

УДК 551.58:556.5(574.2)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ WEATHER APP ДЛЯ ВОДНОБАЛАНСОВЫХ РАСЧЕТОВ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА И ХАРАКТЕРИСТИК ЕСТЕСТВЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАЗАХСТАНА

<sup>1,2</sup>Кусаинова А.А., <sup>2</sup>Мезенцева О.В.<sup>1</sup>Омский государственный педагогический университет, Омск, e-mail: mezolga@yandex.ru;<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: aimarh@mail.ru

В статье показаны возможности использования компьютерной системы расчетов текущих водных балансов элементарных водосборов по метеорологическим данным сети метеостанций в суточном разрешении. Результаты таких расчетов нужны для изучения географического распределения элементарного местного климатического стока и суммарного испарения с водосборов малоизученных в гидрологическом отношении и, в том числе, при изучении водных ресурсов засушливого Казахстана, где мало постоянных водотоков и недостаточна сеть гидропостов, измеряющих местный сток. В исследовании использована компьютерная система Weather App, разработанная И.В. Карнацевичем и С.А. Хрущевым и основанная на методе гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева. Математическая модель этого метода алгебраически отражает преобразования атмосферной влаги на поверхности водосборов под влиянием управляющей процессами стока гравитации и теплового дренирования поверхности водосбора путем испарения. Модель В.С. Мезенцева связывает все элементы водного баланса аналитически, что позволяет контролировать достоверность результатов расчета взаимосвязанных элементов, например стока и влажности почвы, путем сравнения рассчитанных значений с измеренными, а также на основании тесноты корреляции измеренного и рассчитанного стока судить о точности расчета испарения. В ходе анализа результатов использования модели В.С. Мезенцева для территории Северного Казахстана было установлено, что данный метод воднобалансовых расчетов позволяет вычислять местный элементарный сток по суточным интервалам среднего года или конкретных лет по исходным данным об атмосферном увлажнении и температурном режиме поверхности элементарных водосборов. Результаты расчетов текущих водных балансов по суточным интервалам за непрерывный ряд суток, декад, месяцев и лет показывают, что систему управления базой данных Weather App (компьютерную систему расчетов гидрологических характеристик по исходным данным метеорологических наблюдений) можно рекомендовать для воднобалансовых исследований неизученных водосборов Северного Казахстана, где сеть гидропостов на сегодняшний день является недостаточно густой.

**Ключевые слова:** климат, гидролого-климатические расчеты, элементы водного баланса, элементы теплового баланса, осадки, сток, испарение, влажность почвы, текущий водный баланс, элементарный водосбор, метеостанция

## THE USE OF A COMPUTER SYSTEM «WEATHER APP» FOR WATER BALANCE CALCULATIONS TO ASSESS WATER BALANCE ELEMENTS AND CHARACTERISTICS OF NATURAL HUMIDITY IN THE NORTHERN PART OF KAZAKHSTAN

<sup>1,2</sup>Kusainova A.A., <sup>1</sup>Mezentseva O.V.<sup>1</sup>Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: mezolga@yandex.ru;<sup>2</sup>Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: aimarh@mail.ru

The article shows the possibility of using a computer system for calculating the current water balances of elementary catchments from meteorological data of a network of weather stations in daily resolution. The results of such calculations are needed to study the geographical distribution of the elementary local climatic flow and the total evaporation from the catchments for poorly studied hydrologically and, in particular, in the study of water resources of arid Kazakhstan, where there are few permanent watercourses and insufficient network of gauging the local flow. The study used a computer system of Weather App, developed By I. V. Karnatsevich and S. A. Khrushchev and based on the method of hydrological and climatic calculations of V. S. Mezentsev. The mathematical model of this method algebraically reflects the transformation of atmospheric moisture on the surface of the catchment area under the influence of gravity flow control and thermal drainage of the catchment surface by evaporation. The model of V. S. Mezentsev connects all elements of water balance analytically that allows to control reliability of results of calculation of the interconnected elements, for example a drain and humidity of the soil, by comparison of the calculated values with the measured, and also on the basis of close correlation of the measured and calculated drain to judge accuracy of calculation of evaporation. During the analysis of the results of the use of the V. S. Mezentsev model for the territory of Northern Kazakhstan, it was found that this method of water balance calculations allows to calculate the local flow by the daily intervals of the average year or specific years from the initial data on atmospheric precipitation and temperature conditions of the surface of elementary catchments. The results of calculations of the current water balances on daily intervals for a continuous series of days, decades, months and years show that the management system of the Weather App database (computer system of calculations of hydrological characteristics according to the initial data of meteorological observations) can be recommended for water balance studies of unexplored watersheds of Northern Kazakhstan, where the network of gauging stations today is not dense enough.

**Keywords:** climate, hydrology-climatic calculations, the elements of water balance, the elements of the heat balance, precipitation, runoff, evaporation, soil moisture, current water balance, the elementary catchment area, the meteorological station

Изучение элементов климата и в том числе элементов водного и теплового балансов конкретных территорий является важной составляющей гидролого-климатических исследований. Разработкам в этой области посвящены публикации многих гидрологов и климатологов, начиная с П. Шрайбера, Э.М. Ольдекопа (1911) и многих других исследователей. В последние десятилетия большое внимание современными гидрологами уделяется реализации математических моделей водного баланса с возможностью одновременного векторного картографирования полей элементов водного баланса и характеристик теплового обеспечения, рассчитанных за разные временные интервалы.

Для подобных картографических обобщений требуется метеорологическая база данных и оптимально соответствующая задачам исследования компьютерная математическая модель. Одной из таких моделей является разработанная И.В. Карнацевичем и С.А. Хрущевым (Омск, 2014) [1–3] компьютерная система массовых расчетов текущих водных балансов речных водосборов неизученных областей суши Weather App, в основу которой положена математическая модель теплообмена между деятельным слоем почвогрунта и атмосферой, получившая название метода гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева (1957, 1993). Данный метод применялся для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности и широко используется в современной практике для количественной оценки степени гидро-мелиоративных воздействий на агроландшафты, для исследования элементов водного и теплового балансов и характеристик естественной теплового обеспечения территорий. Полученные гидрологами с помощью метода В.С. Мезенцева 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.

Целью данного исследования является изучение возможности использования метода гидролого-климатических расчетов В.С. Мезенцева для оценки пространственно-временной изменчивости элементов водного баланса и характеристик естественной теплового обеспечения территории Северно-

го Казахстана. Новизна работы заключается в применении новой компьютерной программы «Weather App» для расчетов по суточным интервалам для территории Казахстана. Это дает новые возможности, например, для оценки водного режима временных водотоков, на которых не ведутся системные наблюдения за водным режимом. Используемый метод расчетов В.С. Мезенцева, с учетом технических возможностей 1960–1980-х гг., уже был апробирован при расчетах с месячной дискретностью исходной метеоинформации и по метеоданным прошлого века. Данные метеонаблюдений, представленные в виде современных электронных баз, позволяют актуализировать выводы в отношении использования метода и современной компьютерной его реализации, а также возможностей подхода в целом при гидрологических исследованиях в условиях недостаточного увлажненных элементарных водосборов Казахстана даже при отсутствии водотоков.

#### Материалы и методы исследования

Исходными материалами для проведения расчетов текущих водных балансов по материалам наблюдений сотен метеостанций стали ежесуточные данные об атмосферных осадках и средних температурах воздуха за непрерывный ряд суток в течение десятков лет подряд. Для этого была использована выложенная Российским НИИ гидрометеорологической информации Роскомгидромета и Мировым центром данных (г. Обнинск) на сайте [4] база данных в виде сводки ежесуточных измеренных значений средних, минимальных, максимальных значений и ежесуточных сумм атмосферных осадков по наблюдениям на 222 метеорологических станциях территории бывшего СССР (России и сопредельных стран) в пределах периода с 1880 по 2006 г.

Расчеты проводились с помощью Системы управления базами данных (СУБД) «Weather App», созданной в 2011–2013 гг. И.В. Карнацевичем и С.А. Хрущевым на основе метода В.С. Мезенцева, где основные обозначения:  $KX$  – суммы атмосферных осадков за соответствующий период, мм;  $H$  – суммарное увлажнение, включающее осадки и изменение влагосодержания в деятельном слое, мм;  $Zm$  – водный эквивалент теплоэнергоресурсов климата, мм;  $Z$  – суммарное испарение, мм;  $Y$  – слой стока, мм;  $V$  – относительная влажность деятельного слоя почвы, выраженная в долях наименьшей влагоемкости;  $V_{cp}$  – средняя за расчетный интервал влажность деятельного слоя почвы.

Расчеты суточных водных балансов												
Петропавловск												
2005												
W <sub>лив</sub> =300 г=1,5 н=3 V1=0,4 S=30 A=0,206 B=214												
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ												
Зима:1,69 Апрель:1,14 Май:1,06 Июнь:1,02 Июль:1,02 Август:1,02 Сентябрь:1,06 Октябрь:1,11												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												

Рис. 1. Фрагмент результатов расчета текущих водных балансов с суточным разрешением по методикой Петропавловска за 2005 г. (Выполнено Кусаиновой А.А. в программе Weather App)

Суммы по декадам												
Петропавловск												
2005												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												

Рис. 2. Фрагмент результатов расчета ежедекадных сумм ТВБ по суточным интервалам по данным метеостанции Петропавловск за 2005 г. (Выполнено Кусаиновой А.А. в программе Weather App)

### Результаты исследования и их обсуждение

Использование СУБД «Weather App» [1–3] позволило нам: вычислить значения элементов водного баланса (КХ, Н, Zm, Z, Y, V, Vcp) за ежесуточные интервалы теплого времени года для примера за 2005 г. (рис. 1); сделать выборки из полученных результатов – декадные, месячные, годовые – за любой год, за средний год, месяц, декаду, за вегетационный интервал года (рис. 2–5); построить карту изолиний любого из расчетных элементов за нужный интервал конкретного или среднего года (рис. 6) и карты коэффициентов вариации для любого элемента водного баланса.

На рис. 2 представлены результаты расчета теплового и водного балансов за 2 и 3 декады апреля, а также за 1, 2 и 3 декады мая, июня, июля, августа 2005 г. по суточным интервалам по данным метеостанции Петропавловск.

На рис. 3 отражены результаты расчета месячных сумм, рассчитанных по суточным

интервалам элементов теплового и водного балансов за март, апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь 2005 г. по данным метеостанции Петропавловск.

Данные рис. 4 показывают пример результатов расчета годовых сумм рассчитанных суточных элементов теплового и водного балансов по данным метеостанции Петропавловск с 1992 по 2002 г. (интервал для примера выбран случайно).

Наибольший интерес для земледелия представляют значения элементов водного баланса за вегетационный период года (с мая по август включительно). На рис. 5 представлен фрагмент таблицы ежегодных сумм элементов водного баланса за период с мая по август для станции Петропавловск.

Результаты расчетов за сутки, декаду, месяц, конкретный год, за средний год, за вегетационный интервал года могут применяться для использования в практике: в зависящем от агроклиматических ресурсов сельском хозяйстве, при расчетах влияния климата на условия работы и жизни населения.

Суммы по месяцам										
Петропавловск										
2005										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Год	Месяц		Имя расч. интервала	Н	КХ	Zm	Z	Y	Vcp	
2005	3		03.2005	8,8	30	30	8,7	0,1	0,01	
2005	4		04.2005	35,3	62,5	75,6	34,1	1,2	0,33	
2005	5		05.2005	40,4	28,6	118,3	39,8	0,6	0,49	
2005	6		06.2005	48,4	65,3	155	47,8	0,5	0,46	
2005	7		07.2005	53,7	55,1	161,2	53	0,7	0,48	
2005	8		08.2005	31,5	63,2	140,7	31,4	0,2	0,38	
2005	9		09.2005	26,9	20,1	91	26,7	0,2	0,44	

Рис. 3. Фрагмент результатов расчета месячных сумм суточных элементов теплового и водного балансов (ТВБ) для метеостанции Петропавловск за 2005 г. (Выполнено А.А. Кусаиновой в программе Weather App)

Годовые суммы							
Петропавловск							
1992-2002							
1	2	3	4	5	6	7	8
Год	Н	КХ	Zm	Z	Y	Vcp	
1992	358,9	471,1	729,3	337	21,9	0,34	
1993	414	571,1	758,3	381,6	32,4	0,38	
1994	782,4	974,3	554,5	457,8	324,6	0,79	
1995	807,6	904,1	542,2	476,4	331,2	0,77	
1996	667,3	617,3	755,6	481,1	186,2	0,49	
1997	358,2	397,4	814,4	330,4	27,8	0,3	
1998	252,1	390,5	829,1	244,3	7,8	0,27	
1999	343	416,5	794,8	326,2	16,8	0,31	
2000	286,1	402	777	277,7	8,4	0,28	
2001	515	682,5	774,1	451,9	63,1	0,42	
2002	444,8	472	743,5	381,2	63,5	0,38	

Рис. 4. Пример результатов расчета ежегодных сумм суточных элементов водных балансов по данным метеостанции Петропавловск (Выполнено А.А. Кусаиновой в программе Weather App)

1	Суммы за вегетационный период (май-август)						
2	Петропавловск						
3	2000-2005						
4							
5	Год	H	KX	Zm	Z	Y	Vcp
6	2000	213,8	188,9	570,8	208	5,8	0,55
7	2001	395,6	309,4	564,2	342,1	53,4	0,8
8	2002	269,2	187	525,4	247,7	21,5	0,67
9	2003	279,1	153,3	601,1	256,1	23,1	0,62
10	2004	234,1	175,7	556,6	225,8	8,3	0,58
11	2005	174,3	212,2	578,7	172,4	1,9	0,46

Рис. 5. Результаты расчета сумм суточных элементов водного баланса за вегетационный период по результатам расчета для станции Петропавловск за 2000–2005 гг. (Выполнено А.А. Кусаиновой в программе Weather App)

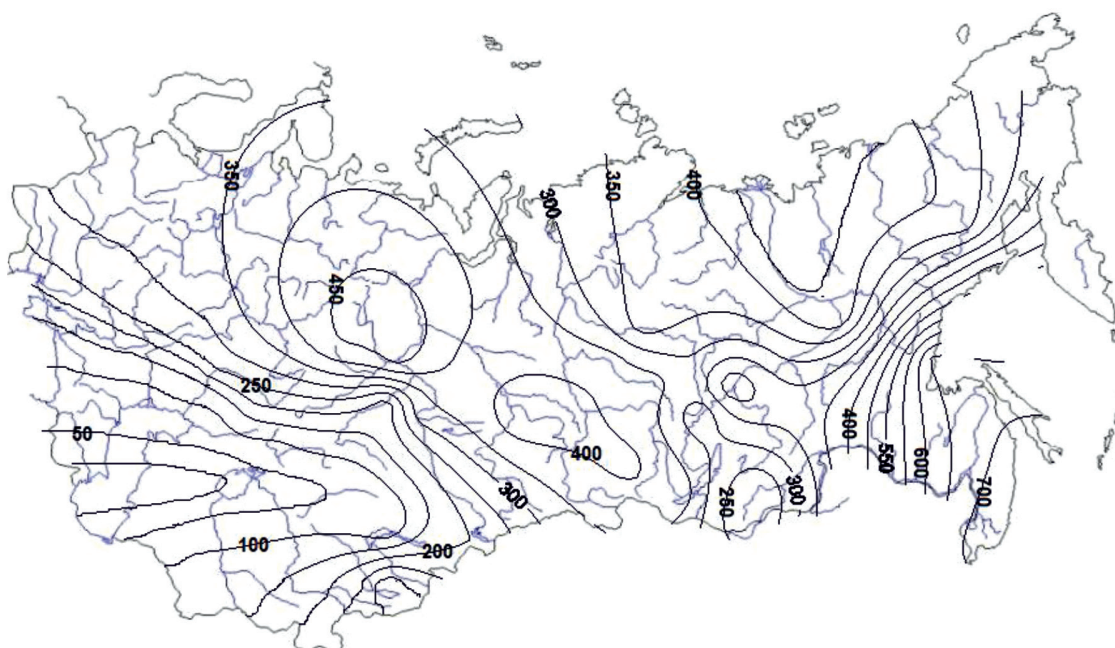


Рис. 6. Пример карты изолиний суммарного увлажнения H за вегетационный период (май – август) 2005 г. для северной части Евразии, полученной по результатам расчета (построено по данным 40 станций). (Выполнено А.А. Кусаиновой в программе Weather App)

Как показано на рис. 6, благодаря компьютерной программе «Weather App» стало возможным построить карту изолиний любого из расчетных элементов за нужный интервал конкретного или среднего года. Появилась возможность обработать за короткий срок огромные массивы гидрометеорологических данных, соединить базы данных метеорологических элементов с геопространственной характеристикой [5], например в картографическом редакторе Surfer, и представить карту территориального распределения изолиний.

Одним из шагов при расчете текущих водных балансов (рис. 1) является введение поправочных коэффициентов к осадкам ( $K_{\text{попр}}$ ). К величинам измеренных осадков за теплый период (апрель – октябрь) нами вводились поправки на ветровой недоучет и смачивание. Таблицы этих коэффициентов опубликованы в Справочниках по климату СССР. Ниже в таблице приведена выборка значений этих коэффициентов для некоторых казахстанских станций для месяцев теплого периода и в целом для зимнего (ноябрь – март) интервала года.

Значения поправочных коэффициентов  $K_{\text{попр}}$  к суммам атмосферных осадков для некоторых метеорологических станций Казахстана [2]

Станция	Зима	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Павлодар	1,89	1,38	1,08	1,04	1,04	1,04	1,08	1,22
Риддер	1,37	1,05	1,02	1,02	1,01	1,02	1,04	1,08
Усть-Каменогорск	1,33	1,06	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,04
Зыряновск	1,09	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02
Кокпекты	1,28	1,08	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	1,05

При проведении расчетов по интервалам также определялись:  $KX$  – сумма зимних осадков (исправленных на недоучет прибором), испарение со снежного покрова  $S$  (слой воды, мм), исправленные осадки первой половины апреля, общее увлажнение зимнего интервала ( $KX-S$ ). Значения поправочных коэффициентов к осадкам задавали для каждой метеорологической станции в начале расчета. Поправочный коэффициент к суммам твердых осадков в каждую зиму разный: чем больше сумма твердых осадков за зимний интервал, тем меньше принималось значение поправочного множителя  $K_{\text{попр}}$ .

### Заключение

1. В статье рассмотрены новые возможности использования модели воднобалансовых расчетов В.С. Мезенцева, которая позволяет вычислять местный сток за любой интервал времени среднего или конкретного года по исходным данным об атмосферном увлажнении земной поверхности и температурным данным.

2. Система управления базой метеоданных в виде компьютерной программы Weather App позволяет быстро рассчитать многолетние с суточным разрешением цепи гидрографов местного элементарного стока без измерений в речных потоках, исключительно на основе данных метеорологической станций. Высокая корреляция измеренного и рассчитанного стока, влажности почвы позволяет судить о достаточной точности расчета испарения. Поэтому компьютерную систему расчетов гидрологических характеристик по исходным данным метеонаблюдений «Weather App» можно рекомендовать для воднобалансовых исследований неизученных водосборов Казахстана, где сеть гидропостов на сегодняшний день является недостаточно густой.

3. Оценка водных ресурсов элементарного стока для неизученных водотоков с применением воднобалансовых расчетов не означает отказ от речной гидрометрии,

но может стать рациональной и дополнить недостаток информации при малой густоте гидропостов из-за отсутствия постоянных водотоков в условиях недостаточного увлажнения. К сожалению, иногда возможности расчетов с применением СУБД Weather App могут быть ограничены досадным отсутствием метеоданных о температурах и осадках за конкретные сутки и соответственно разрывами в рядах суточных метеонаблюдений для некоторых станций. Но дополнительная работа по восстановлению пропусков в базе метеоданных нивелирует этот недостаток.

### Список литературы / References

1. Карнацевич И.В. Массовые расчеты ежесуточных сумм испарения с поверхности водосборов по данным наблюдений метеостанций // Омский научный вестник. 2013. № 1 (118). С. 241–246.
2. Карнацевич И.В., Акимова В.С. Расчеты элементарных дождевых паводков по данным стандартных метеонаблюдений // Омский научный вестник. 2014. № 1 (128). С. 190–192.
3. Карнацевич И.В., Березин Е.Б. Новые расчетные характеристики температуры воздуха и их статистические прогнозы // Омский научный вестник. 2009. № 1 (84). С. 79–82.
4. Карнацевич И.В., Березин Е.Б. New calculated characteristics of air temperature and its statistical forecasting // Омский научный вестник. 2009. № 1 (84). С. 79–82 (in Russian).
5. Мезенцева О.В., Кусаинова А.А. Изменчивость среднегодовых температур воздуха в Центральном Казахстане (г. Караганда) // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: материалы IV международной научно-практической конференции (Чебоксары, 25 декабря 2017). Чебоксары: Изд-во Интерактивплюс, 2017. С. 40–43.
6. Мезенцева О.В., Кусаинова А.А. Variability of average annual air temperatures in the Central Kazakhstan (Karaganda) // The Relevant directions of scientific research: prospects Development: materials IV of the international scientific and practical conference (Cheboksary, on December 25, 2017). Cheboksary: Izd-vo Interaktivplyus, 2017. P. 40–43 (in Russian).