

стыми линиями [1]. Помимо этой единственной метки на шкале стока (стоковой константы), обозначающей границу областей избыточного и недостаточного (для существования постоянных водотоков) увлажнения, на шкале нормы годового стока не удается найти других констант. Это значение стока  $V_0$  предлагается считать гидрологической константой. На школьных учебных картах континентов следовало бы показывать границу зон увлажнения, ориентируясь на это характерное значение, а на картах нормы стока четко выделять соответствующую изолинию цветом или толщиной. Уточнение значений констант в разных физико-географических условиях – дело времени. Возможно, на разных континентах или разных климатах значения универсальной стоковой константы будут несколько различаться.

Рассмотрим еще две шкалы – шкалу относительной влажности почвогрунтов  $V = W/W_{нв}$  (в долях наименьшей влагоемкости) и шкалу теплоэнергетических ресурсов климата  $T_k$  [2]. Нормированная влажность почвогрунтов, выраженная в долях наименьшей (предельной полевой) влагоемкости – величина безразмерная. Значения этой весьма информативной величины получаются в результате расчетов элементов водного баланса по системе уравнений В.С.Мезенцева [3] при использовании исходных данных метеорологических станций о теплоэнергетических и водных ресурсах местности. Средняя влажность деятельного слоя земной поверхности  $V$  связана с коэффициентом увлажнения (теплолагообеспеченности)  $\beta_n$  соотношением  $V^r = \beta_n$ , в котором  $r$  – параметр, зависящий от водно-физических свойств почвы. Коэффициент увлажнения  $\beta_n = H/Zm = L \cdot H/Tz$ , где  $H$  – суммарное увлажнение, равное сумме стока и испарения,  $Zm = Tz/L$  – максимально возможное испарение Мезенцева–Ольдекопа,  $Tz$  – теплоэнергетические ресурсы испарения.

В природных условиях диапазон шкалы коэффициента увлажнения  $\beta_n$  начинается от  $\sim 0$  в пустынях тропического и умеренного поясов и заканчивается практически вблизи значения  $\beta_n = 4,0$  (влажные экваториальные и тропические леса). Критериальным значением коэффициента увлажнения является значение, при котором наблюдается полная соразмерность ресурсов тепла и влаги, то есть  $\beta_n = 1,0$ .

Шкала величины  $V$  начинается от 0 и заканчивается практически около  $V=2,0$ . На шкале величины  $V$  имеется только одно характерное значение  $V_0=1$ , соответствующее средней влажности почвы, равной наименьшей влагоемкости. Эта константа с точки зрения земледелия разделяет области с избыточным и недостаточным увлажнением. При фактической влажности, превышающей  $V_0$ , наблюдается переувлажнение, при влажности  $V < 1,0$  наблюдается недостаточное увлажнение, то есть требуются ирригационные мероприятия.

Теплоэнергетические ресурсы суммарного испарения и нагревания воздуха  $Tz$  в холодных странах оказываются существенно

меньшими, чем *теплоэнергетические ресурсы климата*  $T_k$  [4]. В полярных странах, где годовой радиационный баланс отрицательный или равен нулю, теплотресурсы испарения  $Tz$  незначительны (на высокогорных ледниках и в Арктике) или стремятся к нулю (в Центральной Антарктиде). В ледниковых районах и областях существует граница областей аккумуляции и абляции. Ее географическое положение определяет изолиния поля теплоэнергетических ресурсов климата  $T_k = 600\text{--}800$  МДж/(м<sup>2</sup>·год) [5]. Это значение, очевидно, может быть названо энергетической гляциологической константой. Значение  $T_k = 600$  МДж/м<sup>2</sup> является началом шкалы величины  $T_k$  для планеты Земля, так как меньшего значения не наблюдается даже в Центральной Антарктиде. Наибольшее значение годовой нормы  $T_k = 3500$  МДж/м<sup>2</sup> относится к тропическим пустыням.

**Заключение.** Таким образом, обнаружены критические значения годовых норм атмосферных осадков, местного элементарного климатического стока и теплоэнергетических ресурсов климата, расположенные в самом начале шкал этих величин, которые предлагается считать гидролого-климатическими константами, выделение которых на картах изолиний способствовало бы лучшей структуризации географических представлений и могло бы использоваться при составлении схем районирования территорий.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мезенцева, О.В. Главные гидрологические рубежи и полоса оптимального увлажнения Евразии / О.В. Мезенцева // Омский научный вестник. Серия «Ресурсы Земли». – Омск. – 2007. – № 2(57), 3(61) – С. 31–35.
2. Мезенцев, В.С. Уравнение теплоэнергетического баланса процесса суммарного испарения / В.С. Мезенцев, Г.В. Белоненко, К.П. Березников [и др.] // Науч. тр. Омского с.-х. ин-та. – Омск, 1966. – Т. 66. – С. 111–118.
3. Мезенцев, В.С. Метод гидролого-климатических расчетов и опыт его применения для районирования Западно-Сибирской равнины по признакам увлажнения и теплообеспеченности / В.С. Мезенцев // Труды Омского с.-х. ин-та. – Омск, 1957. – Т. 27. – 121 с.
4. Карнацевич, И.В. Энергетические ресурсы земной поверхности в холодных странах / И.В. Карнацевич // Изв. Рус. геогр. о-ва. – 1995. – Т. 127. – Вып. 6. – С. 10–17.
5. Карнацевич, И.В. Расчеты тепловых и водных ресурсов малых речных водосборов на территории Сибири. Водный баланс и водные ресурсы: учеб. пособие. – Омск, 1991. – Ч. 2. – 80 с.

Материал поступил в редакцию 28.02.09

#### KARNATSEICH I.V., MEZENTSEVA O.V. Constants of the major hydrological-climatic characteristics and their critical meanings

Are found out critical of meaning of norms of atmospheric precipitation, local elementary climatic drain and heat power resources of a climate located right at the beginning of scales of these sizes, which it is offered to consider as hydrological-climatic constants.

УДК 631.61

Валуев В.Е., Мешик О.П., Юрченко Н.Т.

### РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ВОДОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОВОДНО-БАЛАНСОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**Введение.** Для зон недостаточного и неустойчивого естественного увлажнения с.-х. земель юга Западной Сибири, в которых только орошаемое земледелие способно обеспечивать на постоянной основе

гарантированный валовый сбор и высокую урожайность зерновых, кормовых культур и овощей, до настоящего времени не осуществлена разработка водосберегающих режимов орошения ведущих с.-х. куль-

**Валуев Владимир Егорович**, к.т.н., доцент, профессор кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

**Мешик Олег Павлович**, доцент кафедры сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

**Юрченко Николай Тимофеевич**, директор Омского филиала открытого акционерного общества «Сибирский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»

Россия, 644043, г. Омск-43, ул. Тарская, 22-1.

тур в контексте комплексной оценки природной тепловлагообеспеченности с использованием массовых материалов гидрометеорологических наблюдений в совокупности с немногочисленными, часто нерепрезентативными, но дорогостоящими экспериментальными данными, и использования возможностей компьютерного моделирования динамики почвенных влагозапасов в вегетационный период в рамках водосберегающих технологий искусственных поливов.

Методики косвенных прикладных расчетов по массовым данным режимов орошения с.-х. культур пока отвергаются экспериментаторами-агротелиораторами, а компьютерное обеспечение / моделирование и управление водосберегающими технологиями не осваивается из-за неразвитости научно-производственной базы научных подразделений аграрного сектора.

Авторы исходят из положения, что для управления водно-воздушным режимом почв при орошении необходимо иметь исходный, близкий к реальному на текущий период, гидрограф естественной влажности почвы корнеобитаемого слоя. Так как влажность почвы имеет стохастическую природу и зависит от ряда случайных факторов, можно с достаточной степенью достоверности при построении гидрографа естественных влагозапасов расчетной обеспеченности использовать методы математической статистики. Как известно, наиболее точно рассчитывается гидрограф естественной влажности почвы для среднего многолетнего периода, который нами принимается за основу в процессе моделирования создаваемой в процессе орошения динамики почвенных влагозапасов и разработки, с использованием статистических методов, водосберегающих гидрографов. Для практических целей наиболее приемлем воднобалансовый метод, обеспечивающий степень дискретности в месяц, декаду или пентаду.

Принятый, при комплексном аналитическом обосновании, гидрограф используется как стратегический компонент процесса управления режимами почвенных влагозапасов на стадии проектирования и эксплуатации гидрометеорологических систем, при управлении многофункциональными линейными и сетевыми сооружениями.

В местных условиях реализуются адекватные условиям режимы орошения (увлажнительный, увлажнительно – промывной, ирригационно-возможный / водосберегающий, хозяйственно-возможный), которые при необходимости экстраполируются до технически возможного и экологически необходимого поливных режимов, поверяемых в каждом конкретном случае экспериментальным путем. В реальных хозяйственно-экономических условиях эксплуатационный режим орошения приобретает особенности «рационального». Отличительной чертой рационального (субъективно сформированного) режима орошения является только ему присущая, соответствующим образом обоснованная и практически реализованная, динамика почвенных влагозапасов как в целом за вегетационный период, так и в критические фазы развития растений.

Для эколого-мелиоративной практики важно иметь гидрометеорологические характеристики не только по метеопунктам, но и по водосборным площадям, элементам водосборов, объектам гидрометеорологических систем, особенно, по отдельным сельскохозяйственным полям.

В водно-балансовых расчетах учитываются фазовые превращения атмосферных осадков, инфильтрационное питание грунтовых вод, устанавливаются взаимосвязи и даются аналитические оценки необходимых для моделирования режимов орошения почвенно-гидрологических констант. Все это улучшает точность расчетов, а результаты моделирования режимов орошения с использованием критериев оптимизации водопотребления хорошо коррелируют с экспериментальными данными.

**Основные понятия.** В почвенно-биоклиматических областях юга Западной Сибири средняя многолетняя величина суммарного водопотребления (эвапотранспирация) сельскохозяйственных культур составляет от 310 до 710 мм (табл. 1).

Внутригодовое распределение водопотребления (от начала вегетации до ее завершения), в соответствии с суммами положительных среднесуточных температур воздуха ( $\sum t_{>0-C}$ ), осуществляется на основе значений биологического коэффициента водопотребления, установленного экспериментальным путем (табл. 2).

**Таблица 1.** Среднегуманитарное суммарное водопотребление (эвапотранспирация) сельскохозяйственных культур, мм

Культуры	Почвенно-биоклиматическая область и коэффициент увлажнения $K_u$	
	лесостепная $K_u=0,51...0,85$	степная $K_u=0,41...0,50$
Зерновые колосовые	310	360
Кукуруза	400	470
Картофель	350	420
Сахарная свекла	480	570
Овощные (капуста, томаты, лук, огурцы и др.)	360	430
Кормовые корнеплоды	380	440
Люцерна прошлых лет	480	580

Параметры оросительного элемента гидрометеорологических систем необходимо устанавливать с учетом обеспечения водопотребления сельскохозяйственных культур, наиболее требовательных к водному режиму как в сухие, так и во влажные годы [1]. В принципе, интегральным показателем естественной увлажненности сельскохозяйственных земель является влажность почвенного слоя-среды обитания корневой системы растений, из которого они получают влагу, питательные вещества, снабжаются кислородом воздуха и др. В условиях мелиораций задаются и оперативно поддерживаются необходимые в конкретные фазы развития культурных растений минимальные ( $W_{\min i}$ ) и максимальные ( $W_{\max i}$ ) уровни (режимы) влажности почв. Исходя из агрометеорологической практики, следует отметить, что максимальное количество сельскохозяйственной продукции достигается на фоне изменяющейся во времени влажности корнеобитаемого слоя в диапазоне от наименьшей влагоемкости, как верхнего оптимального уровня ( $W_{\text{нв}}=W_{\max}$ ), до влажности разрыва капиллярных связей ( $W_{\text{врк}}=W_{\min}$ ) - нижнего оптимального предела почвенных влагозапасов (табл. 3).

В условиях неустойчивого естественного увлажнения (во влажные годы) мелиоративные воздействия направляются на проведение осушительных мероприятий. В этом случае, создаваемый водно-воздушный режим почвы (режим осушения) призван обеспечить необходимые условия для получения проектной урожайности сельскохозяйственных культур. Режим осушения, при этом, характеризуется следующими показателями: влажностью и аэрацией почвы, продолжительностью затопления поверхности почвы и подтопления ее верхних слоев в различные периоды вегетации, глубиной залегающих подземных вод [3, 4].

Почвенные влагозапасы на конкретном сельскохозяйственном поле являются производной от количества и динамики поступления в деятельный (испаряющий) слой почвы влаги за счет выпадающих атмосферных осадков (табл. 4), почвенно-грунтовых, склоновых и намывных вод. Причем, количество влаги, аккумулируемой в почвенном слое, определяется соотношением между ее приходом и расходом на территории за расчетный период (i).

Осушительные мероприятия направлены на уменьшение приходной и увеличение расходной части водного баланса и, прежде всего, на увеличение поверхностного стока и оттока грунтовых (подземных) вод путем искусственного дренирования территории. При питании земель почвенно-грунтовыми водами оптимальная влажность почвы обеспечивается через поддержание оптимальных глубин залегания их зеркала в пределах конкретного сельскохозяйственного поля. Оптимальная глубина залегания уровня подземных вод от поверхности земли (УГВ) соответствует норме осушения ( $H_0$ ), при которой обеспечиваются оптимальная влажность ( $W$ ) и аэрация ( $A$ ) – свободная порозность, определяемая как разность между пористостью ( $P$ ) и ее влажностью ( $W$ ).

При любом отклонении влажности почвы от оптимальной, растения страдают либо от недостатка, либо от избытка влаги. Задача, которую решают при мелиорации, состоит в том, чтобы через непрерывное обеспечение  $W_{oi}$  по критическим периодам (в среднем декада) и в целом за вегетационный период избежать лимитирования водопотребления сельскохозяйственных культур почвенной влагой и, следовательно, гарантировать, с этой стороны, наивысшую интенсивность фотосинтеза, предопределяющую, в свою очередь, максимальную конечную биомассу (урожайность).

**Таблица 2.** Значения биологического коэффициента ( $K_b$ ) в лесостепной (числитель) и степной (знаменатель) почвенно-биоклиматических областях

Культуры	Сумма температур ( $\Sigma_{t>0^{\circ}\text{C}}$ ) от начала периода водопотребления											
	0...200	201...400	401...600	601...800	801...1000	1001...1200	1201...1400	1401...1600	1601...1800	1801...2000	2001...2200	2201...2400
Озимые колосовые (пшеница, рожь)	0,82	0,87	0,96	1,06	1,10	1,05	0,87	0,60	-	-	-	-
	0,76	0,82	0,94	1,07	1,12	0,99	0,65	-	-	-	-	-
Яровая пшеница	0,77	0,81	0,92	1,04	1,10	1,06	0,92	0,70	-	-	-	-
	0,63	0,69	0,80	1,01	1,11	1,05	0,80	0,57	-	-	-	-
Кукуруза, подсолнечник (на силос)	0,76	0,78	0,82	0,88	0,97	1,05	1,10	1,09	1,03	0,94	0,85	-
Кукуруза на зерно	0,60	0,67	0,70	0,83	0,92	1,04	1,11	1,12	1,03	0,85	0,65	-
Картофель поздний	0,76	0,78	0,85	0,96	1,06	1,10	1,04	0,91	0,68	0,52	-	-
	0,61	0,65	0,72	0,84	1,01	1,12	1,12	1,02	0,82	0,60	-	-
Кормовые корнеплоды (свекла)	0,74	0,77	0,83	0,91	1,02	1,10	1,00	0,90	0,80	0,68	-	-
Сахарная свекла	0,62	0,66	0,72	0,78	0,85	0,94	1,02	1,09	1,14	1,14	1,09	1,02
Поживная культура	0,52	0,55	0,62	0,73	0,86	0,97	1,05	-	-	-	-	-
Капуста ранняя	0,85	0,91	0,96	1,04	1,09	1,08	1,03	0,96	-	-	-	-
Капуста поздняя	0,81	0,85	0,90	0,95	1,02	1,08	1,10	1,08	1,02	1,00	0,98	0,97
	0,72	0,78	0,97	0,98	1,06	1,10	1,11	1,08	1,03	0,95	0,96	0,80
Овощные (огурцы, лук, морковь, столовая свекла)	0,80	0,82	0,88	0,96	1,05	1,10	1,06	1,01	0,92	-	-	-
	0,76	0,79	0,88	0,98	1,06	1,10	1,10	1,04	0,97	0,89	0,82	-
Подпорокная люцерна	0,53	0,58	0,70	0,91	1,08	0,76	0,82	-	-	-	-	-
Люцерна прошлых лет	0,82	0,89	0,98	1,07	1,10	0,81	0,87	1,01	1,10	0,81	0,87	1,01
	0,76	0,83	1,00	1,12	0,75	0,83	1,01	1,11	0,75	0,83	1,01	1,10
Орошаемые пастбища	0,86	0,96	1,07	0,82	0,93	1,05	0,82	0,93	1,05	0,82	0,93	1,05
	0,80	0,91	1,07	0,79	0,91	1,06	0,79	0,91	1,06	0,79	0,91	1,06

**Таблица 3.** Относительная влажность корнеобитаемого слоя почвы ( $V_{0\text{cp}}$ ) в зависимости от  $W_{\text{нв}}$  и  $W_{\text{врк}}$

Культура	Средняя за вегетацию относительная влажность ( $V_{0\text{cp}} = (W_{\text{нв}} + W_{\text{врк}}) / 2W_{\text{нв}}$ )			Расчетная мощность корнеобитаемого слоя, м
	тип почвы по гранулометрическому составу			
	тяжелые	средние	легкие	
Озимая пшеница и рожь, яровая пшеница, просо	0,875	0,850	0,825	1,0
Сахарная свекла	0,900	0,875	0,850	0,7...0,8
Кукуруза	0,875	0,850	0,825	1,0
Многолетние травы	0,875	0,850	0,800	1,0
Картофель	0,875	0,850	0,825	0,7...0,8
Овощи	0,900	0,875	0,850	0,6...0,8
Зернобобовые	0,875	0,850	0,825	0,7...0,8

**Таблица 4.** Среднее многолетнее количество атмосферных осадков, мм

Метеостанция	Месяцы							Периоды		Год
	4	5	6	7	8	9	10	хол.	тепл.	
Тюкалинск	43	59	59	62	53	41	24	61	341	412
Называевск	43	61	61	65	53	40	25	72	347	419
Исиль-Куль	22	30	55	73	54	32	30	78	296	374
Омск-Степная	45	63	61	68	54	42	24	48	357	405
Калачинск	50	69	66	71	56	43	24	54	378	432
Полтавка	20	30	45	54	45	27	28	91	249	340
Черлак	17	26	53	64	48	27	28	82	263	345
Русская Поляна	20	29	44	56	49	24	30	93	252	345

Комплексность подхода при решении поставленной задачи диктует необходимость использования единого метода оценки гидролого-климатических условий на водосборной площади, в целом, и земель, включенных в границы мелиораций (орошения и осушения),

который бы позволял назначить основные регулирующие параметры. Отсюда следует, что управляющими параметрами при автоматизированном управлении режимом гидромелиораций будут выступать: относительная влажность почвы, средняя за расчетный (i) период (или за определенную фазу развития культуры) –  $W_{oi}$ ; верхний предел оптимальной влажности почвы –  $W_{max i}$ ; нижний предел оптимальной влажности почвы –  $W_{min i}$ ; УПВ; допустимые отклонения от рекомендуемых управляющих параметров:  $\pm\Delta V_{oi}$ ,  $\pm\Delta W_{max i}$ ,  $\pm\Delta W_{min i}$ ,  $\pm\Delta H_i$ ,  $\pm\Delta УПВ_i$ .

Естественным условиям свойственна большая пространственно-временная изменчивость влагообеспеченности используемых в сельскохозяйственном производстве земель. Однако известны трудности накопления опытных данных, напрямую характеризующих естественную увлажненность сельскохозяйственных земель в ее динамике и развитии. Нами использованы расчетные режимы влаго- и теплообеспеченности, на фоне которых складываются собственные данному району (массиву) условия, определяющие направления и виды гидромелиораций. Оценка количественных характеристик этих условий лежит на путях комплексного установления целого ряда гидролого-климатических показателей. Причем, такая оценка нами выполнена при использовании тепловоднобалансового подхода, дающего возможность рассмотрения балансов поверхностных и почвенно-грунтовых вод в их единстве с процессом формирования теплотенергетических ресурсов климата исследуемой территории на основе метода гидролого-климатических расчетов профессора В.С.Мезенцева [2, 5]. Метод В.С.Мезенцева достаточно точно описывает взаимозависимости основных природных элементов водного и теплового балансов: общего увлажнения территории, влажности почвы и теплотенергетических ресурсов, с одной стороны, и суммарного испарения (водопотребления с.-х. культур), стока, а также суммарного теплообмена, затрат тепла на испарение – с другой.

Математическое моделирование водного баланса процесса влагообмена между земной поверхностью и атмосферой, исходя из закона сохранения материи, дало возможность произвести количественную оценку приходно-расходных статей, вскрыть динамику формирования почвенных влагозапасов.

Из-за ограниченности материалов наблюдений за составляющими радиационного режима, турбулентными и почвенным теплообменами, нами получены и использованы расчетные зависимости для зоны неустойчивого и недостаточного естественного увлажнения, откорректированные по имеющимся для юга Западной Сибири данным наблюдений за реальными месяцами.

При воднобалансовых расчетах, получены данные о диапазоне активной влаги (ДАВ), равном разности между наименьшей влагоемкостью ( $W_{нв}$ ) и влажностью разрыва капиллярных связей ( $W_{врк}$ ).

В различные по естественной увлажненности годы соотношения фактических влагозапасов в этом диапазоне следующие:

- $W_{ki} > W_{нв}$  – влажность на конец расчетного интервала больше допустимой, наблюдается избыток почвенных влагозапасов – необходимо осушение;
- $W_{врк} \leq W_{ki} \leq W_{нв}$  – влажность находится в оптимальном диапазоне, отвечающем требованиям сельскохозяйственных культур – требуются водосберегающие технологии почвообработки и агрономелиоративные мероприятия;
- $W_{ki} < W_{врк}$  – влажность находится ниже оптимального порога – необходимо искусственное увлажнение почв / орошение с.-х. культур.

Анализ состояния естественной увлажненности почвенного покрова дает возможность определить направления мелиоративных воздействий, а комплекс тепловоднобалансовых характеристик служит основой для формирования водосберегающих режимов орошения с.-х. культур.

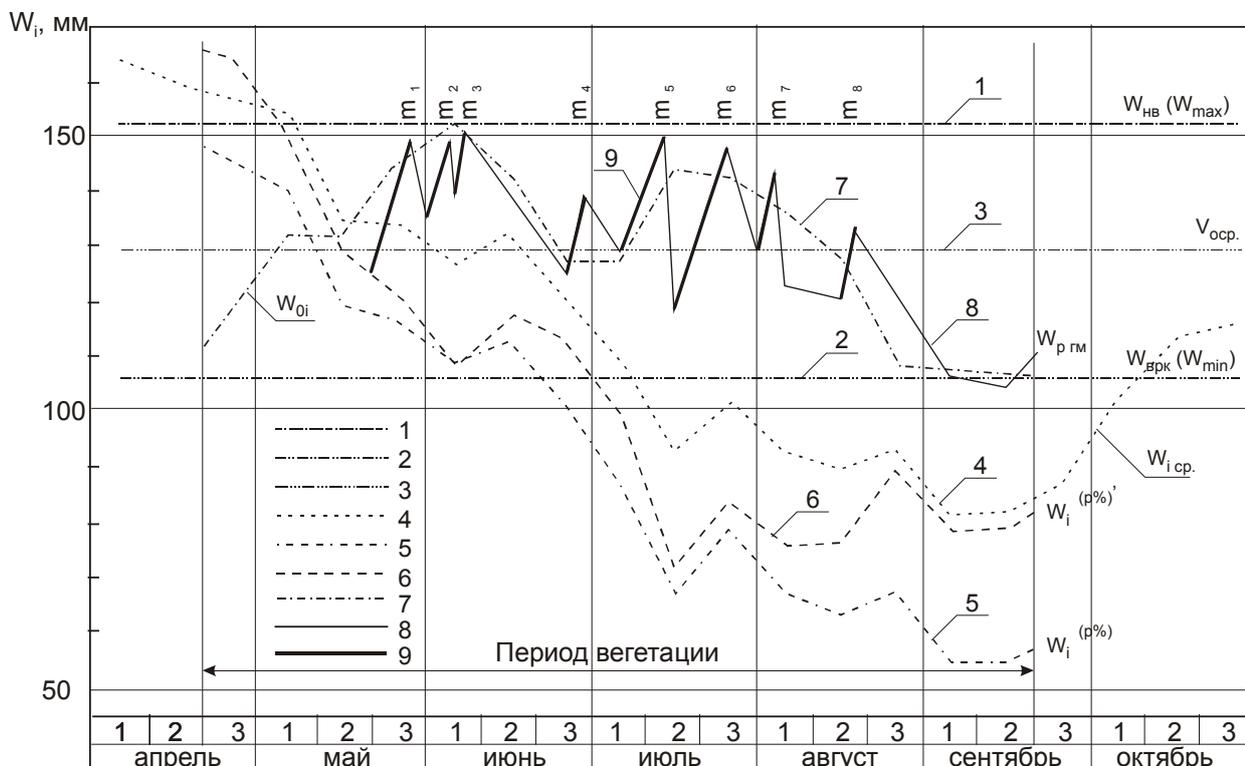


Рис. 1. Пример графо-аналитической реализации методики формирования водосберегающего режима орошения многолетних трав на черноземе обыкновенном суглинистом в деятельном 50-см слое почвы: 1 – наименьшая влагоемкость ( $W_{нв}$ ); 2 – влажность разрыва капиллярных связей ( $W_{врк}$ ); 3 – средняя за вегетацию относительная влажность ( $V_{оср}$ ); 4 – средняя многолетняя ( $P=50\%$ ) влажность ( $W_{i ср}$ ); 5 – равнообеспеченная ( $P=75\%$ ) влажность ( $W_i^{(P\%)}$ ); 6 – скорректированная по реальному ( $P=75\%$ ) году влажность ( $W_i^{(P\%)}$ ); 7 – влажность заданного для многолетних трав уровня оптимальности ( $W_{oi}$ ); 8 – влажность почвы в межполивной период ( $W_{р гм}$ ); 9 – поливная норма ( $m_i$ ), мм

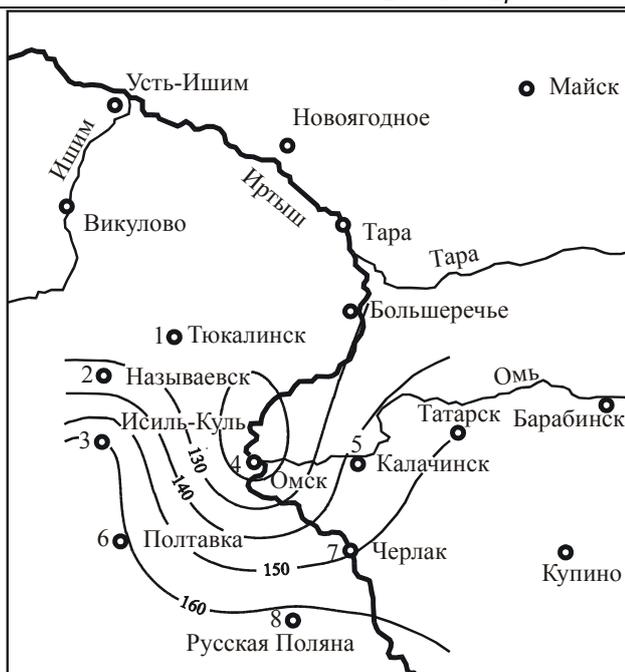


Рис. 2. Среднегодовые почвенные влагозапасы 50 см слоя на начало вегетации, мм

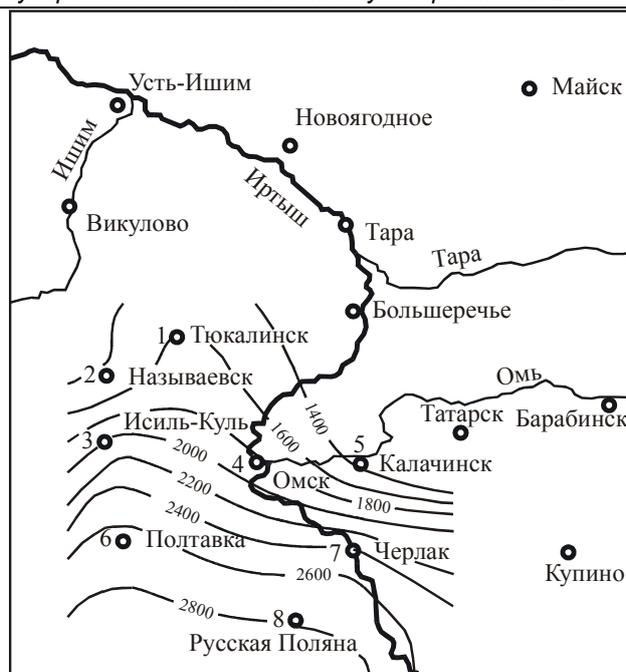


Рис. 3. Оросительные нормы 75%-ной обеспеченности для многолетних трав, м³/га



Рис. 4. Оросительные нормы 75%-ной обеспеченности для овощных культур, м³/га



Рис. 5. Оросительные нормы 75%-ной обеспеченности для яровых зерновых, м³/га

Формирование водосберегающих режимов орошения сельскохозяйственных культур осуществлено на базе моделирования динамики почвенных влагозапасов по предложенным ранее и адаптированным к поставленной задаче методикам [6, 7].

Пример графо-аналитической реализации методики формирования водосберегающего режима орошения многолетних трав на черноземе обыкновенном суглинистом в деятельном 50 см слое почвы приведен на рис. 1.

Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур достигается при максимальной интенсивности эвапотранспирации, которая является, прежде всего, продуктом благоприятного воздушного режима почв, достаточного притока влаги к корневой системе и тепла к испаряющей поверхности. Как известно, нижняя граница влагозапасов, при которых эвапотранспирация еще может поддер-

живаться на максимальном уровне, определяется подвижностью почвенной влаги и составляет, примерно, 60...80% от наименьшей влагоемкости ( $W_{нв}$ ,  $W_{max}$ ). А.А. Роде определил нижнюю границу как влажность разрыва водных капиллярных связей ( $W_{врк}$ ,  $W_{min}$ ) (рис. 1, линия 2). С другой стороны, наименьшая влагоемкость ( $W_{нв}$ ) принимается как верхняя граница оптимальной увлажненности деятельного почвенного слоя (рис. 1, линия 1). Таким образом, если динамика текущих почвенных влагозапасов ( $W_{oi}$ ) будет отвечать максимальному водопотреблению (рис. 1, линия 7 – для многолетних трав), при условии

$$W_{врк} \leq W_{oi} \leq W_{нв}, \quad (1)$$

то урожай сельскохозяйственных культур, при прочих равных условиях, будет максимальным. В критические периоды (фазы развития

**Таблица 8.** Основные параметры водосберегающих режимов орошения с.-х. культур (поливные и оросительные нормы, м<sup>3</sup>/га, средние даты поливов) в пункте Омск - Степная (обеспеченность P=75 и 90%)

Наименование культуры	P, %	Средние даты поливов дождеванием и поливные нормы, м <sup>3</sup> /га											Оросительные нормы, м <sup>3</sup> /га
		01.05	10.05	20.05	01.06	10.06	20.06	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	
многолетние травы	75	400	250	150	100	150		200	200	200	200		1850
	90	400	250	200	200	200	300		250	300	250		2350
овощные культуры	75	150	150	150	150	200	200	200	200	200	150		1800
	90	250	250	200	200	250	250	250	250	300	300	150	2650
яровые зерновые	75	300	200	150	150	150	250	100					1300
	90	350	300	200	200	200	300	200					1750

**Таблица 9.** Основные параметры водосберегающих режимов орошения с.-х. культур (поливные и оросительные нормы, м<sup>3</sup>/га, средние даты поливов) в пункте Калачинск (обеспеченность P=75 и 90%)

Наименование культуры	P, %	Средние даты поливов дождеванием и поливные нормы, м <sup>3</sup> /га											Оросительные нормы, м <sup>3</sup> /га
		01.05	10.05	20.05	01.06	10.06	20.06	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	
многолетние травы	75	200	200	200		200			300	150	150		1400
	90	300	300		250	200			300	300	200		1850
овощные культуры	75			200	150	250	200	100	200	200	150		1450
	90		150	200	200	200	250	150	250	250	200		1850
яровые зерновые	75		300	200	150		250						900
	90	200	200	200	200	250	200						1250

**Таблица 10.** Основные параметры водосберегающих режимов орошения с.-х. культур (поливные и оросительные нормы, м<sup>3</sup>/га, средние даты поливов) в пункте Полтавка (обеспеченность P=75 и 90%)

Наименование культуры	P, %	Средние даты поливов дождеванием и поливные нормы, м <sup>3</sup> /га											Оросительные нормы, м <sup>3</sup> /га
		01.05	10.05	20.05	01.06	10.06	20.06	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	
многолетние травы	75	200	300	400	250	400	300		300	300	250		2700
	90	300	400	500	300	500	500	400	300	400	400		4200
овощные культуры	75		250	350	250	400	400	200	200	250	250		2550
	90		400	500	400	500	500	500	400	400	400	250	4250
яровые зерновые	75		400	400	250	300	400	250					2000
	90		500	500	350	500	500	400	300				3050

растений) влажность почвы должна быть близкой к ( $W_{нв}$ ), но в отдельные стадии вегетации возможно снижение текущей влажности почвы ( $W_{oi}$ ) до значений, близких к ( $W_{врк}$ ). Влажность корнеобитаемого слоя почвы на практике удерживается в некотором среднем (для данной фазы развития культуры) диапазоне (рис. 1, линия 3), который устанавливается в долях от  $W_{нв}$

$$V_{oi} = \frac{W_{max_i} + W_{min_i}}{2 \cdot W_{max}} \approx \frac{W_{нв} + W_{врк}}{2 \cdot W_{нв}} \quad (2)$$

Для управления водно-воздушным режимом почв необходимо иметь фактический (рассчитанный) гидрограф влажности почвы корнеобитаемого слоя.

Как известно, наиболее точно рассчитывается гидрограф естественной влажности почвы для среднего многолетнего периода (рис. 1, кривая 4), который послужил основой в процессе моделирования динамики почвенных влагозапасов и разработки, с использованием статистических методов, типовых (обеспеченных) гидрографов влагозапасов расчетного почвенного слоя (рис. 1, кривая 5).

В информационную базу данных (ИБД) нами включены, с одной стороны, полученные материалы тепловоднобалансовых расчетов по 8 характерным, наиболее информационно обеспеченным пунктам исследуемой территории, которые установлены на основе автоматизированных расчетов по оригинальным методикам и программам, с другой – средние многолетние почвенные влагозапасы 50 см слоя на начало вегетации (рис. 2), а также карты пространственного распределения оросительных норм по ведущим для исследуемой территории с.-х. культурам (P=75%) (рис. 3, 4, 5). Успешно реализован следующий алгоритм моделирования на ПЭВМ динамики водосберегающих режимов орошения (поливных норм, средних дат поливов, оросительных норм 75 и 90 % - ной обеспеченности):

1. На графике (рис. 1, пример) в системе координат «влажность почвы – время» строится гидрограф полученной в результате тепловоднобалансовых расчетов средне-многолетней влажности корнеобитаемого слоя ( $W_{i, ср}$ , мм) за теплый период года и наносится

границы максимально ( $W_{нв}$  ( $W_{max}$ )) и минимально ( $W_{врк}$  ( $W_{min}$ )) допустимых для черноземных почв уровней влажности.

2. Вычленяется вегетационный период сельхозкультуры и пропорционально биоклиматическим коэффициентам водопотребления в диапазоне ( $W_{max} \dots W_{min}$ ) строится кривая оптимально потребных влагозапасов ( $W_{oi}$ ) и среднее значение ( $V_{о, ср}$ ) за период вегетации.

3. По средне-многолетним декадным влажностям корнеобитаемого слоя почвы по умолчанию находится по эмпирической формуле значение коэффициентов вариации и определяется при  $C_s=0$  равнообеспеченное значение влажности почвы ( $W_i^{(P\%)}$ ), которая наносится на график.

4. Построение внутригодовой динамики почвенных влагозапасов осуществляется исходя из критических периодов (фаз) на основе моделирования кривой истинных почвенных влагозапасов расчетной обеспеченности ( $W_i^{(P\%)}$ ).

5. Исходя из ( $W_i^{(P\%)}$ ), в автоматическом режиме, моделируется рациональный режим влажности ( $W_{р,гм}$ ). Рационализм режима гидромелиораций определяется совокупностью лимитирующих факторов, является предметом отдельного исследования, сочетающего полевой эксперимент и эколого-экономическое обоснование режимоформирующих факторов.

Разработанная методика и вышеприведенный алгоритм апробированы на ряде с.-х. культур. Полученные таким образом основные параметры режимов орошения сопоставлялись с биологически оптимальными водными режимами. Основные параметры рациональных водосберегающих режимов орошения многолетних трав, овощей и яровых зерновых (75 и 90%-ной обеспеченности) по восьми расчетным пунктам исследуемой территории представлены в табл. 5–12.

Оросительные нормы 75%-ной обеспеченности (рис. 3, 4, 5) изменяются по исследуемой территории в следующих пределах: 1400–2800 м<sup>3</sup>/га (многолетние травы), 1400–2750 м<sup>3</sup>/га (овощные

**Таблица 11.** Основные параметры водосберегающих режимов орошения с.-х. культур (поливные и оросительные нормы, м<sup>3</sup>/га, средние даты поливов) в пункте Черлак (обеспеченность P=75 и 90%)

Наименование культуры	P, %	Средние даты поливов дождеванием и поливные нормы, м <sup>3</sup> /га											Оросительные нормы, м <sup>3</sup> /га
		01.05	10.05	20.05	01.06	10.06	20.06	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	
многолетние	75	300	400	400	300	250		300		300	200		2450
травы	90	350	500	500	400	400	400		400	300	300		3550
овощные культуры	75		300	300	400	300	300	150	150	150	200		2250
	90		400	500	400	500	450	300	300	300	250	250	3650
яровые зерновые	75		400	500	250	300	300						1750
	90		500	500	400	450	450	300					2600

**Таблица 12.** Основные параметры водосберегающих режимов орошения с.-х. культур (поливные и оросительные нормы, м<sup>3</sup>/га, средние даты поливов) в пункте Русская Поляна (обеспеченность P=75 и 90%)

Наименование культуры	P, %	Средние даты поливов дождеванием и поливные нормы, м <sup>3</sup> /га											Оросительные нормы, м <sup>3</sup> /га
		01.05	10.05	20.05	01.06	10.06	20.06	01.07	10.07	20.07	01.08	10.08	
многолетние	75		500	500	200	400	400		400	200	200		2800
травы	90	300	500	500	350	500	500	300	400	500	400		4250
овощные культуры	75		400	400	200	400	400	300	200	200	250		2750
	90	300	500	500	400	500	500	500	500	400	400	200	4700
яровые зерновые	75		400	400	300	350	400	250					2100
	90	300	500	500	400	500	500	500	300				3500

культуры), 1000–2400 м<sup>3</sup>/га (яровые зерновые); 90%-ной обеспеченности – 1850–4250 м<sup>3</sup>/га (многолетние травы), 1850–4250 м<sup>3</sup>/га (овощные культуры), 1250–3500 м<sup>3</sup>/га (яровые зерновые).

Минимумы приурочены к северо-восточной, максимумы – к южной частям исследуемой территории.

Полученные нами величины существенно отличаются от оросительных норм, устанавливаемых по традиционным методикам. Принципиальное отличие заключается в используемой методологии теоретических оценок и особенностях самих методов формирования основных составляющих режима орошения (оросительных, поливных норм, средних дат и сроков поливов, межполивных периодов). Важным является тот момент, что процесс формирования антропогенного водного режима почв гибко, изначально управляем, проходит в диалоговом режиме при комплексном учете влияния лимитирующих факторов. Резервы, скрытые в потенциальных возможностях оптимизации способов учета лимитирующих факторов, пока не исчерпаны.

**Заключение.** Изученность режимов орошения с.-х. культур, возделываемых на исследуемой территории, отнесенной к степной и лесостепной областям зоны недостаточного и неустойчивого увлажнения, крайне низка. Черноземы обыкновенные, южные, а также выщелоченные и серые лесные почвы обладают достаточным плодородием, чтобы при оптимальном водопотреблении зерновых, овощных культур и многолетних трав устойчиво обеспечивать высокую их урожайность в засушливые годы.

В связи с отсутствием необходимых экспериментальных данных по водосберегающим режимам орошения с.-х. культур в условиях юга Западной Сибири, авторы исследования использовали собственную информационную базу данных (материалы массовых тепловоднобалансовых расчетов) и осуществили моделирование основных параметров водосберегающих режимов орошения.

Предлагаемые взаимосвязанные методики комплексной оценки природной теплолагообеспеченности для целей орошения с.-х.

земель и формирования водосберегающих режимов орошения с.-х. культур, апробированные в настоящем исследовании, по нашему мнению, перспективны и позволяют в дальнейшем организовать научно-исследовательские работы на направлении более полного использования скрытых резервов оптимизации лимитирующих факторов (хозяйственно-экономических, эколого-мелиоративных и водохозяйственных) в условиях юга Западной Сибири.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Эколого-социальные аспекты освоения водно-земельных ресурсов и технологий управления режимами гидромелиорации / П.В. Шведовский [и др.]. – Минск: Ураджай, 1998. – 363 с.
2. Мезенцев, В.С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 168 с.
3. Ивицкий, А.И. О проектировании осушительно-увлажнительных систем на болотах Полесья / А.И. Ивицкий. – М.: Колос, 1974. – 130 с.
4. Моделирование процессов в природно-экономических системах / Под ред. В.И. Гурмана. – Новосибирск: Наука, 1982. – 176 с.
5. Режим влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / Под ред. В.С. Мезенцева. – М.: Колос, 1974. – 240 с.
6. Волчек, А.А. Моделирование динамики почвенных влагозапасов в условиях гидромелиорации / А.А. Волчек, В.Е. Валуев, Н.Т. Юрченко // Совершенствование и реконструкция мелиоративных систем: труды ВНИИГиМ. – М.: 1990. – Т. 78. – С. 46–55.
7. Валуев, В.Е. Моделирование динамики почвенных влагозапасов на стадии управления сооружениями мелиоративных систем / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, О.П. Мешик // Вестник Брестского политехнического института. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. – 2000. – № 2(2). – С. 30–35.

Материал поступил в редакцию 01.04.09

**VALUYEV V.Ye., MESHK O.P., YURCHENKO N.T. Results of mining of conditions of a spraying with usage of accounts of aqueous and calorific balances for conditions of the south of Western Siberia**

The obtained results can be used in solution of hydromeliorative and water problems.