel'* [Current issues of hydrology of irrigated lands], Moscow, MGU Publ., 1981, ch. II, p. 119–127. (In Russian)
- Rubinova F.Je. *Razvitiye antropogennoy gidrologii v Sredney Azii* [Development of the anthropogenic Hydrology in

- Middle Asia], Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1991, 54 p. (In Russian)
- Rubanova F.Je. Vlijanie vodnyh melioracij na stok i gidrohimicheskij rezhim rek Aral'skogo morja [Influence of water reclamation on the runoff and hydrochemical regime of the rivers of the Aral Sea], *Tr. SANIIRI*, 1987, iss. 124(205), 159 p. (In Russian)
- Rubanova F.Je., Doronina S.I., Hasanov O.Z. Vodnyj balans territorii bassejna r. Zeravshan (zona vlijaniya Amu-Buharskogo kanala) [The water balance of the territory of the basin of the Zeravshan River basin (zone of influence of the Amu-Bukhara Canal)], *Tr. SANIIRI*, 1988, iss. 127(208), p. 78–88. (In Russian)
- Rubanova F.Je., Ivanov Ju.N. *Kachestvo vody rek bassejna Aral'skogo morja i ego izmenenie pod vlijaniem hozjajstvennoj dejatel'nosti* [Water quality of the rivers of the Aral Sea basin and its change under the influence of economic activity], Tashkent, NIGMI Uzgidromet Publ., 2005, 185 p. (In Russian)
- Rukovodstvo po ispol'zovaniju drenaznyh vod na oroshenie sel'skohozjajstvennyh kul'tur i promyvki zasolennyh zemel'* [Guidelines for the use of drainage water for irrigation of crops and leaching of saline lands], Tashkent, SANIIRI Publ., 1986, 70 p. (In Russian)
- Svetickij V.P. Izmenenie resursov vozvratnyh vod v bassejnah rek Amudar'i i Syrdar'i v perspektive [Changes in return water resources in the Amu Darya and Syr Darya river basins in the future], *Tr. SANIIRI*, 1972, iss. 133, p. 101–109. (In Russian)
- Trunova T.A. Irrigacionnyj vozvratnyj stok, ego kachestvo i ispol'zovanie v bassejne Amudar'i [Irrigation return flow, its quality and use in the Amu Darya River basin], sb. in-ta "Sredazgiprovodhlopok", Tashkent, 1984, p. 17–31. (In Russian)

Received 25.06.2022

Revised 16.08.2022

Accepted 22.09.2022