

УДК 631.432.2.001.573

МЕТОД РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ВЛАГОЗАПАСОВ ПОЧВЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ КРУГЛОГОДИЧНОГО АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

© 2009 С.Е. Варчева

Государственное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии», г. Обнинск;
e-mail: s.varcheva@mail.ru

Представляется математическая модель, описывающая круглогодичную динамику запасов почвенной влаги в масштабе сельскохозяйственного поля с декадным шагом по времени. Проводится сравнение рассчитанных запасов воды в метровом слое почвы с измеренными на агрометеорологической станции. Показано, что численная схема, ориентированная на стандартную агрометеорологическую информацию, обеспечивает достаточную для практики точность мониторинга влагозапасов в круглогодичном режиме.

Ключевые слова: запасы почвенной влаги, мониторинг климата.

Для целей разрабатываемой в настоящее время в ГУ «ВНИИСХМ» системы круглогодичного мониторинга условий увлажнения посевов сельскохозяйственных культур [1] необходима модель, которая позволяет рассчитывать динамику влагозапасов почвы и связанных с ними элементов водного баланса непрерывно в течение года с декадным шагом по времени. Круглогодичный расчет элементов водного баланса по сравнению с расчетными схемами, пригодными лишь для теплого периода года, такими, например, как [2,3], значительно усложняет задачу и по этой причине, по-видимому, такой подход не использовался ранее.

Разрабатываемая численная схема предполагает непрерывное моделирование годового гидрологического цикла. Для климатических условий России это означает моделирование процессов промерзания и оттаивания почвы, накопления снега, а также процессов формирования стока талых вод. Моделирование гидрологического цикла в холодный период года, когда в основном происходит накопление запасов почвенной влаги, позволяет, в частности, определить запасы продуктивной влаги к началу весны. Этот показатель, как известно, является важнейшим для прогнозирования урожайности озимых зерновых культур на территории черноземной зоны России.

Теоретические и практические вопросы моделирования энергомассообмена в системе почва – растение – атмосфера неоднократно рассматривались многими авторами [4,5,6].

Предлагаемая схема расчета режима увлажнения посевов сельскохозяйственных культур основывается на использовании балансовых уравнений – для запасов воды в снежном покрове и в метровом слое почвы. Моделируются процес-

сы накопления воды в снежном покрове, интенсивность таяния снега, испарение с поверхности почвы и динамика влагозапасов в метровом слое почвы.

Уравнение, описывающее динамику запасов воды в снежном покрове, представим в виде:

$$V^{j+1} = V^j + (1 - S^{j+1})R^{j+1} - \Delta V_f^{j+1},$$

где V^j , V^{j+1} – запасы воды (мм) в снежном покрове на конец текущей (j) и следующей ($j+1$) декады, R^{j+1} – осадки за декаду (мм), S^j – доля жидких осадков, ΔV_f^j – интенсивность таяния снега (мм).

Интенсивность таяния снега определяется по формуле:

$$\Delta V_f^{j+1} = \begin{cases} \Delta V_p^{j+1}, & \text{если } \Delta V_p^{j+1} < V^j \\ V^j, & \text{если } \Delta V_p^{j+1} \geq V^j \end{cases},$$

где потенциальное таяние снега ΔV_p^j в свою очередь, вычисляется следующим образом:

$$\Delta V_p^{j+1} = \begin{cases} a \cdot 10 (T^{j+1} + \Delta T), & \text{если } T^{j+1} + \Delta T \geq 0; \\ 0, & \text{если } T^{j+1} + \Delta T < 0; \end{cases}$$

здесь T^j – средняя декадная температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), a – коэффициент стаивания (мм/ $^{\circ}\text{C}$), ΔT – константа ($^{\circ}\text{C}$).

В данной расчетной схеме принимается, что доля жидких осадков пропорциональна температуре воздуха:

$$S^{j+1} = \begin{cases} 1, & \text{если } T^{j+1} > T_{\max}; \\ \alpha T^{j+1} + \beta, & \text{если } T_{\min} \leq T^{j+1} \leq T_{\max}; \\ 0, & \text{если } T^{j+1} < T_{\min} \end{cases}$$

где α , β , $T_{\max}$, $T_{\min}$ – некоторые константы.

Уравнение баланса воды для метрового слоя

почвы (W^j) запишем в виде:

$$W^{j+1} = W^j - \left(\frac{W^j}{W1_{\max}} \right) E_0^{j+1} + \left[1 - \left(\frac{W^j}{W_{\max}} \right) \right] S^{j+1} R^{j+1} + \left[1 - \left(\frac{W^j}{W_{\max}} \right) \right] \Delta V_f^{j+1}$$

Здесь $W1_{\max}$ и $W_{\max}$ - некоторые константы (мм), которые рассчитываются с учетом водно-физических свойств почвы (полной и наименьшей влагоемкости и влажности завядания), E_0^{j+1} - максимально возможное испарение (испаряемость), которое определяется по модифицированной формуле Н.Н. Иванова [7]:

$$E_0^j = 0,06(25 + T^j)^2 \frac{d^j}{E_H^j},$$

где d^j - средний декадный дефицит влажности воздуха (мб), E_H^j - насыщающая упругость водяного пара (мб), зависящая от температуры воздуха:

$$E_H^{j+1} = 6,11 \exp \left(\frac{17,4T^{j+1}}{T^{j+1} + 239} \right)$$

Предполагается, что система численного мониторинга влагозапасов почвы для ЕТ РФ будет реализована в нескольких вариантах, в том числе и для полей, заданных на фиксированной нерегулярной сети гидрометеорологических станций (ГМС) – без пространственного осреднения.

В данном случае рассматривается схема для заданной сети станций, при этом для расчетов используются декадные значения следующих метеорологических параметров: осадков, температуры и дефицита влажности воздуха.

Параметры численной схемы идентифицировались (калибровались) на основании наблюдений за влажностью почвы на полях с озимой пшеницей на ГМС Гигант Ростовской области в течение 1971-1986 гг. Почвенный покров – тяжело-суглинистый предкавказский чернозем. На рис. 1 представлены результаты двух численных экспериментов, проведенных после предварительной калибровки параметров модели водно-теплового режима. Эти данные позволяют сделать вывод о достаточно высокой сходимости рассчитанных и измеренных значений запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы. В первом эксперименте (рис. 1а) влагозапасы почвы один раз в год корректировались – задавались равными фактическим значениям на дату возобновления вегетации озимых зерновых; в этом случае расчетная схема позволила воспроизвести 81% дисперсии продуктивных влагозапасов метрового слоя почвы на материалах наблюдений, включающих 134 измерения (коэффициент корреляции $r = 0,90$).

Во втором эксперименте (рис. 1б) был реализован непрерывный режим расчета динамики влагозапасов в течение 16 лет без ежегодного задания начальных условий. Это необходимо для задачи оценки влияния изменений климата на степень аридности территории и, в конечном итоге, на продуктивность сельского хозяйства.

Расчетная схема в этом случае позволила воспроизвести 74% дисперсии ($r = 0,86$). Близость оценок коэффициентов корреляции (0,90 и 0,86) для первого и второго расчетов подтверждают достаточную для практического использования точность расчетной схемы в круглогодичном режиме. Об этом свидетельствует также отсутствие каких-либо проявлений неустойчивости (например, возможного накопления ошибок) для столь длительного расчетного периода, равного 576 декадам (16 лет). В целом, как показывают приведенные выше результаты расчетов для Ростовской области, численная схема для фиксированной сети гидрометеорологических станций при использовании стандартной для агрометеорологических расчетов информации – декадных значений осадков, температуры и дефицита влажности воздуха – обеспечивает достаточную для практики точность мониторинга влагозапасов в круглогодичном режиме.

Для оценки влияния изменений климата на водно-тепловой режим посевов сельскохозяйственных культур, что входит в круг задач, решаемых с помощью разрабатываемой системы мониторинга, необходимы расчеты динамики влагозапасов почвы на протяжении 30-50 лет. Такой непрерывный численный эксперимент с декадным шагом по времени был осуществлен на материалах наблюдений ГМС Гигант Ростовской области с 1966 по 2006 гг. Расчеты, проведенные за 40 лет (1440 декад), показали хороший результат: коэффициент корреляции между рассчитанными и измеренными запасами продуктивной влаги в метровом слое почвы равен 0,78. На рис. 2 представлены результаты сопоставления рассчитанных среднемесячных значений влажности почвы с фактическими значениями за период с 1966 по 2006 гг.

Технология мониторинга изменений климата для сельского хозяйства, а также перечень основных агроклиматических показателей для мониторинга приведена в методике [8].

В таблице представлены значения некоторых метеорологических параметров, входящих в систему мониторинга водно-теплового режима

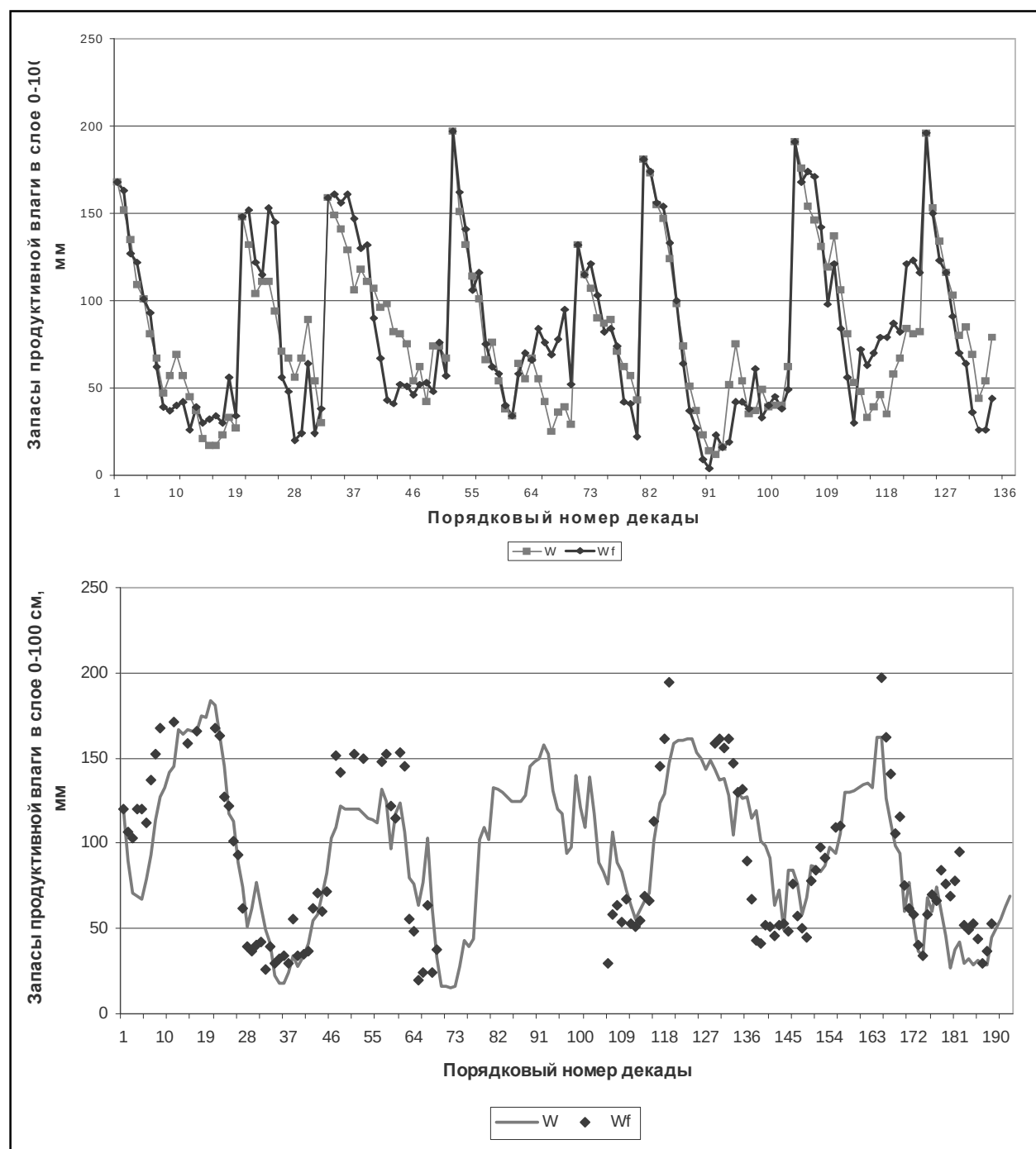


Рис. 1. Сравнение рассчитанных (W) и фактических (W_f) влагозапасов почвы под озимой пшеницей на ГМС Гигант Ростовской обл. с 1971 по 1986 гг.: а) вариант с ежегодным присвоением начальных значений влажности почвы ($N = 134$, $r = 0,90$); б) вариант без ежегодного присвоения начальных значений влажности почвы ($N = 576$, $r = 0,86$).

посевов сельскохозяйственных культур: средне-месячная температура воздуха самого теплого и самого холодного месяцев года – июля и января, сумма осадков и запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы за летне-осенние месяцы.

На рис. 3 в качестве примера показателей агроклиматического мониторинга приведена многолетняя динамика запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см в марте и в сентябре,

рассчитанных по материалам наблюдений ГМС Гигант с 1966 по 2006 гг. Эти данные позволяют судить о тенденции изменения условий увлажнения посевов сельскохозяйственных культур за последние 40 лет.

Из рис. 3 видно, что на ГМС Гигант, условия которой характерны для юга Ростовской области, обеспеченность посевов влагой весной, на момент возобновления вегетации озимых зерновых культур и осенью, во время сева, не снижа-

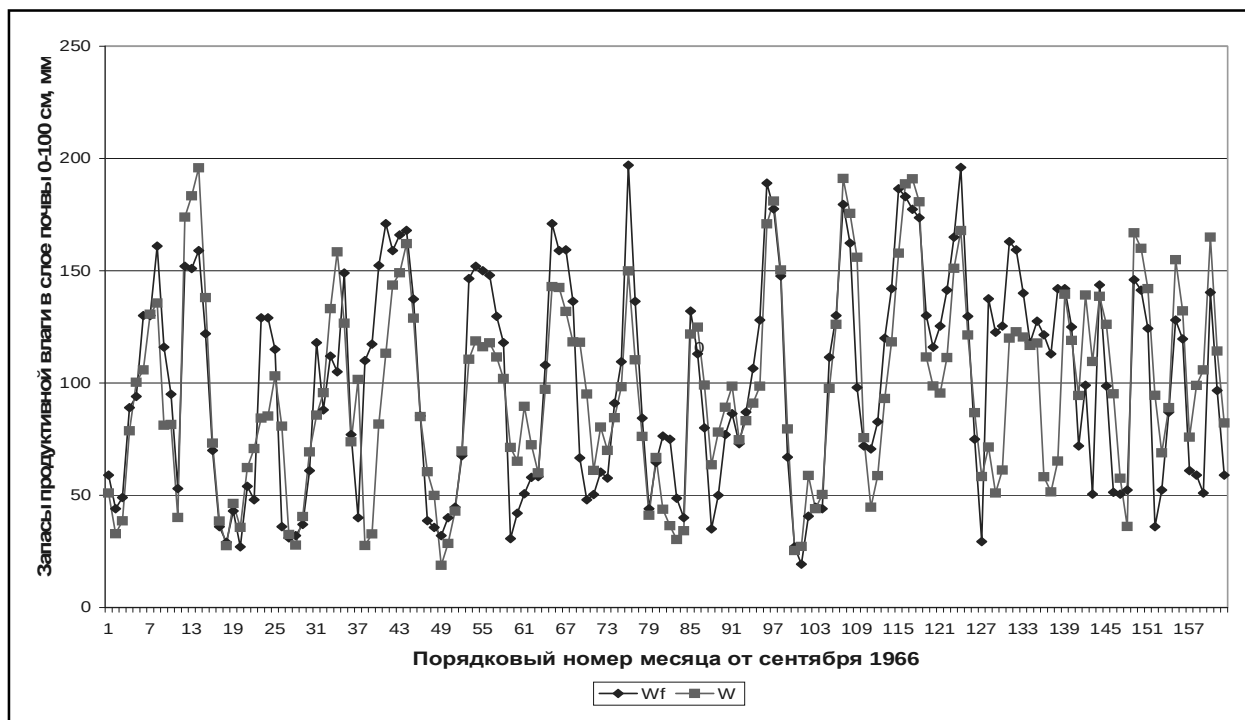


Рис. 2. Многолетняя динамика среднемесячных значений фактических (W_f) и рассчитанных (W) запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под посевом озимой пшеницы на ГМС Гигант Ростовской обл. (1966-2006 гг.)

Таблица. Значения параметров агрометеорологического мониторинга на ГМС Гигант Ростовской области

Год	Температура воздуха, град.		Сумма осадков за месяц, мм			Влагозапасы метрового слоя почвы, мм		
	июль	январь	июнь	июль	сентябрь	июнь	июль	сентябрь
1967	23,0	-3,2	52	14	22	82	40	22
1968	23,5	-4,4	14	23	28	39	28	36
1969	21,6	-10,1	108	25	26	88	81	28
1970	26,1	-3,7	88	36	4	102	44	94
1971	24,9	-1,6	57	28	30	62	51	29
1972	25,5	-14,1	74	52	87	71	65	29
1973	22,1	-8,3	89	37	19	121	95	73
1974	21,9	-6,9	84	67	81	118	95	80
1975	24,2	-1,4	14	104	31	41	67	36
.....								
.....								
.....								
1999	25,9	-0,2	31	88	2	49	63	30
2000	25,1	-2,0	121	24	44	119	78	73
2001	27,5	-0,2	77	4	72	116	48	58
2002	26,6	-4,3	77	41	65	71	46	72
2003	22,5	-1,3	56	65	45	47	66	73
2004	22,0	0,5	51	56	21	97	79	80
2005	24,0	1,5	24	37	80	71	52	42
2006	22,5	-9,9	69	33	39	100	60	50

ется. Более детальные оценки изменения степени аридности климата требуют дальнейших исследований.

Таким образом, многолетнее круглогодичное моделирование гидрологического цикла открывает возможность реального учета наблюдаемых

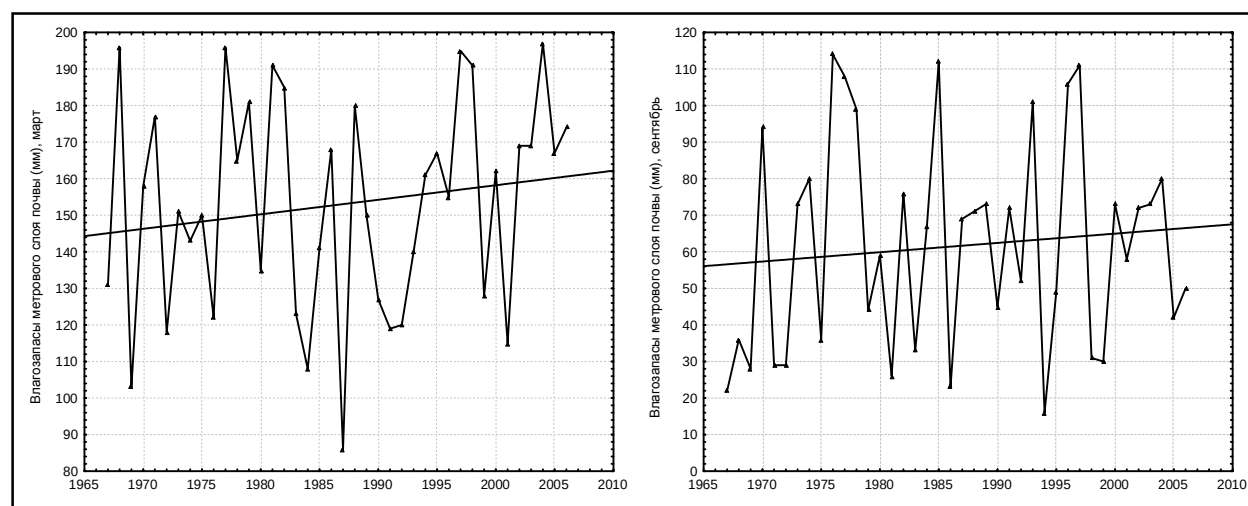


Рис. 3. Динамика среднеемесячных запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы под посевом озимой пшеницы на ГМС Гигант Ростовской области в марте и в сентябре

и ожидаемых в ближайшие десятилетия изменений климата при разработке стратегии развития агропромышленного комплекса России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н., Долгий-Трач В.А. Разработка системы регионального круглогодичного мониторинга водно-теплового режима посевов сельскохозяйственных культур // Труды регионального конкурса научных проектов в области естественных наук. Калуга. 2008. Вып. 13.
2. Варчева С.Е. Расчетные методы определения влагозапасов почвы: опыт внедрения, проблемы и перспективы // Труды ГУ «ВНИИСХМ», 2007. Вып. 36.
3. Шумова Н.А. Оценка точности модели для расчета динамики запасов воды в почве // Метеорология и гидрология. 2003. № 10.
4. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
5. Палагин Э.Г. Математическое моделирование агрометеорологических условий перезимовки озимых культур. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
6. Полуэктов Р.А. Динамические модели агроэкосистемы. Л.: Гидрометеиздат, 1991.
7. Иванов Н.Н. Мировая карта испаряемости. Л.: Гидрометеиздат, 1957.
8. Сиротенко О.Д. Методы оценки изменений климата для сельского хозяйства и землепользования. Методическое пособие. М., 2007.

METHOD OF CALCULATION OF THE SOIL MOISTURE SUPPLIES DYNAMICS FOR THE SYSTEM OF THE YEAR-ROUND AGROMETEOROLOGICAL MONITORING

© 2009 S.E. Varcheva

Federal State Institution «National Research Institute of Agricultural Meteorology»:
e-mail: s.varcheva@mail.ru

The mathematical model describing the year-round dynamics of stocks of soil moisture on a scale of agricultural field with decade step on time is represented. Comparison of the calculated water-supplies in a meter layer of soil with those measured at the agrometeorological station is conducted. It is shown that the numerical scheme using the standard agrometeorological information provides sufficient for practice accuracy of monitoring moisture supplies in the year-round regime.

Key words: stocks of a soil moisture, climate monitoring.