

УДК 556.532

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНОГО СТОКА МЕТОДОМ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ  
РАСЧЕТОВ НА ОСНОВЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА  
ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА**

*Кусаинова А.А., Мезенцева О. В.*

*Омский государственный педагогический университет, г.Омск, Российская Федерация,  
E-mail: aimarh@mail.ru mezolga@yandex.ru*

В Казахстане на сегодняшний день большой интерес представляет оценка водных ресурсов территории. В связи с недостаточным охватом территории гидрологическими наблюдениями имеющейся гидрометрической информации не всегда хватает для довольно достоверного обоснования проектирования водохозяйственных объектов и организации противопаводочных мероприятий. Следует отметить, в связи с тем, что установка гидрологических постов на водных объектах и обеспечение их гидрометрическими устройствами является затратной, встает вопрос о поиске возможных путей получения гидрологической информации, которые основываются на пространственных обобщениях вероятностных данных стока более долгих гидрометрических рядов. В статье рассмотрены возможности определения местного стока с помощью метода воднобалансовых расчетов на основе использования метеорологической информации.

**Ключевые слова:** гидрологические посты, метеорологические данные, водный баланс, гидролого-климатические расчеты, местный сток

**ВВЕДЕНИЕ**

Гидрологическая изученность большей частью вододефицитной территории Северного Казахстана представляет особую актуальность для аграрного природопользования и организации весенних противопаводковых мероприятий. Республиканское Государственное предприятие «Казгидромет» Республики Казахстан подтвердило информацию о том, что количество гидрологических постов на территории Казахстана действительно является недостаточным почти в 2,5 раза [1]. Наибольшего развития сеть гидрологических наблюдений в Казахстане получила в 1980-е годы, когда число гидропостов на реках достигало 500. С 1990-х гг. началась деградация гидрологической сети, когда количество гидрологических постов сократилось почти в три раза от прежней численности до 159 постов. Были ликвидированы службы гидрологических наблюдений и водного кадастра, прекращены водно-балансовые исследования и наблюдения за твердым стоком. С 1999 г. стало улучшаться финансирование сети гидрологических наблюдений, начали восстанавливаться ранее закрытые направления деятельности. С 2000 г. возобновлены работы по подготовке и выпуску гидрологических ежегодников. С 2002 г. за счет бюджетного финансирования планомерно увеличивается количество гидрологических постов.

В то же время на данный момент в Казахстане имеются 328 метеостанций, 307 гидрологических постов, 25 снегомерных станций в горных районах. Данное количество наблюдательных пунктов все же является недостаточным для

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНОГО СТОКА МЕТОДОМ ВОДОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ НА ОСНОВЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ...

проведения полноценного гидрологического мониторинга огромной территории страны. На сегодняшний день принята госпрограмма по развитию агропромышленного комплекса где отражена необходимость увеличения гидрологических постов. По расчетам Всемирной метеорологической организации, для качественного ведения мониторинга за водными объектами на территории Казахстана необходимо не менее 800 гидропостов (рис.1).



Рис. 1. Охват гидрологическим мониторингом водных ресурсов Казахстана (%).

По данным рис. 1 можно увидеть, что водные ресурсы на территории Казахстана недостаточно охвачены гидрологическими наблюдениями. По этой причине имеющейся гидрометрической информации не всегда хватает для достаточно надежного обоснования проектирования водохозяйственных объектов и организации противопаводочных мероприятий. Обеспечение водных объектов гидрометрическими устройствами и создание гидрологических постов требует финансовых затрат. В связи с этим встает вопрос о возможных путях ее получения, которые основываются на пространственных обобщениях вероятностных характеристик стока наиболее длительных гидрометрических рядов. Еще в 1940 г. Великанов М. А. [2] писал: «... чисто гидрометрическое изучение стока должно быть отвергнуто как нереальное и нерациональное и должно быть заменено гидрологическим на основе метода водного баланса».

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На сегодняшний день стало возможным определение местного стока с применением метода воднобалансовых расчетов, основанных на метеорологических данных.

Так, метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), разработанный профессором Мезенцевым В. С. позволяет производить расчеты на основании данных массовых наблюдений метеорологических станций, причем исходными являются значения атмосферных осадков, температурных и влажностных характеристик, а также гидравлических условий стока и водно-физических характеристик почвогрунтов. Сущность метода подробно изложена в работах Карнацевича И.В. [3]. Математическая модель Мезенцева В.С. описывает преобразование атмосферной влаги (осадков, выпадающих из атмосферы на поверхность водосбора) в испарение и климатический сток с водосбора. При этом уравнение водного баланса для любого интервала времени записывается в виде:

$$H = KX + W_1 - W_2 = Z + Y, \quad (1)$$

где  $KX$  – общее увлажнение (исправленные атмосферные осадки), мм.  
 $W_1, W_2$  – запасы влаги в почвогрунтах в начале и конце интервала, мм.  
 $Z$  – суммарное испарение, мм.  
 $Y$  – суммарный сток (поверхностный и подземный), мм.  
 $H$  – суммарное увлажнение, мм; зависящее от процессов стока и испарения.

Данный метод применялся для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности и широко используется в современной практике для количественной оценки степени гидромелиоративных воздействий на агроландшафты, для исследования элементов водного и теплового балансов и характеристик естественной тепловлагообеспеченности территорий. Полученные гидрологами с помощью метода Мезенцева В.С. и современных его компьютерных реализаций с автоматизацией картографии поля гидролого-климатических характеристик позволяют решать множество практических задач водохозяйственного и агро-мелиоративного направлений, а также выполнять эколого-географические и гидролого-климатические исследования для территорий, слабо изученных в гидрологическом отношении.

Для определения местного стока на основе метеорологических данных с применением метода воднобалансовых расчетов нами была использована разработанная Карнацевичем И. В. и Хрущевым С. А. компьютерная программа «Weather App» [3,4].

Целью данного исследования является определение местного стока и оценка естественной влагообеспеченности территории Северного Казахстана. Новизна работы заключается в применении компьютерной программы «Weather App» для расчетов по суточным интервалам для гидрологически слабо изученной территории Казахстана. Этот подход дает новые возможности, например, для оценки водного режима временных водотоков, на которых не ведутся системные наблюдения за водным режимом. Используемый водно-балансовый метод во второй половине прошлого века был апробирован при расчетах с месячной дискретностью метеоинформации. Современные электронные базы метеорологических данных,

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНОГО СТОКА МЕТОДОМ ВОДОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ НА ОСНОВЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ...

дают возможность использовать метод воднобалансовых расчетов в современной компьютерной его реализации при гидрологических исследованиях в условиях недостаточного увлажненных элементарных водосборов Казахстана даже при отсутствии водотоков [5,6].

В нашем исследовании использовались метеорологические данные метеостанции Петропавловск, расположенной в Северном Казахстане.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрим изменчивость местного элементарного годового стока, рассчитанного путем суммирования полученных результатов его суточных значений для метеостанции Петропавловск.

На рисунке 2 показаны ежегодные значения слоя местного стока, полученные расчетом с помощью компьютерной программы «Weather App» по суточным интервалам и последующим суммированием за каждый год для метеостанции Петропавловск за 1956–1999 гг. Максимальное годовые значения слоя местного стока 303,1 мм/год наблюдается в 1994 г. и 298,3 мм/год в 1995 г., минимальное значение 3,9 мм/год в 1958 г. и 4,4 мм/год в 1962 г. (рис.2).

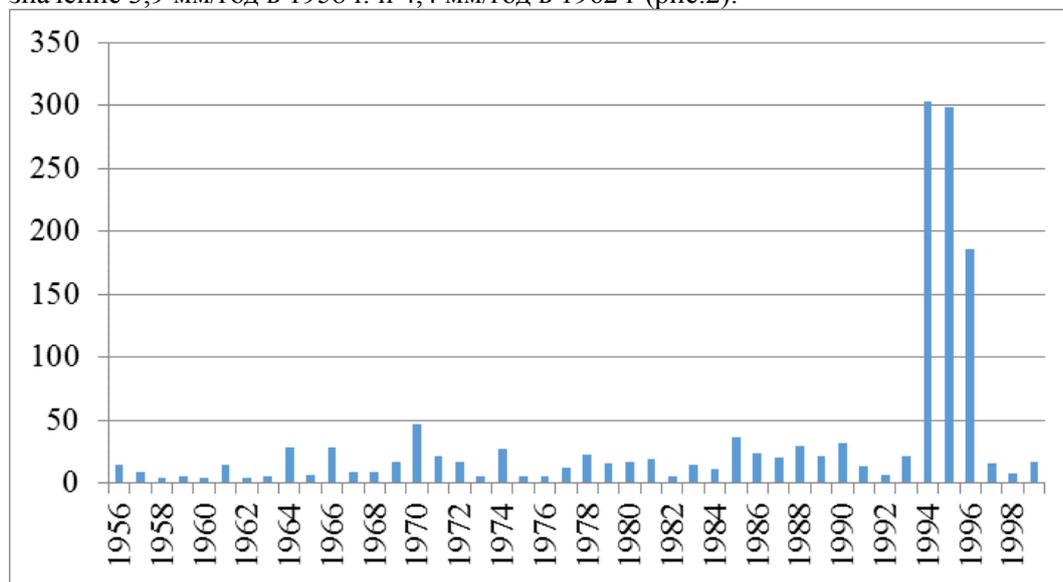


Рис. 2. Изменчивость ежегодных рассчитанных значений слоя местного стока  $Y$  (мм/год) для метеостанции Петропавловск за 1956–1999 гг.

На рисунке 3 показаны значения общего атмосферного увлажнения, то есть исправленные атмосферные осадки на ветровой недоучет (КХ) для метеостанции Петропавловск. Они также были максимальны в 1994 г. – 949,8 мм/год и в 1995 г. – 866,1 мм/год. Что показывает наличие тесной взаимосвязи элементов приходной и

расходной частей водного баланса [7]. Изменение одного элемента приводит к изменению другого элемента водного баланса. В нашем случае для метеостанции Петропавловск в 1994 г. и 1995 г. максимальное количество общего увлажнения привело к максимальному значению слоя местного стока (рис. 3).

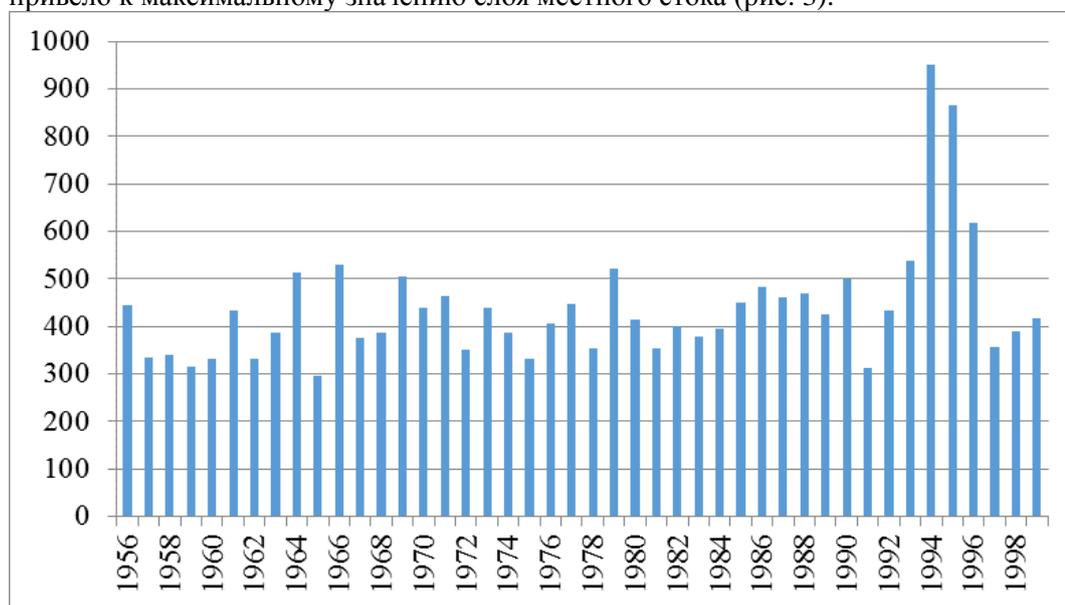


Рис. 3. Ежегодные значения общего атмосферного увлажнения (исправленные атмосферные осадки на ветровой недоучет) КХ, мм/год для метеостанции Петропавловск за 1956–1999 гг.

В таблице 1 представлены результаты расчетов, произведенные с помощью компьютерной программы «Weather App» по суточным интервалам и последующим суммированием за каждый год для метеостанции Петропавловск за 1956–1965 гг (табл. 1).

В таблице 1 отражены: общее увлажнение КХ (мм/год); максимально возможное испарение  $Z_m$  (мм/год); суммарное испарение Z (мм/год); годовая сумма рассчитанных ежесуточных значений слоя стока  $Y_p$  (мм/год); измеренный ежегодный сток в р.Ишим у г. Петропавловск  $Y_n$  (мм/год) при  $F_{\text{водосбора}}=106000 \text{ км}^2$ .

Таблица 1.

Результаты расчетов суточных водных балансов для метеостанции Петропавловск 1956–1965 гг. (мм/год)

Год	КХ	$Z_m$	Z	$Y_p$	$Y_n$
1956	443,6	736,9	306,3	14,8	1,4
1957	334	822,8	262,1	8,4	2,2
1958	340,6	728,6	217	3,9	2,9

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНОГО СТОКА МЕТОДОМ ВОДОБАЛАНСОВЫХ  
РАСЧЕТОВ НА ОСНОВЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ...**

1959	316,3	755,1	233,4	5,1	4,1
1960	330,7	730,8	236,4	4,8	4,9
1961	432,2	766,6	313	14,3	5,5
1962	332,7	808,7	261,9	4,4	3,3
<b>Год</b>	<b>KX</b>	<b>Z<sub>m</sub></b>	<b>Z</b>	<b>Y<sub>p</sub></b>	<b>Y<sub>и</sub></b>
1963	386,2	767,6	238,1	5,5	2,3
1964	512,2	740,4	387,6	28,5	10,5
1965	294,7	805,8	232,6	6,4	2,4

На рисунке 4 приведены результаты контроля достоверности расчетных значений стока на основании сравнения значений с измеренными. Судя по данному графику, коэффициент корреляции измеренных и рассчитанных значений стока составляет  $r=0,74$  (рис.4).

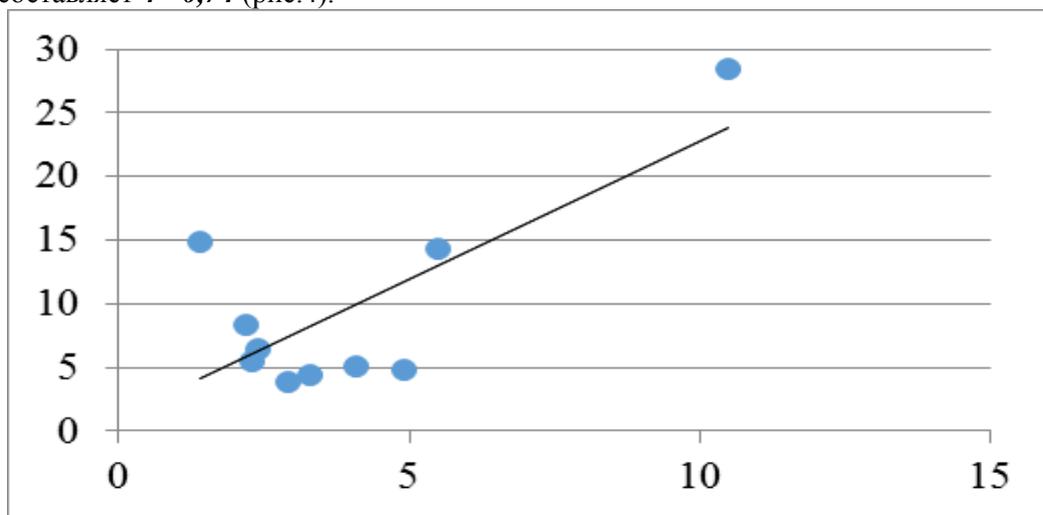


Рис. 4. Сравнение рассчитанных  $Y_p$  по суточным интервалам для метеостанции Петропавловск (ось ординат) и измеренных  $Y_{и}$  в р. Ишим у г. Петропавловск (ось абсцисс) ежегодных (за 1956–1965 гг.) значений слоя годового стока (мм/год)

Поскольку все элементы водного баланса – увлажнение, суммарное испарение, сток и влажность почвы – связаны аналитически, можно судить о корректности расчётных результатов других элементов (например, испарения и влажности почвы) по хорошей сходимости с измеренными значениями лишь одного из элементов, например, стока. Точно также значения коэффициента корреляции измеренного и рассчитанного испарения, близкие к единице, свидетельствуют одновременно о достоверности полученных при расчетах значений местного стока и влажности почвы [8,9].

## ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований определение местного стока по метеорологическим данным с применением метода воднобалансовых расчетов является возможным.

1. На сегодняшний день в засушливом Казахстане при отсутствии густой сети постоянных водотоков и наличии множества временных водотоков количество гидрологических постов является недостаточным для проведения полноценного гидрологического мониторинга.

2. Для получения гидрологической информации на основе метеорологических данных с применением метода воднобалансовых расчетов целесообразно использовать систему управления базой данных (компьютерную программу) «Weather App», разработанную Карнацевичем И. В. и Хрущевым С. А. для расчетов текущих водных балансов малых речных водосборов неизученных областей суши, в основу которой положена математическая модель тепловлагообмена между деятельным слоем почвогрунта и атмосферой, получившая название «метода гидролого-климатических расчетов» Мезенцева В. С..

3. Элементы водного баланса имеют тесную генетическую взаимосвязь. Изменение одного элемента приводит к изменению другого элемента водного баланса. По наблюдениям на метеостанции Петропавловск в 1994 и 1995 гг. максимальное количество общего увлажнения привело к максимальному значению слоя местного стока.

4. Точность расчета местного стока методом гидролого-климатических расчетов достаточно высока. Рассчитанный сток можно использовать для конструирования стоковых рядов при проектировании водохранилищ и многолетнего регулирования стока на неизученных водотоках.

## Список литературы

1. Сайт Республиканского государственного предприятия «Казгидромет». [Электронный ресурс]. URL: <https://kazhydromet.kz/ru/p/gidrologia> (дата обращения: 10.10.2019 г.).
2. Карнацевич И.В., Мезенцева О.В. Структуры водного баланса элементарных водосборов в районе Омска // Вестник Омского государственного аграрного университета .2016. №3. С. 173-178. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26674195> (дата обращения: 10.10.2019г.).
3. Карнацевич И.В., Хрущев С.А. Компьютерная система массовых расчетов текущих водных балансов речных водосборов неизученных областей суши. Омск: изд-во ОмГПУ, 2014, 176 с.
4. Кусаинова А.А., Мезенцева О.В. Использование компьютерной системы Weather App для воднобалансовых расчетов с целью оценки элементов водного баланса и характеристик естественного увлажнения в северной части Казахстана // Успехи современного естествознания.2018. № 11-2, С. 355-360. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36952> (дата обращения: 10.10.2019 г.).
5. Мезенцева О.В., Карнацевич И.В. Определение местных водных ресурсов территории с использованием метеорологической информации: Материалы научно-практической конференции «Тенденции и перспективы развития легкой промышленности и сферы услуг», 2013, С. 160-163. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23014982> (дата обращения: 10.10.2019г.).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНОГО СТОКА МЕТОДОМ ВОДОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ НА ОСНОВЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ...

6. Кусаинова А.А., Куанышбекова А.А., Жумадилова Д.К., Естаева А.Р. Картографирование пространственно-временного распределения атмосферных осадков с помощью программы «Weather App» // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. №5(71). С. 143-147. [Электронный ресурс]. URL:<https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.71.011> (дата обращения: 10.10.2019г.).
7. Мезенцева О.В., Волковская Н.П. Пространственно-временная изменчивость гидролого-климатических факторов формирования максимальных уровней воды на реке Ишим // Успехи современного естествознания. 2018. №8. С. 166-171. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36852> (дата обращения: 10.10.2019 г.).
8. Мезенцева О.В., Ломакина С.С. Геоэкологические и физико-географические особенности водосбора реки Ишим на территории Северного Казахстана: Материалы международной научно-практической конференции «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование». 2018. С. 183-188. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36531786> (дата обращения: 10.10.2019 г.).
9. Кусаинова А.А., Мезенцева О.В. Влияние пространственной изменчивости температуры воздуха в начале вегетационного периода на формирование стока и испарения на территории Казахстана и на юге Западной Сибири // Астраханский вестник экологического образования. 2019. № 4 (52). С. 60-65. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39244035> (дата обращения: 10.10.2019 г.).

### DETERMINATION OF LOCAL RUNOFF BY WATER BALANCE CALCULATIONS BASED ON METEOROLOGICAL DATA IN THE TERRITORY OF NORTHERN KAZAKHSTAN

*Kusainova A.A., Mezentseva O. V.*

*Omsk state pedagogical University, Omsk, Russia,  
E-mail: aimarh@mail.ru, mezolga@yandex.ru*

Nowadays in Kazakhstan the assessment of water resources of the territory is of great interest. Due to the insufficient coverage of the territory by hydrological observations, the available hydrometric information is not always enough for a fairly reliable justification of the design of water facilities and the organization of flood control measures. It should be noted, due to the fact that the installation of hydrological posts on water bodies and providing them with hydrometric devices is costly, the question arises of finding possible ways to obtain hydrological information, which are based on spatial generalizations of the probabilistic data of the flow of longer hydrometric series. The article considers the possibility of determining local runoff using the method of water balance calculations based on the use of meteorological information.

The purpose of this study is to determine the local flow and assess the natural moisture supply of the territory of Northern Kazakhstan.

For these purposes we used computer program "Weather App" developed by I. V. Karnacevich and S. A. Khrushchev, application is based on a mathematical model of heat-moisture exchange between the active layer of soil and the atmosphere, named "the method of hydrology-climatic calculations" by V. S. Mezentsev.

Since the elements of water balance have a close genetic relationship, changing one element leads to changing another element of water balance.

According to the observations at the Petropavlovsk weather station in 1994 and 1995, the maximum amount of total humidification resulted to the maximum value of the local runoff layer. The accuracy of the runoff calculation by the method of hydro-climatic calculations is quite high. The runoff calculated by the presented method can be used for the design of runoff lines in the design of water reservoirs and for long-term flow control on unexplored watercourses.

Elements of water balance have a close genetic relationship. A change in one element leads to a change in another element of the water balance.

**Keywords:** hydrological posts, meteorological data, water balance, hydrological and climatic calculations, local runoff

### References

1. Kazhydromet Website. URL: <https://kazhydromet.kz/ru/p/gidrologia> (accessed: 10.10.2019)
2. Karnacevich I.V., Mezentceva O.V. Struktury vodnogo balansa jelementarnyh vodosborov v rajone Omska (The structure of the water balance of an elementary watershed in the district of Omsk). Bulletin of Omsk state agrarian University, 2016, no. 3, pp. 173-178. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26674195> (accessed: 10.10.2019) (In Russian).
3. Karnacevich I.V., Hrushhev S.A. Komp'juternaja sistema massovyh raschetov tekushih vodnyh balansov rechnyh vodosborov neizuchennyh oblastej sushi (Computer system mass calculations of the current water balance of river catchments unexplored regions of land). Omsk: OmGPU, 2014, 176 p. (In Russian).
4. Kusainova A.A., Mezentceva O.V. Ispol'zovanie komp'juternoj sistemy Weather App dlja vodnobilansovyh raschetov s cel'ju ocenki jelementov vodnogo balansa i harakteristik estestvennogo uvlazhnenija v severnoj chasti Kazahstana (Use of computer system Weather App for water balance calculations in order to assess the elements of water balance and characteristics of natural moisture in the Northern part of Kazakhstan). Advances in modern natural science, 2018, no. 11-2, pp. 355-360. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36952> (accessed: 10.10.2019) (In Russian).
5. Mezentceva O.V., Karnacevich I.V. Determination of local water resources of the territory using meteorological information, in Materialy nauchno-prakticheskoj konferencii "Tendencii i perspektivy razvitija legkoj promyshlennosti i sfery uslug" (Materials of scientific and practical conference "Trends and prospects of development of light industry and services") V International festival of art and design "fashion formula: east-west». Omsk: OMGIS, 2013, pp. 160-163. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23014982> (accessed: 10.10.2019) (In Russian).
6. Kusainova A.A., Kuanyshbekova A.A., Zhumadilova D.K., Estaeva A.R. Kartografirovanie prostranstvenno-vremennogo raspredelenija atmosferyh osadkov s pomoshh'ju programmy "Weather App" (Mapping the spatial and temporal distribution of precipitation using the program "Weather App"). International research journal, 2018, no. 5 (71), pp. 143-147. URL: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.71.011> (accessed: 10.10.2019) (In Russian).
7. Mezentceva O.V., Volkovskaja N.P. Prostranstvenno-vremennaja izmenchivost' gidrologo-klimaticheskikh faktorov formirovanija maksimal'nyh urovnej vody na reke Ishim (Spatio-temporal variability of hydrological and climatic factors of formation of maximum water levels on the Ishim river). Advances in modern natural science, 2018, no. 8, pp. 166-171. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36852> (accessed: 10.10.2019) (In Russian).
8. Mezentceva O.V., Lomakina S.S. Geoecological and physical-geographical features of the Ishim river catchment in Northern Kazakhstan, in Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Indikacija sostojanija okruzhajushhej sredy: teorija, praktika, obrazovanie" (Materials of the international scientific and practical conference "Indication of the state of the environment: theory, practice, education") Display the state of the environment: theory, practice, education. Moscow: Buki-Vedy, 2018, pp. 183-188. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36531786> (accessed: 10.10.2019) (In

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНОГО СТОКА МЕТОДОМ ВОДОБАЛАНСОВЫХ  
РАСЧЕТОВ НА ОСНОВЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ...

---

Russian).

9. Kusainova A. A., Mezentseva O. V. Vlijanie prostranstvennoj izmenchivosti temperatury vozduha v nachale vegetacionnogo perioda na formirovanie stoka i isparenija na territorii Kazahstana i na juge Zapadnoj Sibiri (Influence of spatial variability of air temperature at the beginning of the growing season on the formation of runoff and evaporation on the territory of Kazakhstan and in the South of Western Siberia). Astrakhan Bulletin of ecological education. 2019, no. 4 (52). pp. 60-65. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39244035> (accessed: 10.10.2019) (In Russian).

*Поступила в редакцию 10.10.2019*