

9. Бунтова, О. С. Обработка результатов эксперимента // Физико-математические науки и информационные технологии: проблемы и тенденции развития: сб. ст. по материалам II Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СибАК, 2012.

10. Моделирование систем : монография / В. Т. Чемодуров, Э. В. Литвинова. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2016. – 236 с.

УДК 556.512

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОДНОГО БАЛАНСА БАСЕЙНА РЕКИ ЕСИЛЬ

*Калмашова А. Н., докторант PhD¹,
Мустафаев Ж. С., д-р тех. наук, профессор¹,
Алдиярова А. Е., доктор PhD¹,*

¹Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан

Аннотация. На основе генетической теории стока, методов математической статистики и использования многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» по гидрологической станции Доломатова и метеорологических станций Нур-Султан (Астана), Атбасар, Есиль, Рузаевка, Явленка и Петропавловск, расположенных в водосборах бассейна реки Есиль, охватывающих 1950-2017 годы, получено линейно-корреляционное уравнение с высоким коэффициентом корреляции на базе программы Microsoft Excel, характеризующее зависимость слоя стока от слоя атмосферных осадков речных бассейнов и позволяющее выявить математические и физические признаки элементов водного баланса речных бассейнов.

Ключевые слова: слой речного стока, слой атмосферных осадков, коэффициент регрессии, уравнение регрессии, генетическая теория стока, впитывание в почву, суммарное испарение.

SATISTIC MODEL OF THE WATER BALANCE OF THE ESIL RIVER POOL

*Kalmashova A. N., Doctoral Candidate PhD¹,
Mustafayev Zh. S., Doctor of Technical Sciences, Professor¹,
Aldiyarova A. E., Doctor PhD¹,*

¹Kazakh National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. Based on the genetic theory of runoff, methods of mathematical statistics and the use of long-term information and analytical materials of the RSE «Kazhydromet» at the hydrological stations of Dolomatov and the meteorological stations Nur-Sultan (Astana), Atbasar, Esil, Ruzayevka, Yavlenka and Petropavlovsk, located in the catchments of the Esil river basin within the years 1950-2017, a linear correlation equation with a high correlation coefficient was obtained on the basis of the MicrosoftExcel program, characterizing the dependence of the runoff layer on the atmospheric precipitation layer of river basins, allowing their mathematical and physical features to be identified for the elements of the river basins water balance.

Keywords: river runoff layer, atmospheric precipitation layer, regression coefficient, regression equation, genetic theory of runoff, soil absorption, total evaporation.

Введение. Речные системы в степной зоне Республики Казахстан являются важнейшим компонентом природного ландшафта, выполняющим важную природообразующую и экологическую функции. В первую очередь необходимо отметить воздействия слоя атмосферных осадков на формирование слоя речного стока. Атмосферные осадки существенно влияют на эколого-географическую специфику природных геосистем.

На водосборах речных бассейнов распределение слоя атмосферных осадков по всем расходным статьям бассейна реки Есиль, в том числе на продуктивные запасы влаги на угодьях, питание подземных вод, формирование паводкового стока, речного стока и испарение, требует необходимости изучения не только на основе методов математической статистики. Нужно установить линейно-корреляционное уравнение для определения элементов водного баланса водосбора речных бассейнов.

Цель исследования – на основе многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет», характеризующих климатические и гидрологические условия водосбора бассейна реки Есиль, изучить закономерности формирования слоя гидрологического стока в зависимости от слоя атмосферных осадков с использованием линейно-корреляционной модели водного баланса.

Объект исследований – река Есиль, берёт своё начало из родников в горах Нияз в Карагандинской области (северная окраина Казахского мелкосопочника). Река Есиль протекает по территории Республики Казахстан в пределах Акмолинской (1027 км) и Северо-Казахстанской областей (690 км), далее на протяжении 667 км пересекает Тюменскую и часть Омской области Российской Федерации и впадает в реку Ертыс на северо-западе Омской области, у села Усть-Ишим, на 1016 км от устья. Общая площадь водосбора бассейна реки Есиль 177 тыс. км², на территорию Республики Казахстан приходится 143,0 тыс. км², то есть около 73 % длины реки и 80 % площади, в пределах которых формируется около 70 % руслового стока [1, 2, 3].

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на основе многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» по метеорологическим и гидрологическим станциям, расположенным в различных природно-географических зонах в водосборах бассейна реки Есиль, охватывают 1950-2017 годы.

Методы исследований базировались на теории математической статистики. Все расчёты и построение графиков с линейного тренда были произведены в программе Microsoft Excel [4].

Результаты исследований. Для выявления математических и физических признаков коэффициента регрессии в зависимостях слоя гидрологического стока в водосборах речных бассейнов от атмосферных осадков использованы многолетние информационно-аналитические материалы РГП «Казгидромет» по гидрологической станции Доломатова и метеорологическим станциям Нур-Султан (Астана), Атбасар, Есиль, Рузаевка, Явленка и Петропавловск, расположенным в водосборном бассейне реки Есиль [5, 6, 7].

Для выполнения сравнительного анализа зависимости гидрологического стока водосбора бассейна реки Есиль от атмосферных осадков использованы многолетние данные по атмосферным осадкам метеорологических станций Нур-Султан (Астана), Атбасар, Есиль, Рузаевка, Явленка и Петропавловск и среднеарифметические значения, которые определены по

формуле $O_c^{op} = \sum_{i=1}^n O_{ci}$ (где O_{ci} – годовые атмосферные осадки i -метеороло-

гической станции, мм; n – количество метеорологических станций; O_c^{op} – среднеарифметическое значение годовых атмосферных осадков i -метеорологических станций, мм).

На основе методологического обеспечения, позволяющего прогнозирование и оценку статистических характеристик гидрологического стока [8], и использованием многолетних информационно-аналитических материалов по средним годовым расходам воды гидрологической станции Долматова и среднеарифметических значений атмосферных осадков по метеорологическим станциям, расположенным в водосборах бассейна реки Есиль, определена интегральная разностная кривая $\sum_{i=1}^n (K_i - 1)$ (где K_i – модуль средне-

годовых расходов и атмосферных осадков) среднегодовых расходов воды и атмосферных осадков, показывающая ход накопленной разности во времени, и построен их совместный график, выполненный с использованием программы Microsoft Excel (рисунок 1).

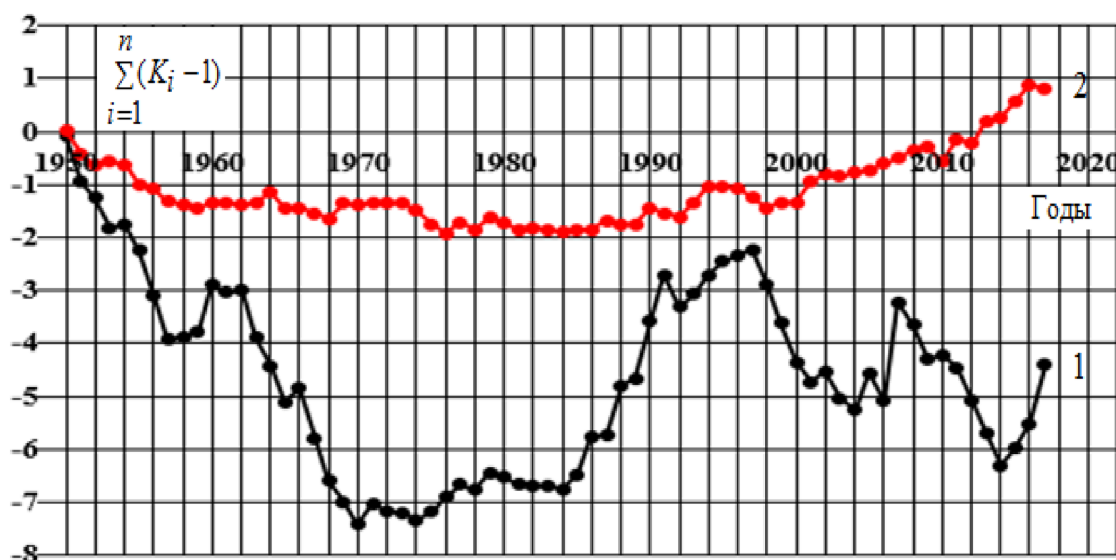


Рисунок 1 – Совместная интегральная разностная кривая среднегодовых расходов реки Есиль в створе гидрологической станции Долматова и среднегодовых атмосферных осадков по метеорологическим станциям, расположенным в бассейне реки
(1 – среднегодовые расходы реки; 2 – среднегодовые атмосферные осадки)

Как видно из рисунка 1, интегральная разностная кривая среднегодового расхода реки Есиль в створе гидрологической станции Долматова и среднегодовых атмосферных осадков по метеорологическим станциям Нурсултан (Астана), Атбасар, Есиль, Рузаевка, Явленка и Петропавловск, расположенным в бассейне реки во временном масштабе, показывают, что они по существу изменяются параллельно и сохраняются определённые синхронности между ними, которые присущи рекам степной зоны Северного Казахстана, формирующимися из таяния снежного покрова холодного и атмосферных осадков в биологически активный период года.

Для получения статистических зависимостей в виде линейного уравнения регрессии между среднегодовыми расходами реки Есиль и среднегодовыми атмосферными осадками по метеорологическим станциям Нур-Султан (Астана), Атбасар, Есиль, Рузаевка, Явленка и Петропавловск, расположенным в бассейне реки, построено их графическое изображение с использованием программы Microsoft Excel, которое показывает наличие линейного уравнения регрессии с высоким коэффициентом корреляции, имеющего следующий вид: $Y = 0.5924 \cdot X + 95.428$, $r = 0,879$ (рисунок 2).

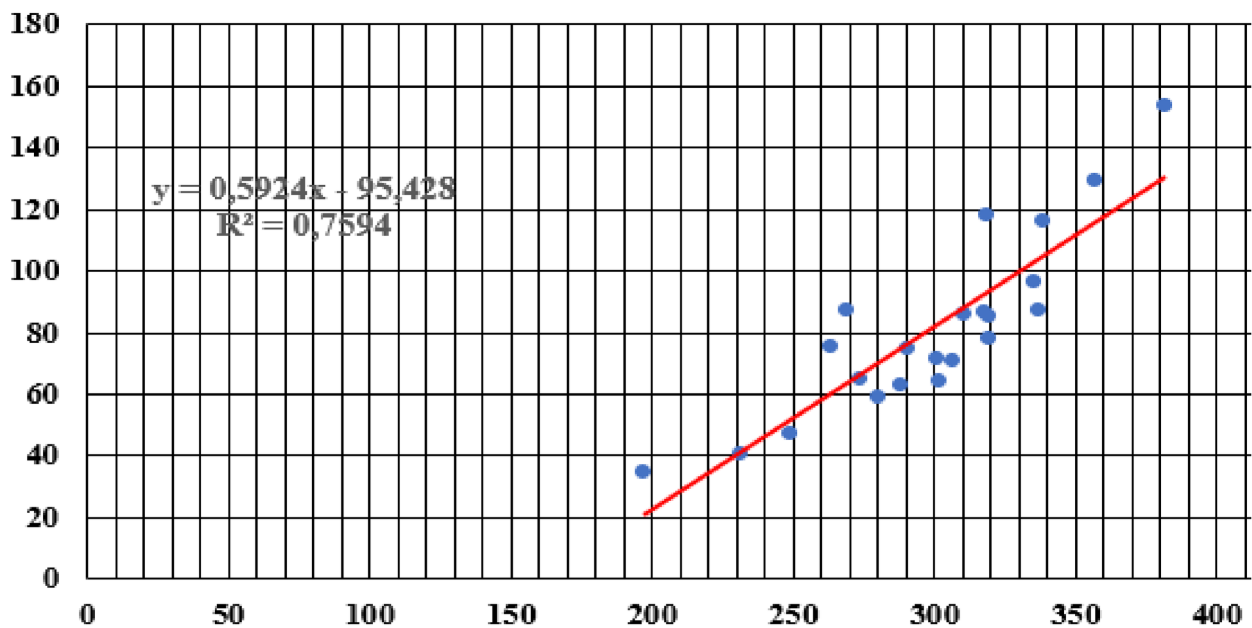


Рисунок 2 – Графическое изображение линейного уравнения регрессии между среднегодовыми расходами реки Есиль (ордината) и среднегодовыми атмосферными осадками (абсцисса) по метеорологическим станциям, расположенным в бассейне реки

Для обеспечения достоверности и надёжности функциональной, статистической и корреляционной зависимости изучаемой случайной величины от других величин, то есть годовых расходов воды реки Есиль от средних годовых атмосферных осадков по метеорологическим станциям, расположенным в бассейне реки, возникает приведение их к одинаковой размерности, то есть параметры годового расхода воды реки Есиль, охватывающие 1950-2017 гг., выраженного в $\text{м}^3/\text{с}$, переведены на слой речного стока ($Y_i, \text{мм}$), с использованием следующего математического выражения:

$$Y_i = \frac{86400 \cdot 365 \cdot 1000 \cdot Q_i}{F \cdot 10^6},$$

где Q_i – годовой расход воды реки, $\text{м}^3/\text{с}$; F – площадь водосбора бассейна реки, км^2 ; 365 – количество суток в году; 86400 – количество секунд в сутках; 10^6 – переводное число км^2 на м^2 ; 10^3 – переводное число м^3 на мм .

Таким образом, для обеспечения математических и физических признаков линейно-корреляционного уравнения с двумя неизвестными, характеризующего зависимость слоя речного стока реки Есиль (мм) и среднегодового слоя атмосферных осадков (мм) по метеорологическим станциям, расположенным в бассейне реки и охватывающим Казахстанскую часть водосборных территорий бассейна реки, составляющая 143,0 тыс. км², построен график с использованием программы Microsoft Excel (рисунок 3). Это позволило получить следующее математическое уравнение с высоким коэффициентом корреляции:

$$Y_i = 0.0394 \cdot P_i - 4,7412 \text{ (где } 0,0394=k ; 4,7412 = b , r = 0,89);$$

$$Y = k \cdot P + b.$$

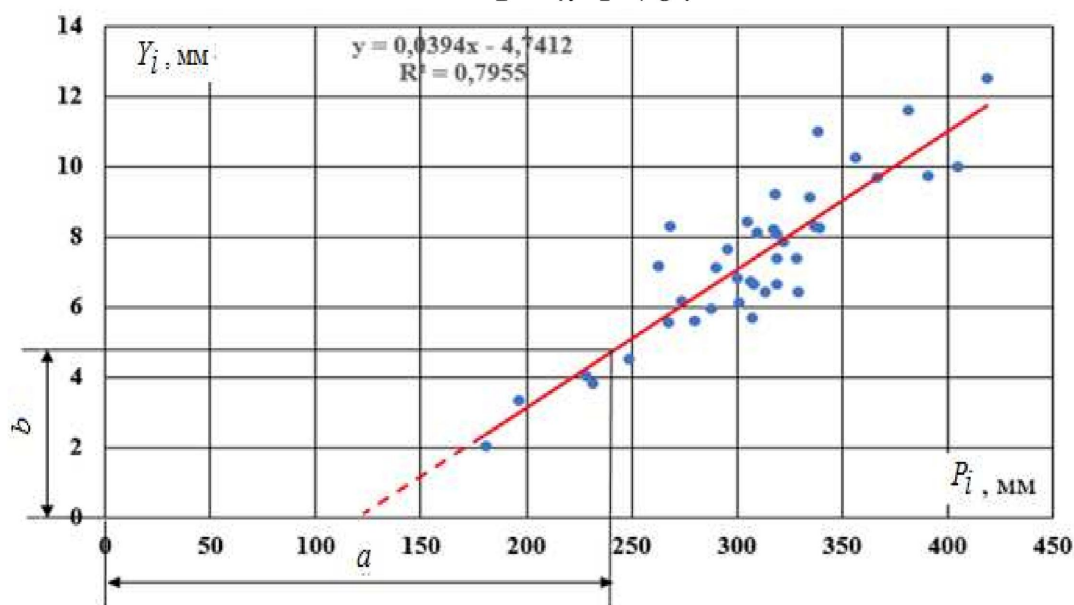


Рисунок 3 – Графическое изображение линейного уравнения регрессии между среднегодовыми слоями стока реки Есиль (ордината) (Y_i , мм) и среднегодовыми слоями атмосферных осадков (абсциса) (P_i , мм) по метеорологическим станциям, расположенным в бассейне реки

Как видно из рисунка 3, линейность корреляционной связи слоя стока реки Есиль от слоя среднегодового слоя атмосферных осадков по метеорологическим станциям, расположенным в бассейне реки, характеризует линия связи на графике, угловой коэффициент уравнения, выражается функцией тангенса $tg\alpha = 2 \cdot b / a = k$, тогда свободный член уравнения $Y = k \cdot P + b$, то есть можно представить в следующем виде: $b = a \cdot tg\alpha = k \cdot a / 2$.

При этом полученное линейно-корреляционное уравнение $Y_i = 0.0394 \cdot P_i - 4,7412$, является одной из модификаций уравнения $Y = k \cdot P + b$, связывающего речной сток с атмосферными осадками (Э.М. Ольдекоп [9], Е.В. Оппоков [10] и М.А. Великанов [11]), которые использованы для определения коэффициента стока:

$$k = \frac{Y - b}{P}.$$

Таким образом, эта система линейно-корреляционного уравнения может быть отнесена к уравнению водного баланса на основании представлений, принятых в гидрологии, генетической теории стока.

Список использованных источников

1. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление : в 21 т. – Алматы, 2012. – Т. V: Климат Казахстана – основа формирования водных ресурсов / Под ред. В.Г. Сальникова. – 430 с.
2. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление : в 21 т. – Алматы, 2012. – Т. VII: Ресурсы речного стока Казахстана. Кн.1: Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана / Под ред. Р.И. Гальперина. – 684 с.
3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – Кн. 1. – № 18. – 514 с.
4. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика (учебник). – М. : Юрайт, 2016. – 479 с.
5. Влияние климата на гидрологический режим водосбора бассейна реки Есиль / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, А.Н. Калмашова, Л.В. Кирейчева // Международный технико-экономический журнал. – 2018. – № 5. – С. 85-94.
6. Мустафаев, Ж.С. Особенности формирования гидрологического режима стока бассейна реки Есиль / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, А.Н. Калмашова // Гидрометеорология и экология. – 2018. – № 1. – С. 66-74.
7. Povilaitis. Ecological and water economic assessment of the Yesil river basin catchment area / Zh. S. Mustafayev, A. T. Kozykeyeva, A. N. Kalmashova, A. E. Aldiyarova // News of the National Academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. – 2020. – Vol. 2, no 440. – Pp. 123-131.
8. Крицкий, С.Н. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М., 1982. – 271 с.
9. Ольдекоп, Э.М. Испарение с поверхности речных бассейнов. – М. : Юрьев, 1911. – 209 с.
10. Оппоков, Е.В. Осадки, сток и испарение в бассейне Днепра выше Киева (по новейшим данным) // Исследование рек СССР. – 1935. – Вып.7. – С. 38-54.
11. Великанов, М.А. Водный баланс суши. – М. : Гидрометеиздат, 1940. – 140 с.
12. Бефани, А.Н. Основы теории ливневого стока. / Труды Одесского гидрометеорологического института. – Л. : Гидрометеиздат, 1958. – 310 с.

УДК 556.5

ЗАВИСИМОСТЬ СЛОЯ СТОКА ВОДОСБОРА БАСЕЙНА РЕКИ ТОБЫЛ ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТЕПНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Козыкеева А. Т., д-р техн. наук, доцент¹,

Тастемирова Б. Е., докторант PhD¹, Алдиярова А. Е., доктор PhD¹,

¹Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан

Аннотация. На основе многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет», характеризующих климатические условия степной зоны Северного Казахстана и РГУ «Тобыл-Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан по формированию гидрологического режима на территориях водосборов бассейна реки Тобыл путём сравнительного анализа установлена зависимость слоя речного стока от слоя атмосферных осадков и среднемесячных температур воздуха.

Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата, 2020