УДК 551.58

РАСЧЕТЫ МЕСТНОГО ЭЛЕМЕНТАРНОГО СТОКА ПО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ С СУТОЧНОЙ ДЕТАЛЬНОСТЬЮ

[1]Карнацевич И.В., [1]Мезенцева О.В., [2]Волковская Н.П.

[1]Омский государственный педагогический университет, Омск, e-mail: ikar.omsk@mail.ru;
[2]ФГБУ «Обь-Иртышское УГМС», Омск, e-mail: vnp78oo@mail.ru

В статье показаны возможности получения гидрологической информации с помощью воднобалансовых расчетов на основе метеорологической информации с суточной детальностью. Новые возможности открылись в результате публикации в сети Интернет электронных баз метеорологических данных и разработанной в Омском государственном педагогическом университете системы управления базой данных (СУБД) компьютерной программы «Weather App». Эта компьютерная программа разработана в 2011 г. под руководством профессора И.В. Карнацевича. При этом используется математическая модель водно-балансовых расчетов, предложенная в 1957 г. профессором В.С. Мезенцевым. Данный подход позволяет выполнять детальное количественное описание малоизученных в гидрологическом отношении водосборов без проведения гидрометрических работ и в дополнение к ним. СУБД позволяет генерировать с помощью метеорологической информации многолетние цепи гидрографов местного элементарного стока с суточным разрешением и создавать карты полей стока, суммированного для различных интервалов (декад, месяцев, конкретных лет и среднего года). В статье приведены примеры расчетов испарения и местного стока по метеоданным, представленные в форме таблиц элементов водного баланса, карты изолиний стока, графика сравнения рассчитанного и измеренного стока, диаграммы годовых сумм рассчитанного суточного стока, а также фрагмента многолетней цепи гидрографов рассчитанного стока. В ходе исследований для малых водосборов, расположенных в различных природно-климатических условиях, получены многолетние непрерывные цепи гидрографов по данным ежесуточных наблюдений за температурой и осадками на сети метеорологических станций, а также построены картографические обобщения водных ресурсов малых рек без измерений в водотоках.

Ключевые слова: метеорологическая информация, местный элементарный сток, гидрограф стока, водные ресурсы, карты стока

CALCULATIONS OF LOCAL ELEMENTARY RIVER FLOW WITH USING THE METEOROLOGICAL DATA WITH DAILY DETAIL

[1]Karnatsevich I.V., [1]Mezentseva O.V., [2]Volkovskaya N.P.

[1]Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: ikar.omsk@mail.ru;
[2]Ob-Irtyshskoe UGMS, Omsk, e-mail: vnp78oo@mail.ru

The article shows the possibility of obtaining hydrological information using water balance calculations based on meteorological information with daily detail. New opportunities opened up as a result of the publication on the Internet of electronic databases of meteorological data and developed at the Omsk state pedagogical University database management system (DBMS) computer program «Weather App». This computer program was developed in 2011 under the guidance of Professor I.V. Karnatsevich. The mathematical model of water balance calculations proposed by Professor V.S. Mezentsev in 1957 is used. This approach makes it possible to perform a detailed quantitative description of poorly studied hydrological catchments without hydrometric work. DBMS allows you to generate with the help of meteorological information of many years of chain hydrographs of local elementary runoff with a daily resolution and to create maps of fields of flow, is summarized for different time intervals (decades, months, specific years and middle year). The article presents examples of calculations of evaporation and local runoff from meteorological data, presented in the form of tables of water balance elements, maps of runoff contours, a comparison chart of calculated and measured runoff, charts of annual amounts of calculated daily runoff, as well as a fragment of a long-term chain of hydrographs of calculated runoff. In the course of studies for small catchments located in different climatic conditions, long-term continuous chains of hydrographs were obtained from daily observations of temperature and precipitation on the network of meteorological stations, as well as cartographic generalizations of water resources of small rivers without measurements in watercourses.

Keywords: meteorological information, local elementary runoff, flow hydrograph, water resources, flow maps

В гидрометрическом отношении изучены пока далеко не все реки, особенно малые водотоки. Остается актуальной задача оценки стока таких рек [1, 2]. В конце XIX в. русский климатолог А.И. Воейков писал: «Реки – продукт климата», то есть речной сток зависит от атмосферных осадков и теплового режима местности. В наши дни благодаря созданию электронных баз ежесуточных метеорологических данных появилась возможность подтвердить это крылатое выражение массовыми компьютерными вычислениями стока по метеоданным с суточной детальностью и точностью, достаточной для научных и практических целей. По информации о значениях температуры приземного воздуха и атмосферных осадков [3] путем воднобалансовых расчетов можно оценить слой местного элементарного стока и другие характеристики

с суточной дискретностью [4, 5]. Использование опубликованных электронных баз данных метеорологической информации представляет большой интерес в связи со значительной густотой сети метеорологических станций в отличие от сети гидропостов. Использование метеоданных в качестве дополнительной информации в гидрологических исследованиях может повысить объективность выводов и оценок.

Цель исследования: показать возможности получения гидрологической информации с помощью воднобалансовых расчетов на основе метеорологической информации с суточной детальностью. При этом использованы опубликованные в сети Интернет электронные базы метеорологических данных об осадках и температурах и разработанная в Омском государственном педагогическом университете система управления базой данных (СУБД) «Weather App».

Материалы и методы исследования

Математическая модель воднобалансовых расчетов по метеоданным была предложена В.С. Мезенцевым (1957, 1969, 1974, 1993) и начиная с середины XX века, прошла широкую апробацию для оценки водных ресурсов и дефицитов увлажнения различных частей бывшего СССР. Исследования и расчеты в те годы проводились с месячной детальностью из-за трудоемкости процесса обработки гигантских объемов информации, сконцентрированной в справочниках Гидрометеорологической службы и отсутствия электронных баз метеоданных с суточной детальностью. До создания и публикации в интернете электронных баз метеоданных не было возможности применения системы уравнений математической модели В.С. Мезенцева для расчетов стока и испарения по суточным интервалам из-за практически непреодолимых трудностей по извлечению из бумажных документов в гидрометфондах десятков тысяч ежесуточных значений температур и осадков, а также введения вручную этих чисел в компьютер.

В начале XXI в. Росгидромет опубликовал в интернете материалы ежесуточных наблюдений за осадками и температурой на 230 метеорологических станциях территории бывшего СССР. База данных [3] содержит десятки миллионов ежесуточных значений осадков, средних температур воздуха и пр. В течение ряда лет была разработана компьютерная система управления базой данных (СУБД) «Weather App» [4, 5] для массовых расчетов текущих водных балансов с суточным разрешением для метеостанций, а также параллельно исправлены ошибки в базе данных, неизбежно возникавшие у работников Гидрометеослужбы при наборе чисел на клавиатуре. В 2011 г. были выполнены первые расчеты ежесуточного стока без измерений в реках по материалам 120 метеостанций Сибири и прилегающих территорий за тысячи последовательных интервалов исключительно на основании данных метеорологических наблюдений.

В результате расчетов был получен местный элементарный сток, не зависящий от площади водосбора, от уклонов, от времени добегания волны паводка, от эффектов площадного и руслового регулирования. Отсутствие зависимости его от площади водосбора позволяет выполнять построение полей в среде ГИС и делать территориальные обобщения.

Местный, или рассчитываемый по метеорологическим данным сток количественно близок к гидрометрическому стоку с малых и средних по величине (в условиях равнинности рельефа) водосборов, а в условиях аридных зон является единственно надежным источником количественной информации о водных ресурсах территории.

Результаты исследования и их обсуждение

Воднобалансовые расчеты посуточно произведены для 120 станций России за непрерывный период около 40–50 лет [4, 5]. Кроме местного стока также получены, например, такие трудноопределимые характеристики, как общее увлажнение (KX), водный эквивалент теплоэнергетических ресурсов климата или максимально возможное испарение (Zm), суммарное испарение (Z), относительная влажность почвы в долях наименьшей влагоемкости (V). СУБД «Weather App» позволяет проанализировать и описать закономерности статистических, частотных, хронологических и динамических характеристик. Ниже в качестве примера показаны лишь фрагменты таблиц, некоторые графики и одна из карт.

На рис. 1 приведена карта изолиний рассчитанного с помощью компьютерной программы СУБД «Weather App» суммарного слоя стока в 1970 г. Годовой слой стока за конкретный год получен по данным 120 метеорологических станций расчетом по суточным интервалам суммарно за год.

Таблица 1

Фрагмент таблицы результатов расчета ежесуточных значений стока (Y) и испарения (Z) по метеоданным станции Петропавловск-Камчатский. КХ – общее увлажнение, Zm – максимально возможное испарение. Все величины – в мм/сут

Дата	KX	Zm	Z	Y	Дата	KX	Zm	Z	Y
01.10.1983	0	2,8	1,3	0,4	09.10.1983	0	2,4	1,5	0,9
02.10.1983	0	3,1	1,5	0,5	10.10.1983	0	1,7	1,1	0,6
03.10.1983	1,1	2,4	1,2	0,4	11.10.1983	0	1,4	0,8	0,5
04.10.1983	7,6	2,4	1,2	0,4	12.10.1983	62,6	2,1	1,4	1,0
05.10.1983	0	2,1	1,0	0,3	13.10.1983	32,4	1,7	1,3	1,2
06.10.1983	47,5	2,4	1,3	0,5	14.10.1983	0	1,7	1,3	1,3
07.10.1983	20,5	2,8	1,7	0,9	15.10.1983	0	1,7	1,3	1,3
08.10.1983	2,2	2,4	1,5	0,9	16.10.1983	0	1,7	1,3	1,3

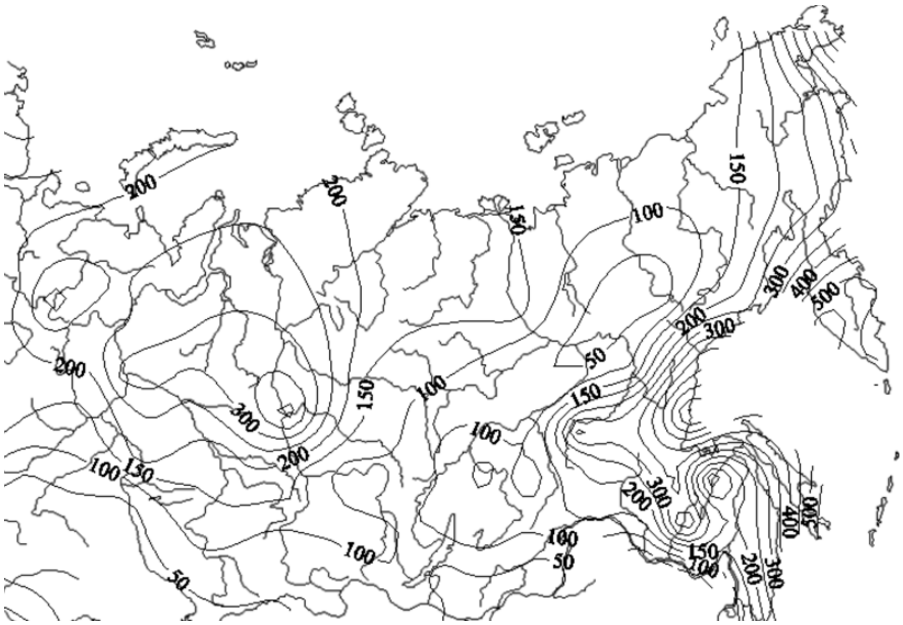

Рис. 1. Годовой слой местного стока в 1970 г., полученный по данным расчетов 120 метеостанций по суточным интервалам и суммированный за год, мм/год

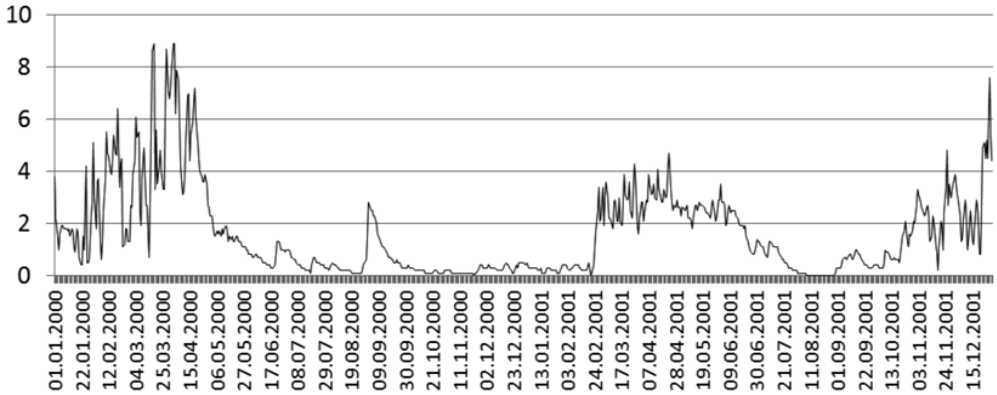

Рис. 2. Фрагмент 50-летней цепи гидрографов местного стока Y, мм/сут, за 730 суток 2000 и 2001 гг., полученного по данным наблюдений за температурой воздуха и атмосферными осадками для метеостанции Сочи

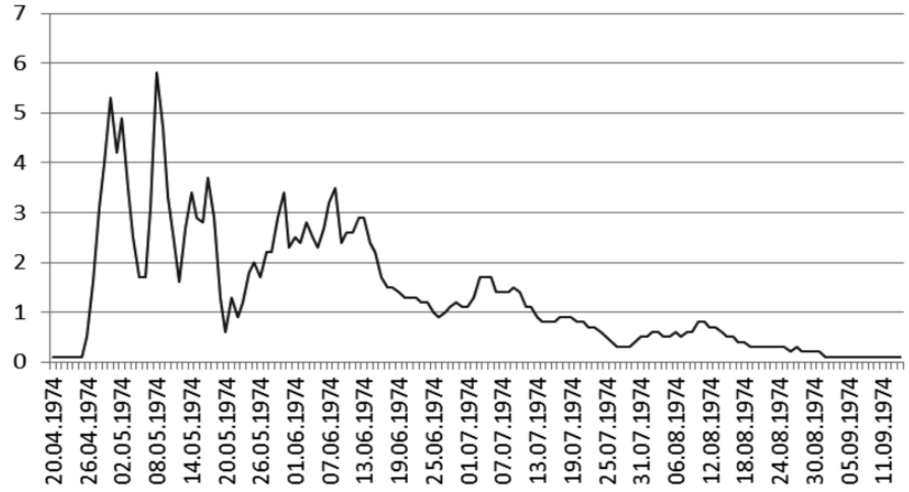

Рис. 3. Гидрограф местного стока Yсут = f(t) с 20 апреля до 11 сентября 1974 г., полученный расчетом по данным метеостанции Веребье

Рис. 4. Ежегодные значения слоя местного стока Y, мм/год, полученные расчетом по суточным интервалам и последующим суммированием за каждый год для метеостанции Веребье в Новгородской области

На рис. 2 и 3 показаны длинные цепи гидрографов стока с суточным разрешением, полученные по метеорологическим данным для метеостанции г. Сочи и станции Веребье (Новгородская область).

На рис. 4 показана изменчивость местного элементарного годового стока, рассчитанного путем суммирования суточных значений для метеостанции Веребье в Новгородской области.

На рис. 5 и в табл. 2 представлены результаты контроля достоверности расчетных значений стока и испарения на основании сравнения этих значений с измеренными.

На рис. 6 сопоставлены ежегодные значения слоя годового стока за 47 лет – рассчитанного с суточной детальностью по метеоданным г. Омска и измерявшегося ежедневно в реке Омь у г. Калачинска. Как и следовало ожидать, явно выражена синхронность колебаний водности на территории Барабинской равнины. Большие же расхождения в конкретные годы объясняются разным режимом осадков, выпадавших над осадкомером (на метеостанции) и над огромной площадью бассейна реки, начинающейся на расстоянии около 1000 км от метеостанции Омск на Васюганской равнине.

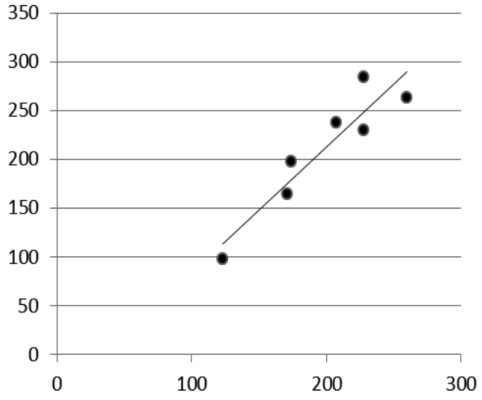

Рис. 5. Сравнение рассчитанных по суточным интервалам для метеостанции Веребье (ось ординат) и измеренных в р. Мста у д. Девкино (ось абсцисс) ежегодных (за 1967–1972 гг. и 1974 г.) значений слоя годового стока Y, мм/год. Коэффициент корреляции r = 0,93

Таблица 2

Станция Веребье. Годовые суммы суточных значений элементов водного и теплового балансов, мм

Год	KX	Zm	Z	Yp	Yи
1967	981	756	610	284	228
1968	815	693	488	263	260
1969	860	681	538	230	228
1970	788	712	498	198	174
1971	708	682	463	164	171
1972	569	765	396	98	123
1973	835	704	473	182	–
1974	773	717	528	237	207

Примечания: Yp – годовая сумма рассчитанных ежесуточных значений слоя стока, мм, Yи – ежегодный слой стока, измеренного в р. Мста у д. Девкино (F = 22 500 км^2), мм/год.

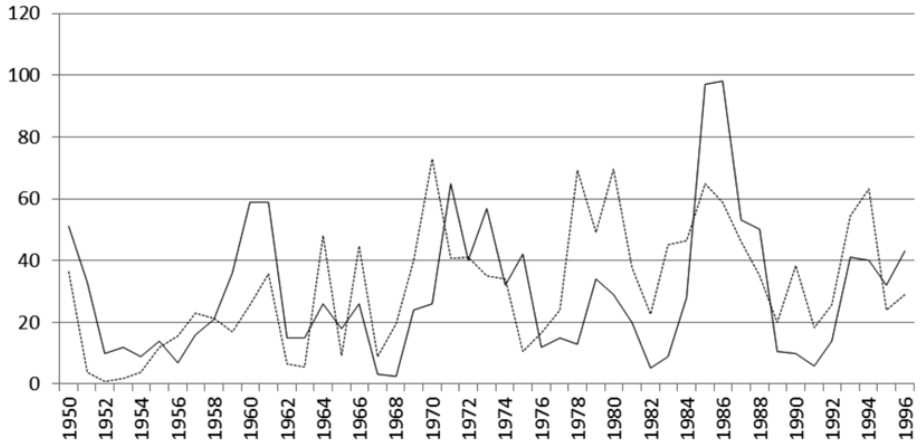

Рис. 6. Сравнение рассчитанного (пунктирная линия) по метеоданным станции Омск и измеренного в р. Омь у г. Калачинск (площадь водосбора F = 47 800 км^2) слоя ежегодного стока Y, мм за 47 лет

Совпадения рассчитанных и измеренных значений стока априори быть не должно из-за инерционности речного стока, а также различий атмосферного увлажнения центра тяжести водосбора и удаленной от него метеостанции. Отклонения объясняются инерционностью гидрометрического стока в связи с регулирующим воздействием заболоченности водосбора на перераспределение влаги между годами. Рассчитанный местный элементарный сток безынерционен. Значения слоя стока в разные по увлажнению годы колеблются от 5–10 мм/год до 60–100 мм/год. К сожалению, на сайте [3] нет электронных данных ни одной из метеостанций, расположенных вблизи центра тяжести водосборной площади бассейна р. Омь с указанным створом у г. Калачинска. Расчеты по такой станции коррелировали бы, безусловно, теснее с измеренными значениями.

Заключение

В начале XXI в. благодаря созданию и публикации в интернете электронной базы метеорологических данных в ежесуточных данных стандартных метеорологических наблюдений появилась возможность получать расчетным путем детальную и достаточно точную гидрологическую информацию. Этот факт означает новые возможности и перспективы в практической

гидрометеорологии, например создание на основе данных метеостанций без каких-либо измерений в речных потоках карт местного элементарного стока для неизученных с точки зрения гидрометрии водосборов малых и средних рек в целях определения их водных ресурсов. Современные геоинформационные системы [6] и СУБД «Weather App» [4, 5] позволяют легко генерировать поля любой характеристики по триадам координат множества метеостанций. Благодаря этому карту изолиний можно одинаково быстро построить для конкретных суток любого года или создать карту нормы стока за любую декаду любого месяца. Для водосборов в различных природно-климатических условиях впервые в мировой гидрологии получены многолетние непрерывные цепи гидрографов по данным ежесуточных наблюдений на сети метеорологических станций, а также построены карты стока без измерений в водотоках.

Массовая проверка достоверности результатов расчета стока по данным метеостанций произведена сравнением с измеренными значениями и не только для территории Сибири, но и для метеостанций Европейской России и соседних стран. Проверка эта убеждает в том, что точность рассчитываемого стока достаточно высока, а потому результаты расчета могут быть полезны для многих научных и практических целей инженерных расчетов.

Список литературы / References

1. Каюкова Е.П. Изучение и оценка подземного стока малых рек на примере бассейна р. Бодрак (юго-западный Крым) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2015. № 2. С. 130–151.

Kayukova E.P. Study and evaluation of underground flow of small rivers on the example of the Bodrak river basin (South-Western Crimea) // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya. 2015. № 2. P. 130–151 (in Russian).

2. Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике / Под ред. А.А. Соколова и Т.Г. Чапмена. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 120 с. [Электронный ресурс]. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-217145611.pdf (дата обращения: 16.11.2018).

Methods of calculation of water balances. International guide for research and practice / Edited by A.A. Sokolov and T.G. Chapman. L.: Hydrometeoizdat, 1976. 120 p. [Electronic resource]. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-217145611.pdf (date of access: 16.11.2018) (in Russian).

3. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). Справочная информация о погоде и климате [Электронный ресурс]. URL: http://meteo.ru/pogoda-i-klimat (дата обращения: 16.11.2018).

All-Russian research Institute of hydrometeorological information – World data center. Background information on weather and climate [Electronic resource]. URL: http://meteo.ru/pogoda-i-klimat (date of access: 16.11.2018) (in Russian).

4. Карнацевич И.В., Акимова В.С. Расчеты элементарных дождевых паводков по данным стандартных метеонаблюдений // Омский научный вестник. 2014. № 1 (128). С. 190–192. Karnatsevich I.V., Akimova V.S. Calculations of elementary rain floods according to standard meteorological observations // Omsk scientific Bulletin. 2014. № 1 (128). P. 190–192 (in Russian).

5. Карнацевич И.В. Карты месячных и декадных норм местного элементарного стока центральной части Западно-Сибирской равнины // Омский научный вестник. 2012. № 2 (114). С. 240–246.

Karnatsevich I.V. maps of monthly and decadal norms of local elementary runoff of the Central part of the West Siberian plain. // Omsk scientific Bulletin. 2012. № 2 (114). P. 240–246 (in Russian).

6. Бикбулатова Г.Г. Исследование распределения атмосферного увлажнения на территории Сибири и Дальнего Востока // Омский научный вестник. 2011. № 1 (104). С. 232–235.

Bikbulatova G.G. Investigation of atmospheric moisture distribution in Siberia and the Far East // Omsk scientific Bulletin. 2011. № 1 (104). P. 232–235 (in Russian).