

УДК 536.16

Канд. геогр. наук А.Г. Чигринец<sup>1</sup>  
Д.Д. Арыстамбекова<sup>1</sup>

**ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ  
РАВНИННЫХ РЕК КАЗАХСТАНА НА ПРИМЕРЕ  
БАССЕЙНА Р. ЕСИЛЬ**

**Ключевые слова:** пункт-аналог, корреляция, слой стока, естественный сток, однородность ряда, норма стока, коэффициент вариации, погрешность расчёта

*В работе приводятся результаты исследований изменения характеристик стока весеннего половодья рек Есильского водохозяйственного бассейна. Результаты получены на основании рядов, приведенных к естественному режиму, за четыре выбранных к расчету периода: наблюдаемому; репрезентативному многолетнему 1933...2012 гг.; периоду с естественным стоком 1933...1974 гг. и восстановленному естественному 1975...2012 гг.*

Исследование характеристик стока весеннего половодья рек в условиях равнинного Казахстана является очень важной водохозяйственной задачей. Слой, объем весеннего стока и величина максимальных расходов половодья широко применяются в практике проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений. Надежность и обоснованность гидрологических характеристик стока зависят от продолжительности наблюдений за режимом той или иной реки. Актуальность исследований связана с тем, что характеристики стока весеннего половодья рек по рассматриваемой территории были получены ещё в 60...70-е годы прошлого века. В связи со значительным удлинением рядов наблюдений, а также климатическими изменениями и усилением антропогенного влияния эти данные нуждаются в уточнении.

Объектом данных исследований являются основные реки Есильского водохозяйственного бассейна, относящегося к равнинному Казахстану. Это область недостаточного увлажнения с ярко выраженным континентальным климатом, где годовой сток невелик и на 80...90 % определяется талым стоком за период половодья.

---

<sup>1</sup> КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

*Есильский водохозяйственный бассейн* расположен на севере Республики Казахстан и включает в себя только верхнюю часть территории бассейна р. Есиль, а нижняя часть бассейна реки относится к территории России.

Основной водной артерией является р. Есиль (Ишим) с рядом крупных притоков, стекающих на севере с возвышенности Кокшетау, а на юге с отрогов гор Улытау. Равнинность значительной части территории, большое количество бессточных понижений создают благоприятные условия для задержания вод поверхностного стока и образования озёрных водоёмов. Бессточные области могут составлять до половины площади водосбора реки и более.

На рассматриваемой территории расположено около 45 водохранилищ, однако многолетнее глубокое регулирование стока р. Есиль осуществляется только двумя водохранилищами: Астанинским (Вячеславским) ( $W_{\text{полез.}} = 375,4$  млн. м<sup>3</sup>) и Сергеевским ( $W_{\text{полез.}} = 635$  млн. м<sup>3</sup>).

Гидрологические условия равнинного Казахстана достаточно специфичны. Местный сток образуется, но в связи с большой сухостью климата – лишь в короткий период снеготаяния, причем условия его формирования сильно различаются в маловодные и многоводные годы.

В маловодные годы почти весь талый сток тратится на заполнение депрессий рельефа и плесовых лощин в руслах водотоков, сток ничтожен, формируется он преимущественно скоплениями снега в русле, действующая площадь водосбора мала; гидрологические условия приближаются к условиям пустынь.

В многоводные годы депрессии рельефа переполняются, дают сток в основное русло, действующая водосборная площадь многократно увеличивается. Дружная весна способствует беспрепятственному поступлению талых вод в русла рек, их потери минимальны, и половодье обычно бывает высоким даже при небольших снегозапасах.

Этим определяется специфичность гидрологических условий данного района – чрезвычайная неравномерность стока во времени как в многолетнем разрезе, так и в течение года. Таким образом, в связи с исключительной ролью снега в процессе формирования поверхностного стока основной фазой водного режима всех рек данного района является резко выраженное весеннее половодье [1].

Для создания базы данных исследований стока весеннего половодья Есильского водохозяйственного бассейна были использованы следующие кадастровые материалы: «Ресурсы поверхностных вод районов це-

линьных и залежных земель» (Акмолинская, Северо-Казахстанская и Кокчетавская области); «Основные гидрологические характеристики» за 1963...1975 гг.; «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» (МДС) за 1976...2000 гг., а также «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» (ЕДС) за 2001...2012 гг. По последним данным ЕДС в бассейне р. Есиль в настоящее время действует 25 гидрологических постов наблюдений за жидким стоком. Всего в бассейне р. Есиль выявлено в общей сложности 52 гидрологических поста, регистрирующих жидкий сток, действовавших в разное время и имеющих ряды различной продолжительности.

Характерной особенностью гидрологической изученности речного стока бассейна р. Есиль является кратковременность наблюдений на большинстве постов и неравномерность их размещения по территории. Используя собранные сведения о гидрологической изученности исследуемой территории, была создана база данных по стоку весеннего половодья на реках Есильского водохозяйственного бассейна. Она содержит информацию о стоке весеннего половодья по 32 гидропостам района исследования. Необходимо отметить, что собранные материалы наблюдений на реках рассматриваемой территории не всегда имеют удовлетворительное качество. Имеются пропуски в наблюдениях как за отдельные месяцы и годы, так и за ряд лет. Для восстановления пропусков в рядах наблюдений за слоем стока весеннего половодья рек и приведения их к репрезентативному периоду, были также собраны данные о среднегодовых расходах на выбранных опорных гидропостах. Это обусловлено тем, что годовой сток рек исследуемой территории формируется в основном в период весеннего половодья за счет талых снеговых вод, а дождевые осадки в большинстве случаев только незначительно дополняют снеговое питание. При этом доля весеннего стока составляет 95...98 % от годового. В связи с этим реконструкция рядов слоя стока за период весеннего половодья была начата с восстановления и реконструкции рядов среднегодового стока, так как между ними имеется хорошая связь с высоким коэффициентом корреляции.

Восстановление пропусков в рядах стока воды было проведено с привлечением данных пунктов-аналогов. При этом были соблюдены требования [3, 7]. В качестве примера приводится описание восстановления пропусков по основным створам р. Есиль.

**В створе р. Есиль – г. Астана** ряды наблюдений за годовым стоком имеются с 1933 по 2005 гг., а за стоком в период половодья – с 1933 по

1969 г. Отсутствие данных о слое весеннего половодья связано с началом эксплуатации Астанинского (Вячеславского) водохранилища многолетнего регулирования, которое нарушило естественный сток р. Есиль. В связи с этим было произведено восстановление пропусков в наблюдениях естественного стока реки за период с начала влияния водохранилища и бытового стока за период его работы. Восстановление пропусков в данных наблюдений за стоком воды произведено с использованием связи расходов смежных месяцев, средних расходов за период весеннего стока (апрель – май) и среднегодовых расходов, а также с использованием наблюдений в пунктах-аналогах. Вначале были восстановлены пропуски месячных значений за период естественного стока 1956 г. и бытового за 1971, 1972, 1992, 1995 гг. по связи смежных месяцев ( $R = 0,73$ ), затем среднегодовых значений по связи с расходами за период весеннего стока (апрель – май). Коэффициент корреляции  $R = 0,98$ , а уравнение регрессии –  $Q_{cp.год} = 0,17Q_{IV-V} + 0,70$ . Далее восстановлены пропуски в рядах наблюдений за период бытового стока – 1978, 2006...2012 гг. по связи с пунктом-аналогом р. Есиль – с. Тургеневка. Коэффициент корреляции  $R = 0,89$ , а уравнение регрессии  $Q_{cp.год} = 0,12Q_{аналог} - 0,40$ .

Для восстановления естественного стока за период работы Астанинского водохранилища был использован метод аналогии, с привлечением естественного стока р. Есиль в створе с. Тургеневка. Коэффициент корреляции  $R = 0,99$ , а уравнение регрессии –  $Q_{cp.год} = 1,33Q_{аналог} + 0,34$ . Восстановлены 1967...1970 и 1999...2000 гг. Кроме этого была использована методика восстановления естественного стока реки, приведенная в «Методических указаниях по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановление его характеристик» [2], учитывающая влияние руслового водохранилища при отсутствии данных режимных наблюдений с учетом данных о его полезной ёмкости. Таким образом, был восстановлен естественный сток р. Есиль – г. Астана за 1971...1998, 2001...2012 гг.

Для восстановления пропусков в рядах наблюдений за слоем стока весеннего половодья и приведения ряда к репрезентативному периоду была использована тесная связь со среднегодовыми значениями расходов воды, представленная на рис. 1. Коэффициент корреляции связи  $R = 0,99$ , а уравнение регрессии  $h = 4,10Q_{cp.год} - 1,04$ . Восстановлены 1968...2012 гг.

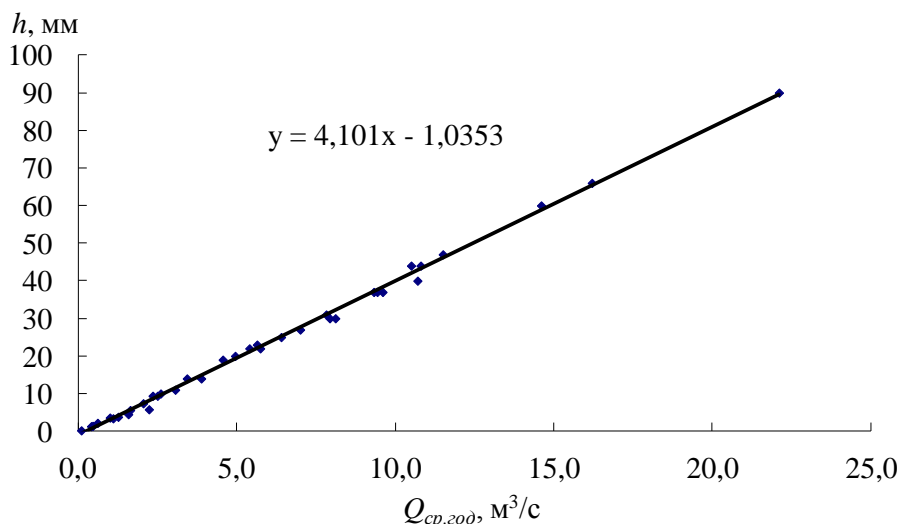


Рис. 1. Связь среднегодовых расходов и слоя стока половодья р. Есиль – г. Астана.

**В створе р. Есиль – г. Петропавловск** ряды наблюдений за годовым стоком имеются с 1933 по 2012 гг., а за стоком в период половодья – с 1933 по 1967 гг. Отсутствие данных о слое весеннего половодья связано с началом в 1969 г. эксплуатации Сергеевского водохранилища многолетне-го регулирования, которое нарушило естественный сток р. Есиль. Было произведено восстановление пропусков в наблюдениях естественного стока реки за период с начала влияния водохранилища и бытового за период работы поста. Восстановление пропусков в наблюдениях за стоком воды произведено с использованием связи средних расходов за период вегетации (май – сентябрь) и среднегодовых расходов, а также с использованием наблюдений на пунктах-аналогах. Вначале были восстановлены пропуски месячных значений за 1986 г. по связи смежных месяцев ( $R = 0,88$ ), затем среднегодовых значений по связи с расходами за период стока за вегетационный период (май – сентябрь) до строительства водохранилища (1969 г). Коэффициент корреляции  $R = 0,96$ , а уравнение регрессии  $Q_{ср.год} = 0,46Q_{V-IX} + 10,04$ . Восстановлены 1959, 1968 и 1969 гг. И после его строительства – коэффициент корреляции  $R = 0,94$ , а уравнение регрессии  $Q_{ср.год} = 0,50Q_{V-IX} + 9,81$ . Восстановлен 1986 г. Восстановление естественного стока в створе р. Есиль – г. Петропавловск за период 1967...1969 гг. (период наполнения до начала эксплуатации Сергеевского и Астанинского водохранилищ) произведено по связи среднегодовых рас-

ходов в пункте-аналоге р. Есиль – г. Астана. Коэффициент корреляции  $R = 0,86$ , а уравнение регрессии –  $Q_{cp.год} = 10,56Q_{аналог} - 5,38$ .

Восстановление естественного стока р. Есиль в створе г. Петропавловск после начала эксплуатации Сергеевского водохранилища (1969 г.) также произведено с применением методических указаний [2]. Естественный сток р. Есиль – г. Петропавловск восстановлен за 1970...2012 гг. Для проверки однородности ряда построена интегральная кривая (рис. 2), которая показывает однородность ряда после его восстановления. Проверка на однородность по критериям Стьюдента и Вилкоксона показала однородность полученного ряда, а критерий Фишера показал его неоднородность, связанную с длительным маловодным периодом 30-х годов 20 века.

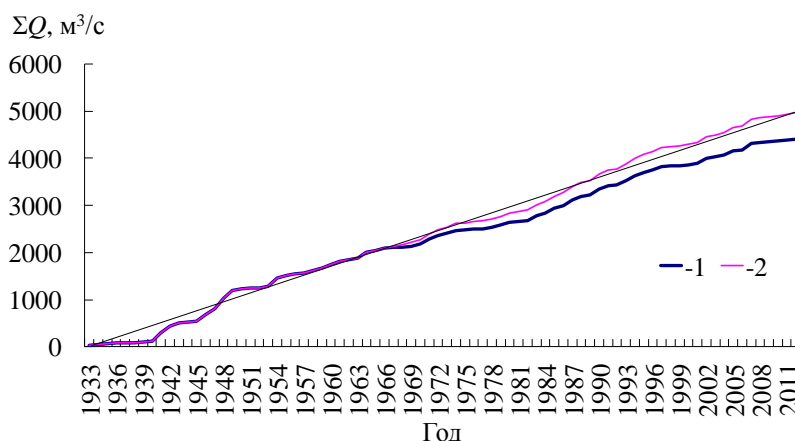


Рис. 2. Интегральная кривая среднегодовых расходов воды р. Есиль – г. Петропавловск. 1 – бытовой, 2 – естественно-восстановленный сток.

Восстановление пропусков в рядах наблюдений за слоем стока весеннего половодья и приведение ряда к репрезентативному периоду произведено по тесной его связи со среднегодовыми значениями расходов воды, представленной на рис. 3. Коэффициент корреляции связи  $\eta = 0,99$ , а уравнение регрессии  $h = 0,17Q_{cp.год}^{1,079}$ . Восстановлены величины слоя за 1967...2012 гг.

**В створе р. Есиль – с. Каменный Карьер** ряды наблюдений за годовым стоком воды имеются за период с 1947 по 1997 и с 2003 по 2012 гг., а за стоком в период половодья – с 1947 по 1969 г. Отсутствие данных о слое весеннего половодья после 1969 г. связано с началом заполнения Астанинского водохранилища, нарушившего естественный сток реки.

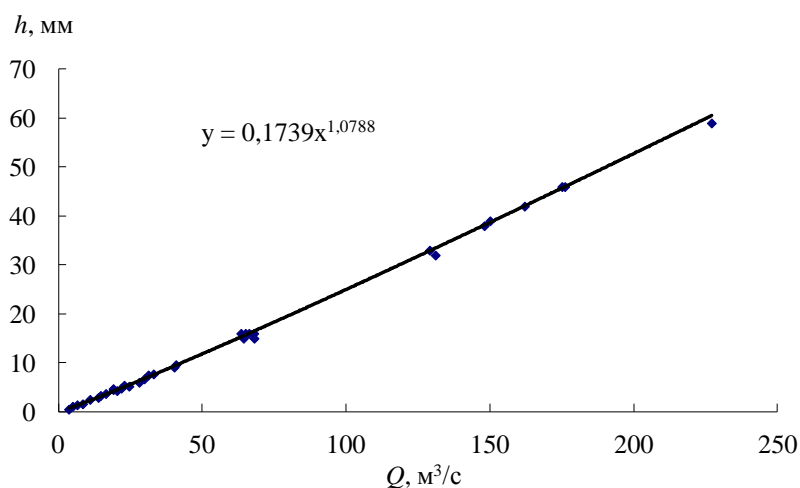


Рис. 3. Связь среднегодовых расходов и слоя стока половодья р. Есиль – г. Петропавловск.

Восстановление естественного стока и приведение ряда к репрезентативному периоду произведено с использованием пункта-аналога р. Есиль – г. Петропавловск за естественный период стока реки, рис. 4.

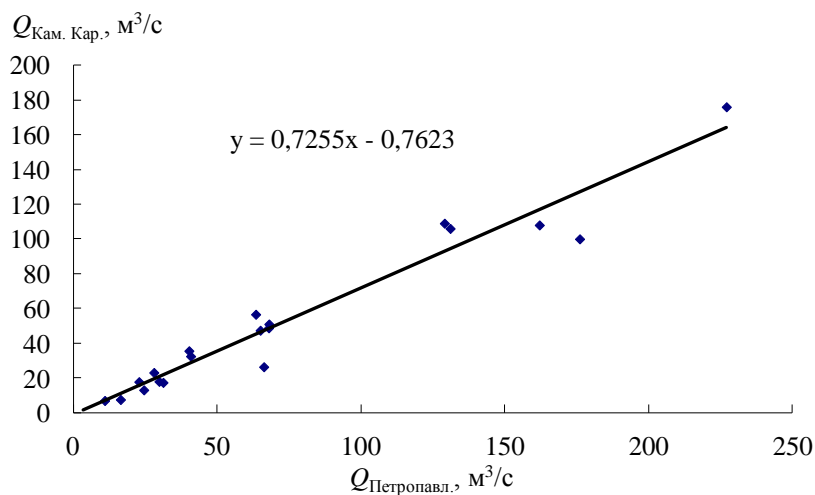


Рис. 4. Связь среднегодовых расходов воды за ненарушенный (естественный) период стока по створам р. Есиль – г. Петропавловск и р. Есиль – с. Каменный Карьер.

Коэффициент корреляции  $R = 0,97$ , а уравнение регрессии –  $Q_{ср.год} = 0,73Q_{аналог} - 0,76$ . Естественный сток р. Есиль – с. Каменный Карьер восстановлен за 1933...1946, 1956, 1967...2012 гг.

Восстановление пропусков в наблюдениях за слоем стока весеннего половодья и приведение ряда к репрезентативному периоду произведе-

но по связи со среднегодовыми значениями расходов воды, представленной на рис. 5. Коэффициент корреляции связи  $R = 0,99$ , а уравнение регрессии  $h = 0,35Q_{cp.год} - 1$ . Восстановлены данные о слое стока за половодье за периоды 1933...1946 и 1967...2012 гг.

В результате проведенной работы были восстановлены пропуски в рядах наблюдений за слоем стока весеннего половодья по 32 створам, рассмотренных в данном исследовании.

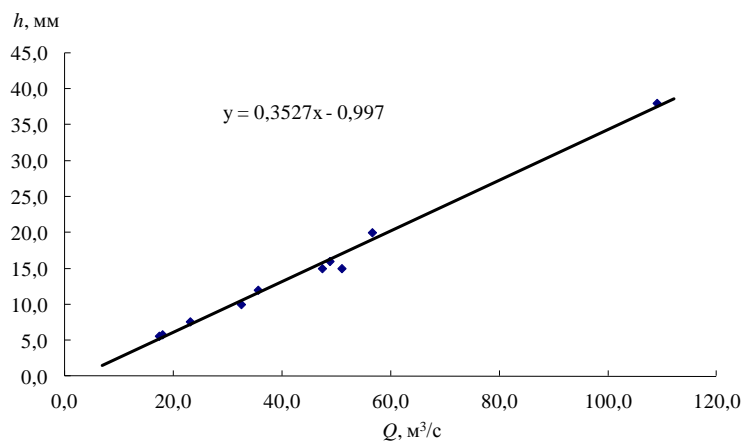


Рис. 5. Связь среднегодовых расходов и слоя стока половодья р. Есиль – с. Каменный Карьер.

Ряды проверены на однородность построением интегральных кривых по критериям Стьюдента, Фишера и Вилкоксона. Проведена оценка точности расчета нормы слоя стока, эффективности приведения нормы и коэффициентов вариации слоя весеннего стока к многолетнему периоду.

Норма стока весеннего половодья рек Есильского водохозяйственного бассейна оценена по 32 пунктам наблюдений. Данные получены в четырёх вариантах: по фактическим наблюдениям за расходами воды; по рядам, приведённым к естественному многолетнему периоду (1933...2012 гг.); за условно-естественный период (1933...1974 гг.) и за последний тридцативосьмилетний период (1975...2012 гг.) (табл.). Сопоставление нормы весеннего стока двух периодов – 1933...2012 гг. и 1975...2012 гг. показывает в одних пунктах снижение, а в других увеличение нормы стока последнего тридцативосьмилетнего периода по сравнению с общим расчетным. Уменьшение стока варьирует от 0,65 (р. Есиль – г. Петропавловск) до 29,4 % (р. Жиланды – клх. Пионерский) в среднем составляя 11,1 %. Увеличение стока варьирует от 2,0 % (р. Есиль – с. Марьевка) до 23,5 % (р. Калкутан – с. Калкутан), в среднем составляя 7,4 %.







Наибольшее увеличение нормы весеннего стока выявлено на реках Калкутан, Жабай, Жиландинка, Акканбурлук, Бабык-Бурлук, Муккур и Иманбурлук. Уменьшение нормы весеннего стока выявлено на рр. Есиль, Кумя, Жиланды, Шортанды, Мойылды и Терсаккан.

Ещё одним важным параметром, необходимым для оценки характеристик стока различной обеспеченности и рассмотренным в исследовании является коэффициент вариации годового стока. Результаты расчетов показывают в основном уменьшение величин коэффициентов. В 26 пунктах наблюдается снижение, а в шести из рассмотренных пунктов – некоторое его повышение. В среднем уменьшение величин коэффициентов вариации составило 12,1 %. В пунктах р. Есиль – с. Каменный Карьер и р. Есиль – г. Петропавловск – 16,9 и 16,5 % соответственно.

Наибольшее значение уменьшения отмечено на реках Лог Безымянный – клх. Передовик (57,0 %) и Шаггалалы – пос. Северный (41,4 %). Наименьшее значение уменьшения выявлено на реках Шортанды – с. Шортанды (2,04 %), Жабай – г. Атбасар (2,78 %) и Терсаккан – з/свх им. Гагарина (2,78 %).

Значения нормы стока весеннего половодья, полученные по приведённым к многолетнему периоду рядам, на многих реках отличаются от их значений, опубликованных в [4, 5, 6] в основном в сторону увеличения. При анализе многолетнего репрезентативного периода (1933...2012 гг.) и последнего тридцативосьмилетнего (1975...2012 гг.) периода в основном выявлено снижение нормы, причем в отдельных случаях оно может достигать 29 %. На р. Есиль в створах г. Астана, с. Державинское, с. Каменный Карьер, с. Марьевка и г. Петропавловск изменение величин слоя весеннего стока находится в пределах точности расчета. В створах с. Ударное и с. Тургеневка изменение немного превышает точность расчета (23 и 12,5 %). Значительное уменьшение величины слоя весеннего стока наблюдается в бассейнах рек Кумя – с. Идеге (17,9 %), Лог Безымянный – клх. Передовик (25,1 %), Жиланды – клх. Пионерский (29,4 %), Шортанды – с. Шортанды (18,2 %) и Мойылды – с. Николаевка (23,9 %).

На реках Калкутан, Жабай, Жиландинка, Акканбурлук, Бабык-Бурлук, Муккур и Иманбурлук наблюдается увеличение нормы стока от 4 до 23 %. Коэффициенты вариации сравниваемых периодов существенно не различаются.

После приведения рядов наблюдений к многолетнему периоду точность оценки нормы весеннего стока в основном повысилась. На отдельных

пунктах с короткими рядами наблюдений повышение составило 13...20 % (реки Есиль – с. Державинское, Терсаккан – з/свх. им. Гагарина и др.). Удлинение рядов наблюдений не во всех случаях привело к повышению точности расчёта нормы стока. Так, на р. Муккур – с. Муккур точность определения нормы понизилась на 10 %, что объясняется увеличением коэффициента изменчивости. Точность расчета нормы весеннего стока р. Есиль – г. Астана по наблюдаемым данным составляет – 25,5 %, а по восстановленным данным за условно-естественный период 1933...2012 гг. – 11,4 %, для пункта г. Петропавловск 34,7 и 12,7 %. соответственно.

После приведения ряда наблюдений к многолетнему периоду погрешность расчёта коэффициента вариации уменьшилась в среднем на 6,7 %. Погрешность расчета уменьшилась на 18 % на реке Силеты – свх. Изобильный, на 14 % – р. Муккур – с. Муккур, на 13 % – р. Терсаккан – з/свх. им. Гагарина.

Таким образом, результаты расчёта параметров слоя весеннего стока рек Есильского водохозяйственного бассейна показывают, что, за исключением отдельных пунктов, точность оценки нормы и коэффициента вариации стока не полностью отвечает требованиям, изложенным в [3, 7]. Невысокая точность оценки параметров объясняется большой изменчивостью стока, трудностью учёта влияния хозяйственной деятельности и недостаточной продолжительностью рядов наблюдений за естественным стоком.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Р.И., Давлетгалиев С.К., Чигринец А.Г., Молдахметов М.М., Махмудова Л.К., Авезова А. Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана. / АО «Национальный научно-технологический холдинг «Парасат», Институт географии АО ЦНЗМО РК – Алматы: 2011. – Т. 1. – 670 с.
2. Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановление его характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 130 с.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 444 с.
4. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Акмолинская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1958. – Вып. 1. – 790 с.

5. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Северо-Казахстанская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – Вып. V. – 420 с.
6. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Кокчетавская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – Вып. 3. – 562 с.
7. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004 – 73 с.

Поступила 10.04.2017

Геогр. ғылымд. канд. А.Г. Чигринец  
Д.Д. Арыстамбекова

### **ЕСІЛ ӨЗЕНІ АЛАБЫН ҚАРАСТЫРА ОТЫРЫП ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЖАЗЫҚ ӨЗЕНДЕРІНІҢ КӨКТЕМГІ СУ ТАСУ КЕЗЕҢІНДЕГІ АҒЫНДЫ СИПАТТАМАЛАРЫН БАҒАЛАУ**

**Түйін сөздер:** көктемгі су тасу ағындысы, аналог-тұстама, корреляция, ағынды қабаты, табиғи ағынды, қатардың біртектілігі, максималды су өтімі, ағынды нормасы, вариация коэффициенті

*Бұл жұмыста Есіл су шаруашылық алабы өзендерінің көктемгі су тасу кезеңіндегі ағынды сипаттамаларының өзгерісін зерттеу нәтижелері келтірілген. Бағалау төрт есептік кезеңдер бойынша жүргізілді: байқалған; 1933...2012 жж. репрезентативтік көпжылдық кезең; 1933...1974 жж. табиғи ағынды кезеңі және 1975...2012 жж. қалпына келтірілген табиғи кезең.*

Chigrinets A.G., Arystambekova D.D.

### **ESTIMATION OF THE SPRING FLOODS CHARACTERISTICS WITHIN SLUGGISH RIVERS OF KAZAKHSTAN ON THE EXAMPLE OF YESIL RIVER BASIN**

**Keywords:** spring flood runoff, analogue point, correlation, runoff layer, natural runoff, homogeneity of series, drainage rate, coefficient of variation, calculation margin

*The paper presents the results of studies of the changes in characteristics of spring floods runoff within the rivers of Esil water basin calculated on the basis of series reduced to the natural regime for the four chosen periods chosen: observed; long-term 1933...2012 representative; period with a natural runoff from 1933 to 1974; restored natural from 1975 to 2012.*