

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Департамент мелиорации

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт систем
орошения и сельскохозяйственного водоснабжения "Радуга"
(ФГБНУ ВНИИ "Радуга")**

**ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
ПО УПРАВЛЕНИЮ И КОРРЕКТИРОВКЕ
ОБЪЕМОВ ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ**

(На примере Ростовской области)

Коломна 2015

УДК 631.675

Авторский коллектив:

д-р с.-х. наук **Г.В. Ольгаренко**, канд. техн. наук **Т.А. Капустина**,
канд. с.-х. наук **Ф.К. Цекоева**, **А.И. Бочкарева**

Технический регламент по управлению и корректировке объемов воды для орошения (На примере Ростовской области). – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 58с.

ISBN 978-5-9906885-2-0

Технический регламент разработан в рамках выполнения ФГБНУ ВНИИ «Радуга» Государственного задания Минсельхоза России на 2014 год по теме 2.1.9 «Провести исследования по прогнозированию продуктивности орошаемых агробиоценозов с учетом пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов и разработать методику и технологическую схему оперативной корректировки поливных режимов и объемов потребляемых водных ресурсов для орошения в различных агроклиматических зонах России».

Технический регламент устанавливает обязательные для применения и исполнения требования при оценке нормированных параметров режимов орошения и объемов потребляемых водных ресурсов в различных агроклиматических зонах РФ.

Технический регламент разработан для обеспечения рационального потребления оросительной воды при проведении поливов, дает возможность контролировать расходование воды на образование урожая и не допускать непродуктивных потерь ее на поверхностные и глубинные сбросы. Такие элементы, как суммарное испарение, осадки, почвенные влагозапасы значительно изменяются в пространстве и во времени, а их изменчивость оказывает сильное влияние на режим орошения и урожайность сельскохозяйственных культур, величину стока и инфильтрации. Нормирование орошения проводится с применением метода водного баланса, динамика элементов которого определяется большим количеством гидрометеорологических факторов.

Рассмотрено и одобрено секцией мелиорации Научно-технического совета Минсельхоза России (протокол № 59 от 27 декабря 2014г.)

УДК 631.675

ISBN 978-5-9906885-2-0

© Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения "Радуга", 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
2	ПРОГНОЗ И НОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР	8
2.1	Оценка пространственно-временной изменчивости почвенно- климатических характеристик Ростовской области	8
2.2	Методика и расчётные модели для установления показателей агроклиматического районирования территории и режимов орошения	14
2.2.1	Коэффициент природного увлажнения K_u	14
2.2.2	Методика для установления параметров и режимов орошения	20
3	ПОЛИВНЫЕ РЕЖИМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ В СООТВЕТСТВИИ С ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ	25
3.1	Водосберегающие, экологически безопасные поливные режимы сельскохозяйственных культур.....	25
3.2	Корректировка поливных норм с учетом статистического ха- рактера закономерностей изменения гидрометеорологических условий и влажности почвы.....	42
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	55

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

На последних конгрессах МКИД, проводимых в 1990-2013 годах подчеркивается, что рациональное использование воды обеспечивает не только высокую экономическую эффективность орошения, но и его экологическую безопасность. Рациональное, с точки зрения экологии, водопользование требует регулирования водного режима почвы в таком диапазоне, который бы обеспечивал получение экономически оправданного урожая при минимизации потерь воды на инфильтрацию и сброс, максимальную замкнутость водного баланса и сохранение автоморфного режима почвообразования.

Нормирование орошения проводится с применением метода водного баланса, динамика элементов которого определяется большим количеством вероятностных и подчиняется статистическим закономерностям гидрометеорологических факторов. Такие элементы, как суммарное испарение, осадки, почвенные влагозапасы значительно изменяются в пространстве и во времени, а их изменчивость, в свою очередь, оказывает сильное влияние на режим орошения и урожайность сельскохозяйственных культур, величину стока и инфильтрации.

Эффективное планирование и управление возможны только при оперировании достоверной исходной, управляющей и контролирующей информацией. Поэтому при обосновании методов нормирования орошения очень важен вопрос теоретического обоснования и отбора наиболее информативных параметров, характеризующих динамику водного режима посевов, оценки их изменчивости при изменении условий внешней среды и величины антропогенных воздействий. Следовательно, одним из важнейших направлений в рамках научного обоснования режима технологий орошения сельскохозяйственных культур является разработка методов определения суммарного испарения и других составляющих водного баланса, прогнозирования и корректировки поливных режимов на основе установления статистических закономерностей с учетом пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических факторов.

Разработка методов расчета, использующих комплексную информацию о метеорологических, почвенных, гидрогеологических условиях, биологических особенностях сельскохозяйственных культур, влажности почвы в сочетании с применением закономерностей статистического анализа и теории ве-

роятностей для оценки характера изменчивости гидрометеорологических факторов, может служить практической основой для рациональной организации управления поливами, обеспечивающей высокую эффективность и экологическую безопасность технологий орошения.

Основные принципы совершенствования методики планирования орошения.

1. Рационализация водопотребления в сельском хозяйстве представляет собой одну из важнейших проблем, так как применение необоснованно завышенных оросительных норм приводит к нарушению водного режима и гидрохимического равновесия, дополнительному питанию грунтовых вод, вымыванию из почвы минеральных и органических соединений и ухудшению экологической обстановки. Для обеспечения рационального потребления оросительной воды, при проведении поливов, требуется точное определение степени влагообеспеченности конкретного поля. Это позволяет своевременно назначать очередной полив, контролировать влагозапасы, расходование воды на образование урожая и не допускать непродуктивных потерь ее на поверхностные и глубинные сбросы.

2. Управление режимом поливов сводится к определению почвенных влагозапасов орошаемого участка на начало и конец расчетного периода. Если инструментальное определение количества осадков, метеорологических показателей вполне доступно, то инструментальное определение влажности почвы не может обеспечить объема информации необходимого для массовой корректировки поливных режимов. Поэтому изменение влагозапасов определяют по уравнению водного баланса с расчетом суммарного испарения на основе математических моделей.

Главные требования, предъявляемые к моделям, это то, что они должны достаточно точно отражать изменение режима влажности посевов, в качестве параметров должны выступать величины, поддающиеся методам статистического анализа, которые можно получить в массовых наблюдениях воднобалансовых и агрометеорологических станций и простота их реализации.

3. Компьютерные технологии выступают как надежный инструмент для решения задач планирования и управления только при оперировании достоверной исходной, управляющей и контролирующей информацией. Поэтому при обосновании математических моделей очень важен вопрос отбора наиболее информативных параметров, характеризующих динамику водного

режима посевов, оценка их изменчивости при изменении условий внешней среды, величины оросительных норм и режима водоподачи на поливной участок.

4. Точность нормирования орошения зависит от точности определения суммарного испарения и характеристик влагообмена в зоне аэрации. Одним из главных недостатков расчетных методов является отсутствие точной и достоверной информации о влиянии влагообеспеченности посевов на суммарное испарение. Наиболее существенно повышает точность математических зависимостей учет нелинейности связи между величиной депрессии испарения и недостатком почвенной влаги в конкретные фазы развития растений, количественная оценка вероятностного характера этой связи.

5. Высокая точность расчетных методов возможна лишь тогда, когда складываются гидрометеорологические условия, при которых получены экспериментальные параметры математических зависимостей. При существующей методике организации полевых опытов, колебания гидрометеорологических условий в годы экспериментальных исследований, накладываются на биологические особенности фаз развития и не позволяют, при рассмотрении динамики процесса, выделить влияние на суммарное испарение биологических особенностей растений в разные стадии онтогенеза. Использование среднемноголетних значений биоклиматических коэффициентов, без учета их изменчивости, приводит к значительным ошибкам при расчетах для конкретных интервалов времени. Тем более, что даже при соответствии экспериментальных и “средних” климатических характеристик изменчивость их в каждый конкретный год значительно различается. Поэтому необходима разработка усовершенствованной методике организации экспериментальных исследований, которая позволила бы получить точную количественную информацию, достоверно характеризующую изменчивость биоклиматических коэффициентов в связи с изменчивостью гидрометеорологических условий.

6. Применение математических моделей для управления орошением требует проведения научных исследований, как по обоснованию расчетных зависимостей, так и по определению эмпирических параметров (биоклиматических коэффициентов) с использованием методов статистического анализа.

Экспериментальные исследования для совершенствования расчетных методов нормирования орошения должны решать следующие задачи:

- количественная оценка влияния гидрометеорологических условий, водного режима почвы на суммарное испарение и урожайность сельскохозяйственных культур;

- получение данных об интенсивности влагообмена в зоне аэрации и структуре водного баланса агроценозов, при различных глубине залегания уровня грунтовых вод и гидрометеорологических условиях;

- изучение структуры теплоэнергетического баланса посевов сельскохозяйственных культур для точной оценки влияния агрометеорологических условий в различные фазы развития растений на формирование суммарного испарения и урожайности.

2 ПРОГНОЗ И НОРМИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

2.1 Оценка пространственно-временной изменчивости почвенно-климатических характеристик Ростовской области

Ростовская область расположена на юго-востоке Европейской части России. Общая площадь составляет 101 тыс. км². Сельскохозяйственные земли (в основном пашня) распространены повсеместно, занимая более 80% территории. Орошаемые земли занимают 255,7 тыс. га (по данным 2005г.).

Рельеф в основном возвышенно-равнинно-увалистый, расчлененный. Опасность эрозии в основном средняя, местами - сильная.

Климат Ростовской области умеренный. Сумма температур выше 10° 2800-3500°, продолжительность вегетационного периода 165-172 дней. При этом на юге и юго-востоке сумма температур выше 10°С 3200-3400°, в северо-западных районах 2500°. Годовое количество осадков от 500 мм на западе и юго-западе до 340-360 мм в южных районах. Продолжительность безморозного периода на севере 160-170 дней, на юге 180-190 дней.

Для области характерны пыльные бури, неравномерность выпадения осадков, частые засухи, суховеи, которых в восточной зоне области насчитывается до 110 дней. К западу количество их уменьшается до 60-85 дней.

Почвы в основном черноземы южные, реже - обыкновенные. Механический состав их - тяжелосуглинистый и глинистый. Местами, по возвышенностям, развиты маломощные черноземы на близких плотных породах (Таблицы 2.1.; 2.2.).

Почвы каштанового типа, которые занимают четвертую часть территории, в той или иной степени солонцеваты и солонцеватость возрастает к востоку от 10 до 50 % и более. Черноземы и каштановые почвы составляют основу пахотных земель области, обладая высоким естественным плодородием.

В целом почвенно-климатические условия области благоприятны для разностороннего развития сельскохозяйственного производства.

Географическое распространение почв и изменение климатических характеристик показано на прилагаемой схеме агроклиматического районирования. (Рисунок 1).

Таблица 2.1 – Водно-физические свойства метрового слоя основных типов почв

Тип почв	Плотность, (т/м ³)	Порозность, (%)	Наименьшая влагоемкость (НВ), (% от абс. сухой почвы)	Влажность завядания, (%)	Отношение влажности завядания к НВ, (%)	Запасы продуктивной влаги, (м ³ /га)
Черноземы обыкновенные тяжелосуглинистые	1,25	52	27,0	15,5	57	1437
Черноземы южные среднесуглинистые	1,35	50	27,6	16,4	60	1512
Черноземы южные глинистые	1,45	47	25,6	11,6	54	1450
Черноземы южные солонцеватые	1,48	45	28,6	16,4	58	1806
Черноземы обыкновенные карбонатные (предкавказские)	1,26	53	29,0	13,9	58	2004
Черноземы обыкновенные выщелоченные (предкавказские)	1,41	47	27,5	13,9	50	1918
Черноземы северо-приазовские слабокарбонатные	1,24	54	33,7	15,6	54	2144
Темно-каштановые слабосолонцеватые почвы	1,46	46	23,8	14,8	61	1314
Каштановые, солонцеватые	1,49	45	23,2	15,2	65	1192
Светло-каштановые	1,55	44	21,5	13,7	67	1205
Луговые почвы пойм	1,45	46	26,7	15,0	56	1696

Таблица 2.2 – Средние продуктивные влагозапасы (мм) в метровом слое почвы весной во время перехода среднесуточных температур воздуха через +5°C

Характеристики зимне-сеннего периода по степени увлажнения * (X-IV)	Районы							
	Ky (0,2...0,3)		Ky (0,3...-0,4)		Ky (0,4..0,5)	Ky(0,5..0,6)	Ky >0,7	
	богара	орошение	богара	орошение		богара	богара	орошение
Влажные $\sum P/\bar{P} = 1,3$	125	160	175	225	200	200	30	$\frac{140^{**}}{150-160}$
Средняя $0,7 < \frac{\sum P}{\sum \bar{P}} < 1,3$	50-100	160	100-150	225	150-200	200	20	$\frac{100}{150}$
Сухая $\frac{\sum P}{\bar{P}} < 0,7$	80	140	75-120	200	100-130	180	10	$\frac{50}{130}$

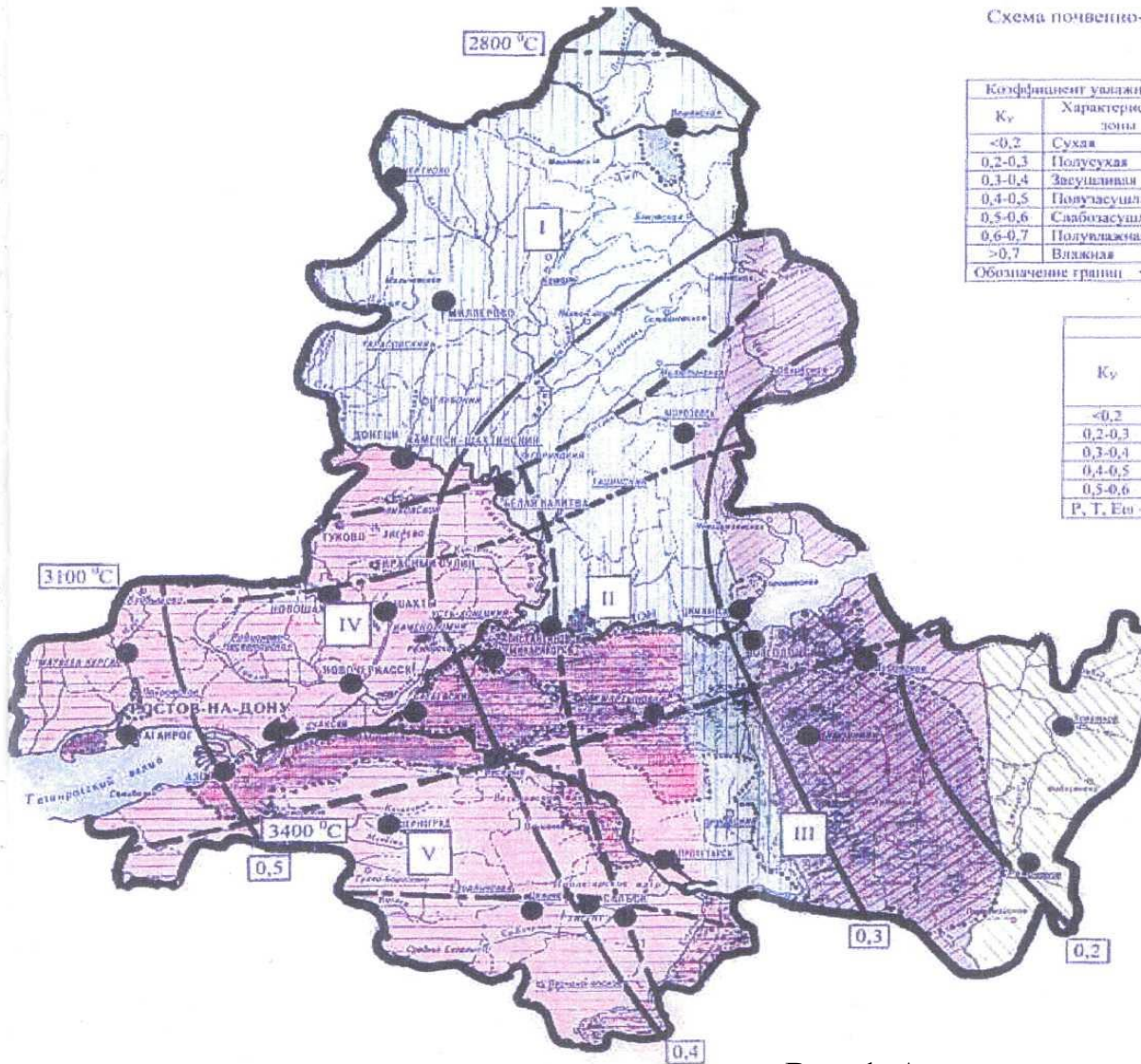
*Степень увлажнения определяется по величине отношения:

$\sum P$ - сумма осадков с октября предыдущего года по апрель данного расчетного года;

$\sum \bar{P}$ - средняя многолетняя сумма осадков за расчетный период.

** – предгорные районы в числителе: при $N_{УГВ} < 3м$; в знаменателе при $N_{УГВ} > 3м$.

Схема почвенно-климатического районирования Ростовской области



К _у	Характеристика зоны
<0,2	Сухая
0,2-0,3	Полусухая
0,3-0,4	Землистая
0,4-0,5	Полувлажная
0,5-0,6	Слабовлажная
0,6-0,7	Полувлажная
>0,7	Влажная

Обозначение границ: —

Испаряемость	
К _в	Е _в
<0,2	900
0,1-0,3	800-900
0,3-0,4	700-800
0,4-0,5	600-700
0,5-0,6	500-600

Теплообеспеченность	
Сумма температур	Осадки
2800-3100	200-300
3100-3400	150-400
3400-3700	200-400

Обозначение границ: —

К _у	Осадки		Температура		Испаряемость		Продуктивность на орошении	
	Р, (мм)	V	T, (°C)	V	Е _в , (мм)	V	У, т/га	V
<0,2	200	0,35	3500	0,10	850	0,20	3,05	0,30
0,2-0,3	240	0,40	3400	0,12	800	0,16	3,80	0,26
0,3-0,4	280	0,29	3300	0,12	770	0,13	4,54	0,22
0,4-0,5	320	0,40	3200	0,14	720	0,18	5,24	0,18
0,5-0,6	370	0,30	3100	0,11	670	0,15	6,01	0,17

Р, Т, Е_в – средние значения; V – коэффициент вариации

Почвенная разность	
Обозначение	Наименование
■	Черноземы южные
■	Черноземы обыкновенные
■	Каштановые почвы
■	Темнокаштановые почвы

Эрозионное районирование	
Обозначение	Характеристика
I	Очень сильная ветровая и слабая водная эрозия
II	Сильная и умеренная ветровая, умеренная водная эрозия
III	Сильная водная и слабая ветровая эрозия
IV	Сильная и умеренная водная, умеренная ветровая эрозия
V	Умеренная ветровая и слабая водная эрозия

Обозначение границ: —

Особенные районы развития орошения в агроландшафтной зоне Ростовской области

Шахты Опорные метеостанции

Рис. 1. Агроклиматическое районирование Ростовской области

Основные показатели гидрометеорологических факторов значительно изменяются во времени и пространстве. Так, осадки и испаряемость характеризуются временной изменчивостью с коэффициентом вариации (0,28...0,40) и (0,16...0,30) при изменении абсолютных величин соответственно от 130 до 560 мм и от 600 до 1200 мм.. Пространственная изменчивость осадков и испаряемости для одного года характеризуется коэффициентами вариации соответственно от 0,3 до 0,21 при изменении абсолютных величин осадков от 205 до 486 мм, а испаряемости – от 685 до 1012 мм (табл.2.3.).

Таблица 2.3 - Характеристики пространственной изменчивости гидрометеорологических факторов

№№ п/п	Метеостанция Ростовской области	Осадки (P), мм			Испаряемость (Ew), мм			Коэффициент увлажнения (Ky)		
		Ср.	σ	V	Ср.	σ	V	Ср.	σ	V
1	Ремонтное	367	108	0,30	870	150	0,17	0,42	0,21	0,50
2	Заветное	205	71	0,35	923	172	0,20	0,22	0,10	0,47
3	Цимлянск	243	102	0,40	798	130	0,16	0,30	0,16	0,53
4	Морозовск	229	81	0,35	1012	239	0,26	0,23	0,09	0,43
5	Б.Мартыновка	259	85	0,33	784	153	0,20	0,33	0,18	0,54
6	Константиновск	486	85	0,20	877	116	0,30	0,55	0,27	0,50
7	Шахты	276	93	0,30	792	153	0,20	0,35	0,18	0,50
8	Б.Калитва	242	85	0,35	809	150	0,18	0,29	0,15	0,50
9	Каменск	250	87	0,34	786	144	0,20	0,32	0,16	0,50
10	Целина	301	1-5	0,35	721	188	0,30	0,42	0,22	0,53
11	Зерноград	322	139	0,40	762	137	0,20	0,42	0,25	0,60
12	Ростов	297	84	0,30	784	131	0,20	0,38	0,15	0,40
13	Чертково	250	93	0,40	729	155	0,20	0,34	0,18	0,52
14	Казанская	273	75	0,30	697	130	0,20	0,39	0,16	0,40
15	Вешенская	263	76	0,30	725	235	0,20	0,36	0,14	0,40
16	Азов	283	92	0,28	685	80	0,13	0,41	0,16	0,40
17	Таганрог	279	76	0,27	726	107	0,15	0,38	0,19	0,50
18	Матвеев Курган	289	94	0,30	765	148	0,20	0,38	0,19	0,50
В среднем в области		279	90,6	0,33	941,2	164,7	0,21	0,30	0,14	0,48

Примечание: σ - стандартные отклонения, мм; ср.-средние значения за 1960...2005г.,мм; V – коэффициент вариации, в долях от единицы.

Пространственная изменчивость гидрометеорологических факторов для конкретной почвенно-климатической зоны меньше, чем временная и пространственная в условиях степной провинции юга России. Так, пространственная изменчивость осадков составила 0,1, температуры - 0,01; дефицита

влажности воздуха - 0,08; испаряемости - 0,05; дефицита естественного увлажнения - 0,11.

Коэффициент вариации осадков для конкретных метеостанций изменялся от 0,34 до 0,36 во времени, а изменчивость в пространстве в среднем за годы исследований характеризовалась коэффициентом вариации 0,097. Дефициты влажности воздуха отличались меньшим коэффициентом изменчивости, чем осадки. Наименьшей временной изменчивостью характеризовались суммы среднесуточных температур воздуха за вегетационный период, коэффициент вариации для которых составил 0,036...0,068 (табл.2.4).

Таблица 2.4 - Пространственно-временная изменчивость гидрометеорологических факторов

Показатель	Обозначение	В среднем за годы исследований в фиксированном пункте				В среднем по объектам климатической зоны	По объектам для лет различной обеспеченности, PW, %			
		м/ст					5	25	50	75
		Ростов	Азов	Веселый	Семикаракоры					
Осадки, мм	P	270	278	262	22	258	120	215	250	320
	σ	98,4	97,2	89,8	81,4	24,9	11,2	64,3	37,6	34,2
	V	36,1	35,0	34,3	36,6	9,7	9,3	29,9	15,1	11,0
Температура, C ⁰	t	2830	2920	2896	2860	2880	3100	3070	2950	2752
	σ	293	104	122	151	39,6	19,4	16,3	44,5	132
	V	6,8	3,6	4,2	6,3	1,4	0,6	0,53	1,5	4,8
Дефицит влажности воздуха, мб	d _ф	1244	1226	1302	1482	1482	1620	1520	1400	1188
	σ	160	135	208	287	117	156	228	112	99,5
	V	12,9	11,0	16,0	19,4	7,9	9,8	15,0	8,0	8,4
Испаряемость, мм	E _w	705	721	737	777	735	880	847	730	668
	σ	90	66	92	121	30,9	39,8	68,2	17,9	46
	V	12,8	9,2	12,5	15,6	4,2	4,5	8,1	2,5	6,7
Дефицит увлажнения, мм	PW	435	44	490	555	481	760	630	480	348
	σ	173	153	181	198	54,9	34,0	127	58,7	68,1
	V	39,7	34,5	36,9	35,7	11,41	4,5	20,2	12,3	19,6

Определяющее влияние на водный режим орошаемых земель и суммарное испарение оказывает тепло- и влагообеспеченность, характеризующая дефицитом естественного увлажнения (PW), а наиболее тесная связь отмечена у суммарного испарения с испаряемостью, которая применяется в качестве комплексной характеристики гидрометеорологических условий.

2.2 Методика и расчётные модели для установления показателей агроклиматического районирования территории и корректировки режимов орошения

2.2.1 Коэффициент природного увлажнения K_u

К комплексным показателям, характеризующим внешнюю среду произрастания растений, существенно определяющим тепловые ресурсы климата, относится, прежде всего, испаряемость, под которой понимают максимально возможное испарение при неограниченном притоке влаги к испаряющей поверхности.

Три основных фактора обуславливают испаряемость:

- *влагоёмкость* воздуха, количественно равная дефициту влажности воздуха;
- *тепловая энергия*, расходуемая на испарение, определяемая тепловым балансом поверхности;
- *интенсивность турбулентного влагообмена* между испаряющей поверхностью и вышележащими слоями атмосферы.

Расчет испаряемости, разработанный ВНИИ «Радуга», получил положительную оценку, рекомендован к применению.

В рекомендуемой методике разработана расчетная модель, включающая энергетическую составляющую процесса испарения, динамическую его часть и показатель влагоёмкости воздуха. Формула имеет следующий вид:

$$E = K_t \cdot d \cdot f(v), \quad (1)$$

где: E - испаряемость, мм;

K_t - энергетический фактор испарения, мм/мб;

d - дефицит влажности воздуха, мб;

$f(v)$ - ветровая функция, учитывающая влияние скорости ветра на интенсивность испарения.

Входящие в формулу 1 факторы определяются по следующим зависимостям:

$$K_t = 0,0061 (25 + t)^2 \ell_a^{-1}, \quad (2)$$

где: t - среднесуточная температура воздуха за расчетный интервал, °С;

ℓ_a - упругость насыщенного пара при этой температуре, мб

$$d = \ell_a (1 - 0,01 A), \quad (3)$$

где: A - относительная влажность воздуха, %.

Главная часть модели (K_t) составлена на основе полной формулы Н.Н. Иванова, имеющей вид: $E = 0,0018 \cdot (25 + t)^2 \cdot (100 - a)$, мм/мес. Формула наиболее тесно коррелирует с эталоном, за который принята формула М.И. Будыко. Коэффициент корреляции равен $0,8 \div 0,93$.

Динамическая часть процесса испаряемости получена экспериментально и определяется по формуле

$$f(v) = 0,64 (1 + 0,19 V_2), \quad (4)$$

где: V_2 - скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли, м/с.

Значения энергетического фактора K_t (мм/мб) и ветровой функции $f(v)$ приводятся в таблицах 2.6. и 2.7.

Таблица 2.6 - Энергетический фактор K_t в зависимости от температуры воздуха

Температура воздуха $t, ^\circ\text{C}$	0	4	8	12	16	20	24	28	32
Энергетический фактор K_t , мм/Мб	0,61	0,63	0,61	0,59	0,56	0,52	0,48	0,45	0,41

Таблица 2.7 - Ветровая функция $f(v)$ в зависимости от скоростей ветра на высоте 2 м (V_2)

Скорость ветра V_2 , м/с	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Ветровая функция $f(v)$	0,64	0,76	0,88	1,00	1,12	1,24	1,36	1,48

В таблице 2.8. показаны понижающие коэффициенты для приведения скорости ветра, измеренной на фактической высоте, к скорости ветра на высоте 2м, входящей в определение ветровой функции $f(v)$.

Таблица 2.8 - Понижающий коэффициент K_v в зависимости от фактической высоты измерения скорости ветра H_f

H_f , м	2	6	7	8	9	10	11	12	13	14
K_v	1	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75	0,75

Расчет испаряемости производится по декадным данным за теплый период года с температурой воздуха выше 5°C. Хронологические ряды испаряемости по каждой метеостанции подвергаются статистической обработке по методике, приведенной в [40-42], в результате чего устанавливаются вероятностные (обеспеченные) значения, т.е. испаряемость в годы различной увлажненности: 5% обеспеченности - влажный год; 25% - средневлажный год; 50% - средний год; 75%-85% - среднесухие годы; 95%– сухой год. Помимо вероятностных значений испаряемости, определяются статистические характеристики эмпирических (многолетних) рядов этого показателя, т.е. ϵ_{x0} – оценка точности среднемноголетнего значения ряда, Cv – коэффициент изменчивости в долях от единицы, ϵ_{Cv} – средняя квадратическая ошибка Cv в%.

Результаты расчетов дают представление об изменчивости испаряемости по годам различной увлажненности, от влажного до острозасушливого, и по территории, приуроченные к природным, физико-географическим зонам.

Показатели природных ресурсов тепла и влаги – испаряемость и атмосферные осадки (Таблицы 2.9; 2.10), оказывающие безусловное влияние на биологическую продуктивность земледельческой территории, не исчерпывают всего комплекса факторов, определяющих развитие и рост растений. Кроме того, каждый элемент водного и теплового баланса в отдельности недостаточно полно отражает потребность земельных угодий в орошении и других мелиоративных мероприятиях и не является критерием для агроклиматического районирования территории. В связи с этим возникает необходимость в разработке комплексного показателя тепло-, влагообеспеченности для районирования агроландшафтов.

Таблица 2.9 - Вероятностные (обеспеченные) значения испаряемости E , мм, по метеостанциям Ростовской области

№	Метеостанция	Коэффициент увлажнения K_u	Испаряемость E , мм					
			5%	25%	50%	75%	85%	95%
1	Миллерово	0,44	603	826	922	1051	1102	1268
2	Морозовск	0,30	1012	1172	1287	1434	1488	1622
3	Шахты	0,40	906	1037	1161	1293	1382	1462
4	Ростов-на-Дону	0,49	797	998	1062	1152	1167	1427
5	Зимовники	0,36	997	1140	1239	1494	1575	1870
6	Ремонтное	0,32	1162	1236	1322	1522	1575	1750

Такой показатель K_u разработан во ВНИИ "Радуга" [44,43] и широко использован в исследованиях и расчетах ряда научных и проектных институтов, отечественных и зарубежных.

Коэффициент увлажнения K_u , устанавливаемый по рекомендуемой методике, можно считать обобщающим показателем недостатка или избытка атмосферного увлажнения рассматриваемой территории, объективно отображающим как климатические, так и геоморфологические и гидрогеологические ее особенности.

Таблица 2.10 - Суммы атмосферных осадков P , мм, в годы различной обеспеченности по метеостанциям Ростовской области

№	Метеостанция	Коэффициент увлажнения K_u	Атмосферные осадки P , мм					
			5%	15%	25%	50%	75%	95%
1	Миллерово	0,44	470	438	405	335	272	206
2	Морозовск	0,30	484	379	351	306	253	174
3	Шахты	0,40	578	501	467	382	344	290
4	Ростов-на-Дону	0,49	589	538	480	452	440	305
5	Зимовники	0,36	510	470	430	378	303	239
6	Ремонтное	0,32	503	423	394	348	302	228

Коэффициент K_u определяется за период с температурой воздуха выше 5°C , в который укладываются вегетационные периоды большинства сельскохозяйственных культур. Расчет K_u ведется по зависимости:

$$K_u = \frac{W_a + P}{E} \quad (5)$$

где: K_u - коэффициент природного увлажнения за период с $t \geq 5^{\circ}\text{C}$;

W_a - активные запасы влаги в метровом слое почвы на начало расчетного периода (дата перехода температуры воздуха через $+5^{\circ}\text{C}$), мм;

P – сумма атмосферных осадков за расчетный период, мм;

E - испаряемость (потенциальная эвапотранспирация) за тот же период, мм

Атмосферные осадки P принимаются по данным метеостанций, репрезентативных для рассматриваемой территории.

Активные влагозапасы W_a определяются по формуле:

$$W_a = W_{нв} (\mu - \beta_o), \quad (6)$$

где: $W_{нв}$ – запасы влаги в метровом слое почвы, соответствующие наименьшей влагоемкости (водоудерживающей способности), мм;

μ - коэффициент, характеризующий степень фактического насыщения почвенного слоя влагой на начало расчетного периода, в долях от $W_{нв}$;

β_0 – влажность почвы, соответствующая предполивному порогу (допустимому порогу иссушения), в долях от $W_{нв}$.

Наименьшая влагоемкость, или водоудерживающая способность конкретной почвы ($W_{нв}$), зависит от ее механического состава и водно-физических свойств.

Коэффициент μ в зависимости от характера и количества атмосферных осадков за зимне-весенний период изменяется, как правило, от 0,7 до 1.

Нижний предполивной порог влажности почвы ориентировочно может быть определен по уравнению:

$$\beta_0 = 0,5 \cdot (\beta_{нв} + \beta_3), \quad (7)$$

где: $\beta_{нв}$ - влажность почвы, соответствующая наименьшей влагоемкости, % от массы;

β_3 - влажность завядания, % от массы.

При отсутствии конкретных данных согласно методике [20] β_0 можно принимать в долях от $\beta_{нв}$:

для песчаных и супесчаных почв - $\beta_0 = (0,50 \dots 0,65) \beta_{нв}$;

для суглинистых почв - $\beta_0 = (0,65 \dots 0,75) \beta_{нв}$;

для глинистых почв - $\beta_0 = (0,75 \dots 0,8) \beta_{нв}$.

В рекомендуемой расчетной модели для определения K_u порог допустимого иссушения почвы (β_0 , %) устанавливается по следующему уравнению:

$$\beta_0 = 0,36 + 1,48 \cdot 10^{-3} \cdot W_{нв} - 9,52 \cdot 10^{-3} \cdot W_{нв}^2, \quad (8)$$

где: $W_{нв}$ – наименьшая

влагоемкость метрового слоя почвы, мм.

В расчетах K_u используются следующие исходные данные:

1). Подекадные метеорологические данные за теплый период с t° воздуха $> 5^\circ\text{C}$ по опорным и пограничным метеостанциям региона за 40-45 летний ряд наблюдений по следующим 4 параметрам:

- Среднедекадная температура воздуха, $^\circ\text{C}$;
- Среднедекадная относительная влажность воздуха, %;

- Среднедекадная скорость ветра, м/с;
 - Сумма декадных атмосферных осадков, мм.
- 2). Данные о высоте установки флюгера (для определения среднедекадной скорости ветра на высоте 2м от поверхности земли), м;
- 3). Сведения о механическом составе, водно-физических и химических свойствах метрового слоя почвы и зоны аэрации.

По перечисленным исходным данным коэффициент увлажнения K_u определяется на ПК по разработанной во ВНИИ "Радуга" программе [39].

Метод обеспечен надежной и доступной для пользователя компьютерной программой, включающей блок статистической обработки результатов расчета для установления вероятностных (прогнозных) значений показателей тепло-, влагообеспеченности и параметров орошения. В методике статистической обработки эмпирических рядов параметров обосновано применение теоретической кривой Джонсона [44,45], позволяющей оценивать ряды с нулевыми или пропущенными значениями признака. По K_u составлена карта районирования увлажнения территории, выделены зоны увлажнения, совмещенные с физико-географическими зонами [46]. Карта представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема районирования территории Ростовской области по коэффициенту природного увлажнения K_u

Как видно из рис.2, территория Ростовской области находится в степной зоне с $K_y < 0,5$, на юго-востоке переходит в засушливую степь.

Выделенные на территории агроклиматические зоны позволяют установить и дифференцировать параметры орошения: суммарное водопотребление, оросительные нормы, режимы орошения.

2.2.2 Методика для установления параметров и режимов орошения

Во ВНИИ «Радуга» создана компьютерная программа *«Расчет водопотребления и норм орошения сельскохозяйственных культур»*.

Программа имеет «Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ» за № 2004610996 от 22 апреля 2004г., эксплуатируется под названием **«ROCK.xls»**. Усовершенствованная в 2005году программа **«ROCK.xls»** позволяет рассчитывать исследуемые показатели за период любой длительности, статистически обрабатывать соответствующие модели и устанавливать динамику их изменения.

С помощью программы осуществляется расчет параметров режимов орошения для любого региона РФ, прогнозирование экологически безопасных поливных режимов с предварительным установлением внутрисезонного распределения оросительной нормы и размеров поливных норм в соответствии с динамикой корнеобразования; определяется важнейший технический параметр - максимальная ордината гидромодуля; производится районирование территории.

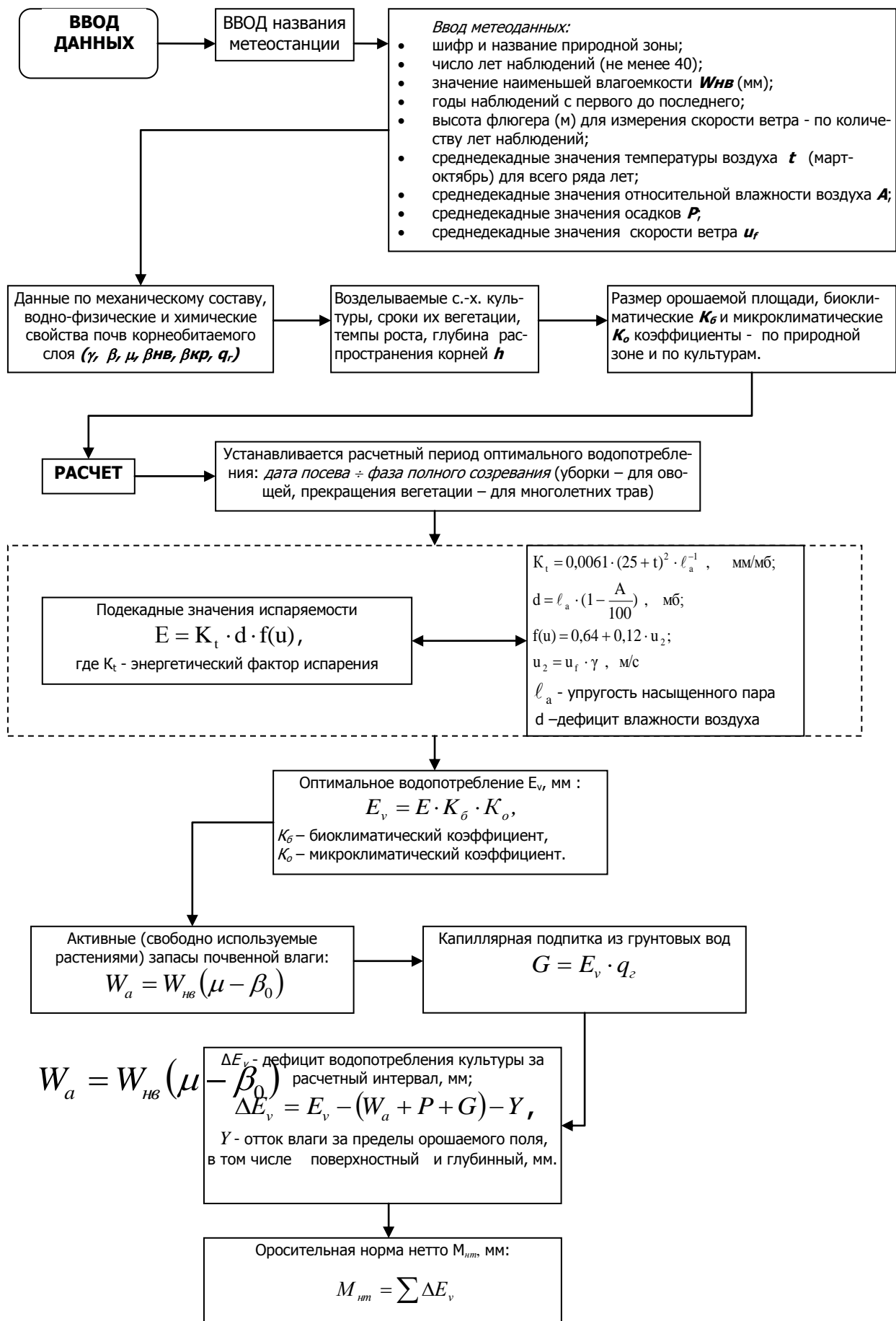


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета оросительной нормы по методике ВНИИ «Радуга»

Таблица 2.11 - Суммарное водопотребление сельскохозяйственных культур в разные по увлажнённости (обеспеченности) годы по метеостанциям Ростовской области

Метеостанция	Сельскохозяйственная культура	Суммарное водопотребление E_v , мм					
		5%	25%	50%	75%	85%	95%
Миллерово	Кукуруза на зерно	377	428	471	513	526	561
	Картофель поздний	305	364	391	430	449	480
	Овощи (томаты)	355	403	448	487	491	539
Морозовск	Кукуруза на зерно	546	585	608	630	637	682
	Картофель поздний	442	476	496	526	535	578
	Овощи (томаты)	502	548	564	585	593	643
Шахты	Кукуруза на зерно	486	516	544	580	603	648
	Картофель поздний	389	429	444	476	504	540
	Овощи (томаты)	445	481	501	542	572	618
Ростов-на-Дону	Овощи (лук, морковь)	386	413	429	441	458	523
	Капуста поздняя	445	481	500	529	537	608
	Люцерна на сено	727	845	879	914	949	1095
	Кукуруза на зерно	446	492	521	540	549	617
	Картофель поздний	384	413	432	455	467	516
	Овощи (томаты)	428	464	482	506	514	580
Зимовники	Кукуруза на зерно	500	527	563	624	668	712
	Картофель поздний	398	435	457	515	562	598
	Овощи (томаты)	452	489	528	586	623	662
Ремонтное	Кукуруза на зерно	552	585	601	633	678	701
	Картофель поздний	447	479	496	531	548	570
	Овощи (томаты)	495	539	559	599	626	648

Таблица 2.12 - Дефициты водопотребления (оросительные нормы нетто) сельскохозяйственных культур в разные по увлажнённости (обеспеченности) годы по метеостанциям Ростовской области

Метеостанция,	Сельскохозяйственная культура	Дефициты водопотребления (оросительные нормы нетто) ΔE_v , мм					
		5%	25%	50%	75%	85%	95%
Миллерово	Кукуруза на зерно	75	174	213	281	322	390
	Картофель поздний	57	134	169	237	277	347
	Овощи (томаты)	79	187	213	290	322	405
Морозовск	Кукуруза на зерно	207	341	392	443	465	508
	Картофель поздний	170	263	325	355	379	428
	Овощи (томаты)	221	321	383	397	450	481
Шахты	Кукуруза на зерно	128	223	284	338	379	410
	Картофель поздний	114	185	213	270	313	332
	Овощи (томаты)	119	227	271	325	364	397
Ростов-на-Дону	Овощи (лук, морк.)	96	147	181	203	251	284
	Капуста поздняя	132	218	253	280	296	367
	Люцерна на сено	252	356	398	476	525	653
	Кукуруза на зерно	102	200	229	263	275	366
	Картофель поздний	95,9	157	187	217	238	288
	Овощи (томаты)	116	194	228	258	275	341
Зимовники	Кукуруза на зерно	178	251	310	406	451	508
	Картофель поздний	145	196	252	333	377	454
	Овощи (томаты)	180	228	304	398	419	496
Ремонтное	Кукуруза на зерно	206	300	354	430	461	596
	Картофель поздний	134	249	297	355	393	420
	Овощи (томаты)	197	291	336	395	454	487

Таблица 2.13 - Внутрисезонное распределение оросительной нормы в м³/га для м.ст. Ростов-на-Дону

Культура	Расчётный год (обеспеченность Р, %)	Период вегетации							IV-X
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Кукуруза на зерно	50	0	0	740	1150	410	0	0	2300
	75	0	260	1060	1020	460	0	0	2800
	95	0	220	1240	1570	620	0	0	3650
Картофель поздний	50	0	110	870	870	0	0	0	1850
	75	0	210	980	960	0	0	0	2150
	95	20	570	1360	900	0	0	0	2850
Овощи (томаты)	50	0	370	850	940	240	0	0	2400
	75	0	530	1020	980	270	0	0	2800
	95	30	620	1270	1330	150	0	0	3400
Овощи (лук, морковь)	50	60	490	970	480	0	0	0	2000
	75	100	570	1000	530	0	0	0	2200
	95	160	650	1270	770	0	0	0	2850
Капуста поздняя	50	0	370	800	1130	250	0	0	2550
	75	25	470	985	1020	300	0	0	2800
	95	70	480	1230	1500	170	0	0	3450
Люцерна на сено	50	0	220	760	930	1020	780	290	4000
	75	50	430	950	930	1250	770	370	4750
	95	240	720	1080	1500	1320	840	300	6000

3 ПОЛИВНЫЕ РЕЖИМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР, ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ В СООТВЕТСТВИИ С ПОЧВЕННО- КЛИМАТИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

3.1 Водосберегающие, экологически безопасные поливные режимы сельскохозяйственных культур

Методика обоснования параметров режима орошения

Процесс регулирования водного режима включает в себя две составляющие: производственную технологию (техника и технология полива), а с другой - технологию инновационного обеспечения производственного процесса, позволяющую контролировать, планировать, управлять, оптимизировать производственную технологию.

Технология для управления водным режимом орошаемых агроландшафтов должна обеспечивать получение экономически оправданного уровня урожайности, при минимизации потерь на инфильтрацию и сброс, сохранение автоморфного режима и почвообразования и максимальную замкнутость водного баланса.

При реализации технологического процесса необходимо решение следующих задач:

- расчет динамики запасов влаги в почве каждого поливного участка;
- определение оптимальных эколого-экономических режимов орошения как для отдельных участков, так и всего севооборота;
- оперативное планирование режимов орошения для нескольких севооборотов с учетом их структуры;
- определение экономически целесообразных режимов орошения при дефиците водных, энергетических и материально-технических ресурсов;
- оценка непродуктивных потерь воды в зависимости от технического уровня оросительных систем, технологии и техники полива;
- оценка возможного влияния на экологическую обстановку технологий орошения;
- обоснование оптимальной технологии водоподачи (режима водораспределения);
- информационное обеспечение производственного процесса, контроль за ходом его выполнения.

- прогнозирование возможных экологических последствий от реализации оросительных мелиораций и прогноз оросительных норм с учетом вероятностного характера гидрометеорологических факторов.

Естественно, все показатели и характеристики состояния посевов учесть практически невозможно, да и нецелесообразно, т.к. это может привести к значительному усложнению моделей без увеличения точности расчетов. Поэтому при моделировании очень важен вопрос отбора наиболее информативных параметров, характеризующих состояние посевов в связи с воздействием агрометеорологических факторов.

Ни одна модель не может быть использована для управления без оценки её соответствия естественным процессам, протекающим на полях, информативности и устойчивости её параметров, дифференциации параметров и констант, входящих в модели для условий конкретных агроландшафтов. При разработке моделей, ориентированных на практическое использование, необходимо ограничить уровень их сложности, который с одной стороны должен отражать в их структуре процессы наиболее значимые для роста и развития растений, формирования плодородия почв, а с другой стороны не выйти за пределы возможностей показателей в обеспечении их информацией.

Для обеспечения оптимальных управленческих решений необходимо наличие объективной и точной информации о рабочих параметрах всех звеньев управляемой системы, о природных и технологических процессах, протекающих на каждом поле. Состав информационного обеспечения должен включать параметры, поддающиеся учету в условиях производства и определению агрометеослужбой и гидромелиоративными партиями.(Таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Информация, необходимая для оперативного планирования орошения

Вид информации	С о д е р ж а н и е
Нормативно-справочная информация	<p>вид возделываемой культуры; сумма активных температур воздуха;</p> <p>по фазам развития от посева или возобновления вегетации, фаза развития культуры;</p> <p>расчетный слой почвы по культурам и фазам развития;</p> <ul style="list-style-type: none"> - биологические коэффициенты водопотребления; - параметры уравнений для расчета суммарного испарения и динамики влагозапасов; - параметры для расчета влагообмена в зоне аэрации; - допустимая минерализация грунтовых вод; - параметры уравнений для расчета потерь оросительной воды с учетом климатических факторов, технического состояния оросительной сети, способа и техники полива; - зависимости “урожай-влагообеспеченность”
Сезонная информация	<ul style="list-style-type: none"> - стартовые запасы влаги в расчетном слое почвы; - запасы влаги при наименьшей влагоемкости; - критические запасы влаги в зависимости от наименьшей влагоемкости; - возделываемая культура; - данные о водно-физических и агрохимических свойствах почвы на начало вегетационного периода; - данные об используемой технике полива, наличии дренажной сети
Оперативная информация	<ul style="list-style-type: none"> - дата начала расчетного оросительного периода (посева или возобновление вегетации); - метеорологические показатели, температура, дефицит влажности воздуха, скорость ветра; - испарение с водной поверхности испарителя ГГИ-3000, или водного бассейна 20x20; - суточная сумма осадков; - глубина залегания УГВ; - минерализация грунтовых вод; - показатели изменчивости биоклиматических коэффициентов; - фазы развития растений; - показатели изменчивости метеофакторов.

Большинство методов планирования поливов сводится к решению уравнения водного баланса орошаемого участка для определения динамики

влагозапасов, а затем с использованием зависимостей "урожай-влагообеспеченность" выбора наиболее оптимальной стратегии орошения.

В основе методики водного баланса лежит закон сохранения вещества и его теоретическая обоснованность не вызывает сомнений, хотя определение его отдельных составляющих, при выполнении практических расчетов, может стать источником существенных ошибок. Несомненным достоинством метода является его простота, в ряде случаев, без существенного снижения точности можно пренебречь влиянием отдельных составляющих.

Основной информацией для выбора решений о нормах и сроках поливов служит текущая информация о влажности почвы, которую получают на основе решения уравнения водного баланса:

$$W_K = W_H + P + M + V_{gr} - ET - V_f \quad , \quad (9)$$

Причем такие составляющие как суммарное испарение (ET), величины подпитки грунтовыми водами (V_{gr}) инфильтрация (V_f) определяется на основе данных агроклиматических наблюдений, расчетными методами, где P – атмосферные осадки, мм; M – оросительная норма, мм; W_H - влагозапасы почвы на начало расчетного периода, мм; W_K - влагозапасы почвы на конец расчетного периода, мм.

Поливная норма рассчитывается по следующей формуле:

$$m = W_{HB} - W_{KP} \quad , \quad (10)$$

где W_{HB} - влагозапасы почвы, соответствующие наименьшей влагоемкости; W_0 - влагозапасы почвы, соответствующие нижнему диапазону регулирования влажности почвы

Величина поливной нормы зависит от мощности корнеобитаемого (расчетного) слоя почвы, фазы развития растений, климатических факторов, принятого диапазона допустимого колебания влагозапасов.

В случае принятия диапазона колебания от $0,7 W_{HB}$ до $0,9 W_{HB}$:

$$m = 0,9 W_{HB} - 0,7 W_{HB} \quad , \quad (11)$$

В случае принятия диапазона колебания влагозапасов почвы от $0,6 W_{HB}$ до $0,8 W_{HB}$:

$$m = 0,8 W_{HB} - 0,6 W_{HB} \quad , \quad (12)$$

В случае принятия диапазона колебаний влагозапасов почвы от $0,8 W_{\text{ФНВ}}$ до $W_{\text{НВ}}$:

$$m = W_{\text{НВ}} - 0,8 W_{\text{ФНВ}}, \quad (13)$$

Поливная норма (разовая норма полива) представляет собой количество воды, подаваемое на гектар орошаемой площади в $\text{м}^3/\text{га}$ (или мм слоя воды). Размер поливной нормы зависит от глубины промачивания и водно-физических свойств почвы, степени ее иссушения к моменту полива, состояния агрофона, рельефа орошаемой поверхности, а также способа и технологии полива.

В соответствии с водоудерживающей способностью почвы максимальный размер поливной нормы нетто определяется по зависимости:

$$m_{\text{max}} = W_{\text{нв}} - W_o = 10 \cdot \gamma \cdot h_p \cdot (\beta_{\text{нв}} - \beta_o), \quad (14)$$

где: $W_{\text{нв}}$ - запасы влаги в расчетном слое почвы, соответствующие НВ (наименьшей влагоемкости), мм;

W_o - допустимые или фактические предполивные запасы воды в том же слое почвы, мм;

γ - объемная масса в расчетном слое почвы, $\text{т}/\text{м}^3$;

h_p - расчетная глубина промачивания, м;

$\beta_{\text{нв}}$ - влажность почвы при НВ, % массы;

β_o - предполивная (допустимая) влажность почвы, % массы.

При расчете поливной нормы необходимо знать мощность расчетного (действительного) слоя почвы.

Глубина расчетного слоя под различными сельскохозяйственными культурами, для которых определяется влажность почвы и вычисляются нормы полива, в зависимости от фазы развития растений и характера почвогрунтов может быть определена по таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Изменение активного слоя почвы в течении вегетации

Культуры	Номер декады от начала вегетации				
	0 - 2	3 - 4	5 - 8	9 - 10	11 - 14
Озимая пшеница	0,50	0,70	0,90	-	-
Кукуруза на зерно	0,30	0,40	0,60	0,90	0,90
Многолетние травы	0,60	0,80	0,90	0,90	0,90
Огурцы, томаты	0,30	0,45	0,60	0,60	0,60
Капуста	0,30	0,40	0,55	0,60	0,60
Картофель	0,35	0,50	0,70	0,80	0,80
Яровая пшеница	0,40	0,60	0,80	0,90	0,90

Расчетная глубина h_p зависит в реальном времени от вида орошаемой культуры, фазы развития и глубины распространения корней, а также от способа полива, литологического строения толщи аэрации и связанной с ней глубины активного влагообмена.

В зависимости от влажности и плотности почвы, содержания в ней гумуса, влажности и системы агротехники глубина слоя активного влагообмена в течение вегетации орошаемых культур изменяется от 0,2-0,4 м в начале до 0,8-1,0 м в период максимального развития их корневой системы.

По мере нарастания корневой системы растений увеличивается слой активного влагообмена, что обуславливает необходимость дифференцирования поливных норм на протяжении поливного сезона.

Наибольшую сложность при расчетах поливной нормы представляет определение допустимого (критического) порога иссушения почвы перед поливом. Дело в том, что предполивной порог зависит как от физиологических особенностей растения, так и от водно-физических свойств почвы. Обычно этот порог оценивается в долях от наименьшей влагоемкости (водоудерживающей способности) почвы.

Согласно справочной и нормативной литературе допустимый порог иссушения корнеобитаемого слоя почвы рекомендуется определять по уравнению (7).

Для определения нижнего уровня допустимых (предполивных) влагозапасов V_0 (в долях от НВ) для разных типов почв (при разных значениях $W_{нв}$), рекомендуется уравнение (8).

Для установленных значений V_0 предельная (максимальная) поливная норма нетто для расчетного слоя $h_p = 0,6$ м будет равна:

- для суглинистых почв $m_{max} = (320 - 0,737 \cdot 320) \cdot 0,6 = 50,5$ мм;
- для супесчаных почв $m_{max} = (200 - 0,618 \cdot 200) \cdot 0,6 = 46,2$ мм.

Фактически с учетом применяемых способов и технологий полива расчетная поливная норма может существенно отличаться от m_{max} . При поливе дождеванием предельно допустимая норма полива зависит не только от степени иссушения и необходимой глубины промачивания почвы и ее водоудерживающей способности в диапазоне от W_0 до $W_{нв}$ (формула 9), но и от интенсивности и структуры дождя и впитывающей способности почвы с учетом агрофона, рельефа и уклона поверхности орошаемого участка. При этом реализуемая поливная норма не должна превышать эрозионно допустимую (достоковую) норму.

Таким образом, агропочвенные требования к размеру реализуемой поливной нормы заключаются в том, чтобы:

1. Обеспечить создание и поддержание в корнеобитаемом слое почвы оптимальной для роста и развития растений влажности, сохраняющей структуру и плодородие почвы.

2. Не допускать лужеобразования, поверхностного стока и волной эрозии почвы.

3. Исключить переувлажнение почвы и глубинные сбросы оросительной воды за пределы зоны аэрации.

При поливе дождеванием минимальные значения поливных норм соответствуют почвам слабой водопроницаемости и начальным фазам развития растений, когда их корневая система развита еще недостаточно. Эту закономерность необходимо учитывать при планировании и реализации режимов орошения, так как именно поливная, а не оросительная норма в наибольшей степени воздействует на мелиоративное и экологическое состояние орошаемых земель и требует особого внимания, как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации оросительных систем.

Величина испаряемости (E_{ω}) определяется по данным испарометра ГГИ-3000, устанавливаемого на каждом севооборотном участке.

При отсутствии испарометров, E_{ω} может быть определена по формулам Иванова Н.Н. или по региональным зависимостям полученным Ольгаренко Г.В. в результате расчетов по данным метеостанций Ростовской области.

$$E_{\omega} = A (d_{\phi})^{BT}, \quad (15)$$

где d_{ϕ} - дефицит влажности воздуха, мб; T - температура воздуха, °С; A, B - эмпирические параметры .

Для расчета величин расхода грунтовых вод в зону аэрации используется уточненная автором формула Харченко С.И.:

$$V_{gr} = \frac{E_{\omega}}{e^{mH}}, \quad (16)$$

где E_{ω} - испаряемость, мм; m - параметр, для данного типа почв, зависящий от фазы развития растений; H -глубина залегания грунтовых вод, м.

Глубина залегания грунтовых вод устанавливается по смотровым гидрогеологическим скважинам, оборудованным на каждом сельскохозяйствен-

ном поле, для которого рассчитывается поливной режим. Все исходные данные определяются в соответствии с “Временными методическими указаниями воднобалансовым станциям на мелиорируемых землях по производству наблюдений и обработке материалов”. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 296 с.

Таблица 3.3 - Изменение параметра “m” в течение вегетации (по данным Ольгаренко Г.В., Ильинской И.Н., Харченко С.И.)

Культура	Сумма активных температур (°С)					
	0-200	200-400	400-500	500-600	600-700	700-900
Люцерна 2-3 года	0,83	0,69	0,67	0,67	0,65	0,62
Озимая пшеница	1,30	1,00	0,90	0,74	0,70	0,70
Ячмень	1,20	0,96	0,92	0,76	0,74	0,74
Кукуруза на зерно	1,0	0,80	0,78	0,70	0,68	0,65
Овощи	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8	0,8

Необходимые для расчета испаряемости данные по температуре и влажности воздуха считаются репрезентативными для полей, удаленных от метеостанции, если разница в значениях для поля и метеостанции, не превышает соответственно $\pm 1,5$ С и $\pm 3,0$ мб. За начало вегетационного периода принимается дата перехода среднесуточных температур воздуха через 5 С°.

Таблица 3.4 - Средние значения поливных норм и количества поливов сельскохозяйственных культур для Ростовской области (м.ст. Ростов-на-Дону) в разные по влажности (обеспеченности) годы

Культура	Поливная норма М, м³/га	Оросительная норма нетто, м³/га		
		Количество поливов		
		P50%	P75%	P95%
Люцерна (на сено)	300-500	<u>4000</u> 8-10	<u>4750</u> 10-11	<u>6000</u> 12-13
Капуста поздняя	250-500	<u>2500</u> 5-6	<u>2800</u> 6-7	<u>3450</u> 8-9
Кукуруза на зерно	300-500	<u>2300</u> 6-7	<u>2650</u> 7-8	<u>3650</u> 9-10
Овощи (томаты)	200-450	<u>2400</u> 7-8	<u>2800</u> 8-9	<u>3400</u> 9-10
Овощи (лук, морковь)	200-400	<u>2000</u> 6-7	<u>2200</u> 7-8	<u>2850</u> 8-9
Картофель поздний	250-500	<u>1850</u> 5-6	<u>2150</u> 6-7	<u>2850</u> 8-9

Сроки полива определяют исходя из следующих соображений: в процессе взаимодействия составляющих водного баланса в период предшествующий поливу, происходит изменение влагозапасов в корнеобитаемом слое, которое на любой момент времени равно интегральной сумме этих составляющих .

Определение сроков полива сводится к вычислению результирующей водного баланса за заданный интервал времени (пятидневка, декада), суммирование этих значений нарастающим итогом, пока не будет достигнуто условие: $W_K = W_O$.

Атмосферные осадки (P) измеряются с помощью осадкомеров Третьякова и почвенных дождемеров, располагаемых на каждом поле.

Величина поливной нормы (m) измеряется по водомерным устройствам поливной техники, либо при помощи дождемерных стаканов.

Осадки являются одной из основных составляющих приходной части водного баланса, и во многом определяют режим испарения сельскохозяйственных полей и динамику влагозапасов. Погрешности в измерении осадков могут приводить к значительным ошибкам в расчетах. Например, при расположении осадкомеров на границе поля, возможны отличия величин выпавших осадков, в точке измерения от средних по площади поля на 15 % и более. Погрешности при определении осадков могут привести к ошибкам свыше 20 % при расчетах суммарного испарения воднобалансовым методом (Константинов А.Р., 1960 г.).

Сетевые методы измерения осадков дают заниженные величины. На степень занижения осадков значительное влияние оказывают скорость ветра и крупность капель. Возрастание скорости ветра над осадкомером обуславливающее снос части капель за пределы приемной поверхности, одна из основных причин занижения показаний прибора при увеличении крупности капель влияние эффекта выноса уменьшается .

Установлено, что дождемерные приборы, приемная часть которых расположена на одном уровне с окружающей поверхностью, при отсутствии забрызгивания или выбрызгивания дают наиболее верные значения измеренных осадков.

Приборы должны устанавливаться на высоте среднего уровня травостоя.

Поскольку основное искажающее влияние на величины измеренных осадков, оказывает ветер, то вертикальный профиль приемной части прибора должен быть максимально обтекаемым, обеспечивающим отклонение линий тока в противоположную сторону от приемной поверхности. Площадь приемной части должна составлять не менее 200 см².

Для организации в производственных условиях управления режимами орошения с применением биологических кривых требуется: теоретическая разработка норм и динамики испарения сельскохозяйственных посевов в различных почвенно-климатических условиях; организация сбора и обработки оперативной информации о метеоусловиях, влагозапасах почвы и состоянии посевов для корректировки сроков и норм полива, наличие средств автоматизации управления водораспределением.

Анализ научно-технических материалов показывает, что для применения моделей в практике сельскохозяйственного производства обязательно необходимо наличие соответствующей материально-технической базы. При низком техническом уровне оросительных систем, никакая самая совершенная модель при наличии самой объективной и точной информации не обеспечит эффективного управления использованием водных ресурсов.

Оросительная сеть и все сооружения на ней должны быть исправны, а трассы временных оросителей спланированы с соответствием с проектными уклонами. Поливные участки должны иметь обособленные водовыделы, оборудованные гидрометрическими устройствами. Необходимо наличие не менее 10 гидрометрических постов на 1000 га орошаемых земель. Учет воды, поступающей на поливной участок необходимо проводить не менее двух раз в сутки. Точность измерения не менее 5%. Каждый поливной участок должен быть укомплектован соответствующей проекту и снабженной водомерными устройствами поливной техникой.

При близком залегании УГВ, необходимо наличие сети скважин для контроля их уровня и минерализации” Сеть скважин должна размещаться вдоль уклона у грунтового потока, с расстоянием между створами не менее 5 км, расстояние между скважинами в створе не менее 2 км. Кроме основной сети скважин желательно закладки дополнительных наблюдательных скважин из расчета не менее 5 скважин на 1000 га.

На каждом поливном участке необходимо установить осадкомеры, из расчета один осадкомер на 500,0 га. По каждому поливному участку необ-

ходимы подробные данные о водно-физических свойствах его почвенного покрова (объемная масса, удельная масса, влажность почвы соответствующая наименьшей влагоемкости, коэффициент фильтрации).

Необходимо оснащение управлений оросительных систем техническими средствами для сбора, передачи и обработки информации и учета воды в точках водовыдела.

При достаточных ресурсах информационно-советующая система должна ориентировать производственный процесс на регулирование запаса влаги в почве в пределах оптимального диапазона, обеспечивающего максимальную в конкретных природных и агротехнических условиях отдачу от орошения, минимизацию потерь воды. При дефиците водных, энергетических, материально-технических ресурсов оптимальное управление орошением должно обеспечивать реализацию таких норм и сроков поливов, при которых достигается наиболее выгодное распределение фактически имеющихся ресурсов между конкурирующими полями в севообороте, ориентированное на получение максимального эффекта от вынужденного снижения оросительных норм.

На рисунках 4 – 9 представлены графики режима орошения овощных культур, полученных графоаналитическим расчетом, для разных по обеспеченности лет: 50% - средний год; 75%- среднесухой год; 95% - сухой год.

Для построения интегральных (накопительных) кривых использовались данные табл. 2.11, в которой приведено внутрисезонное распределение оросительной нормы в м³/га для м.ст. Ростов-на-Дону. Если на оси ординат отложить вычисленные поливные нормы, а через их вершины провести горизонтальные линии до пересечения с интегральной кривой накопления оросительной нормы и спроектировать эти точки на календарную ось, получатся средние даты проведения поливов, а число суток между смежными датами составят межполивной период.

Картофель поздний

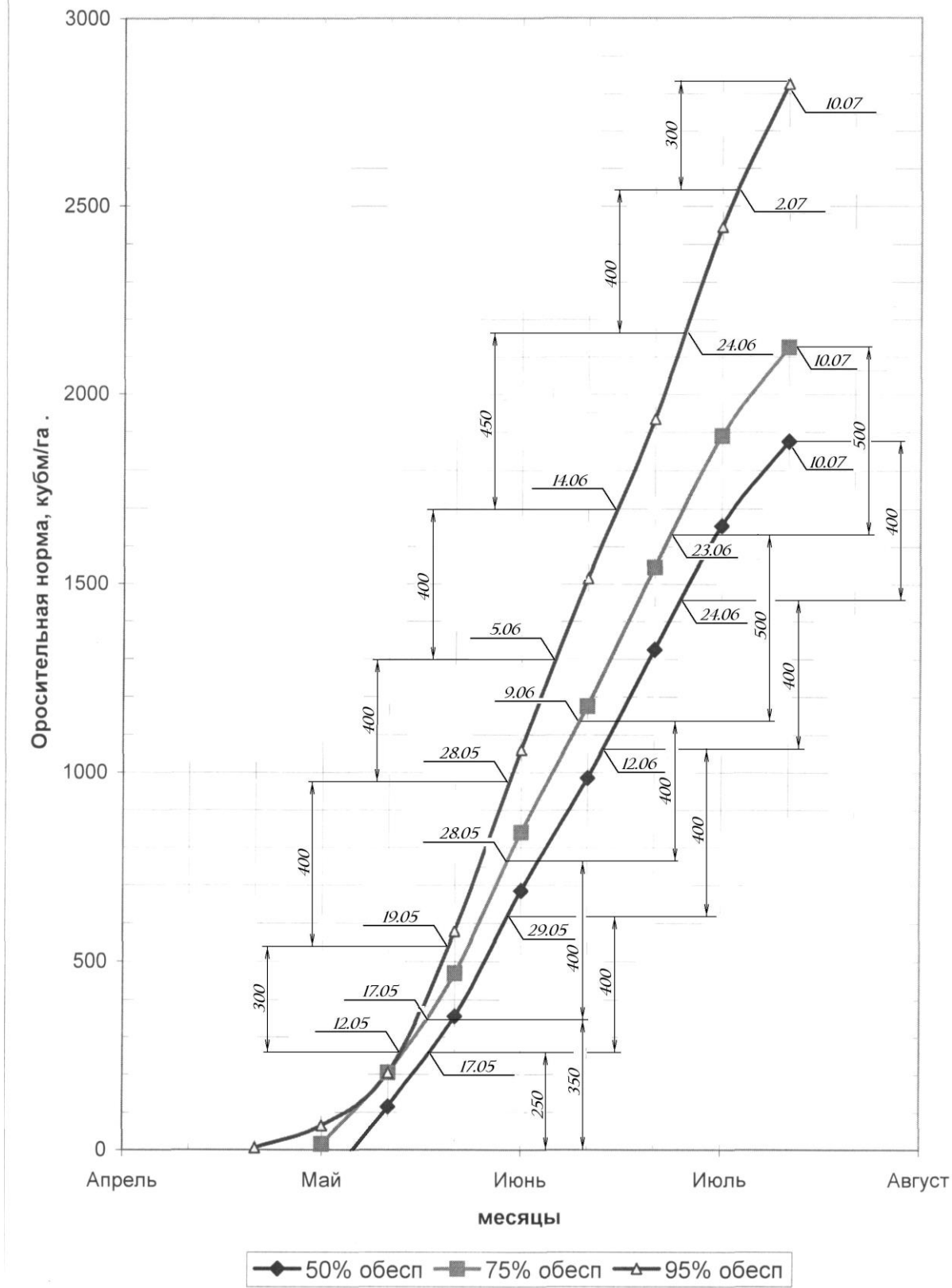


Рис. 4. Графоаналитический расчет режима орошения картофеля

Овощи - томаты

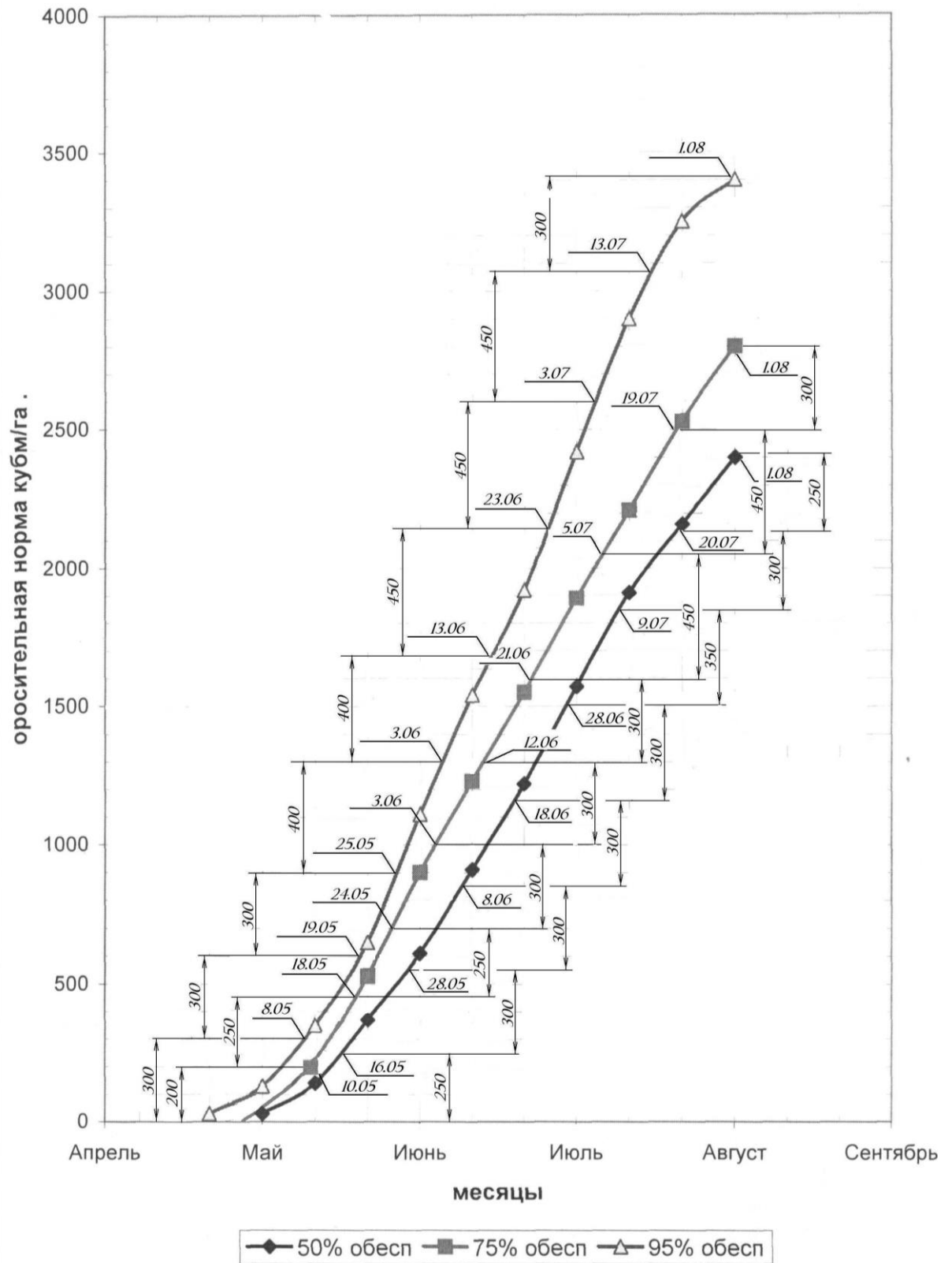


Рис. 5. Графоаналитический расчет режима орошения томатов

Капуста поздняя

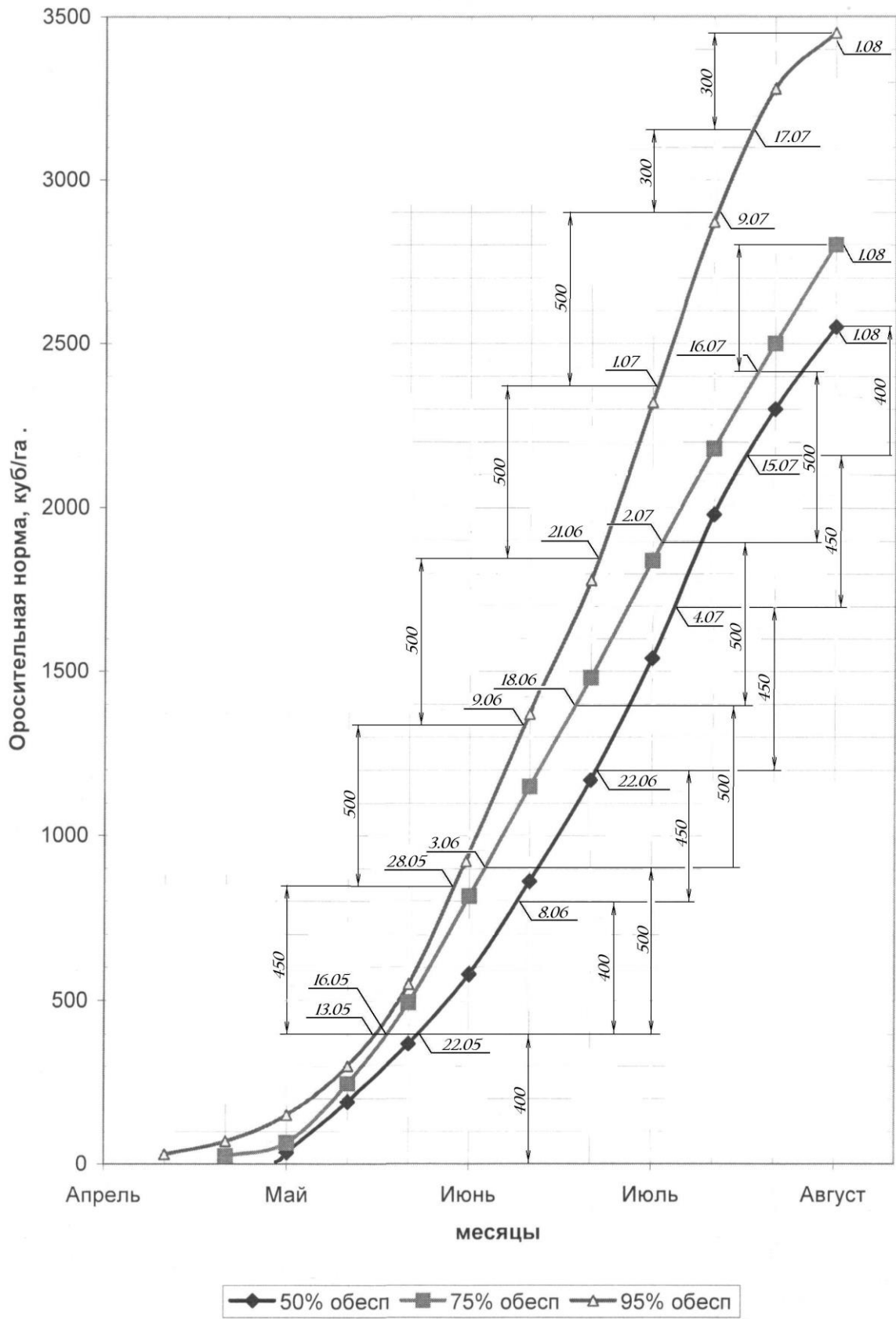


Рис. 6. Графоаналитический расчет режима орошения капусты

Овощи - лук, морковь

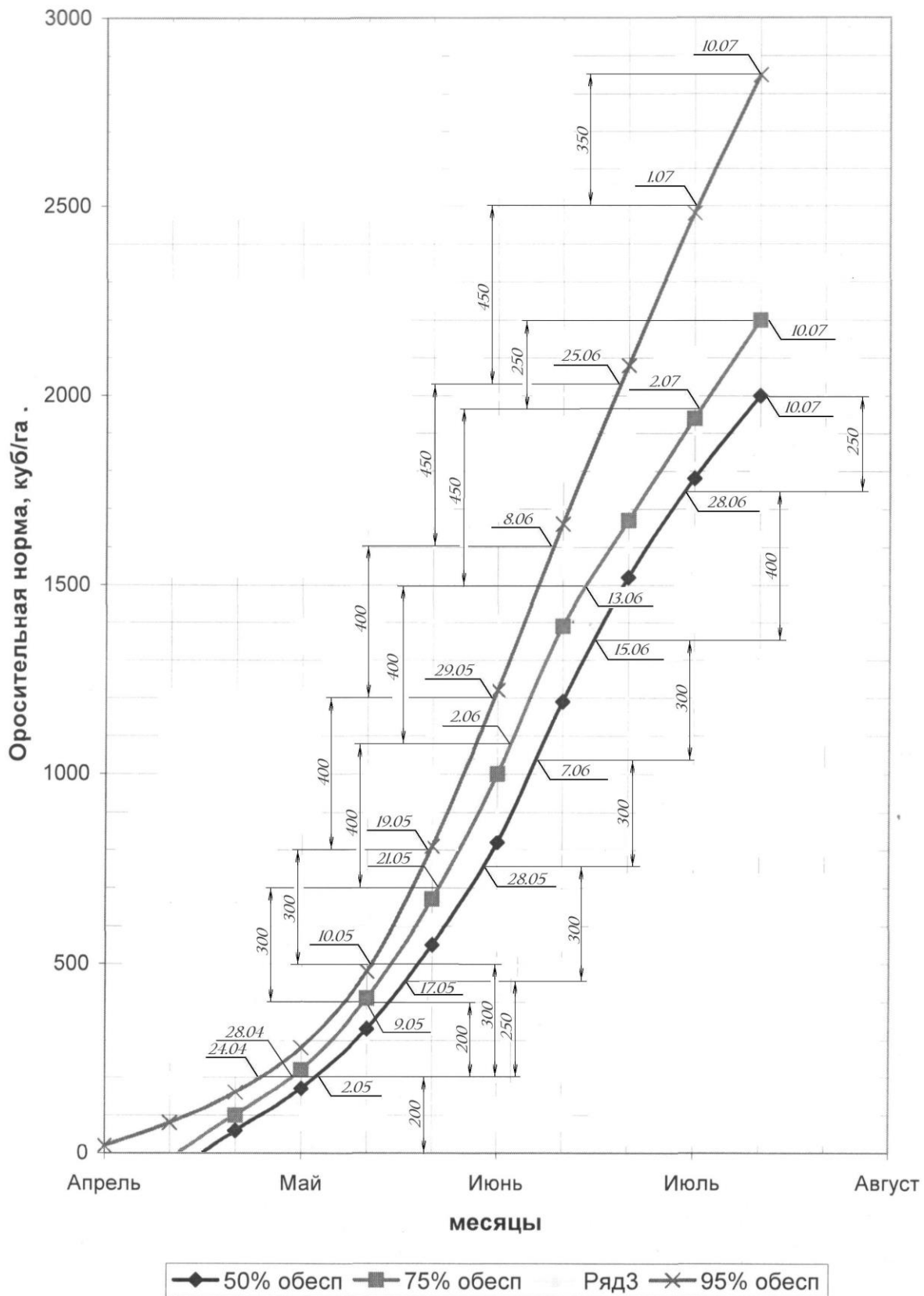


Рис. 7. Графоаналитический расчет режима орошения корнеплодов

Кукуруза на зерно

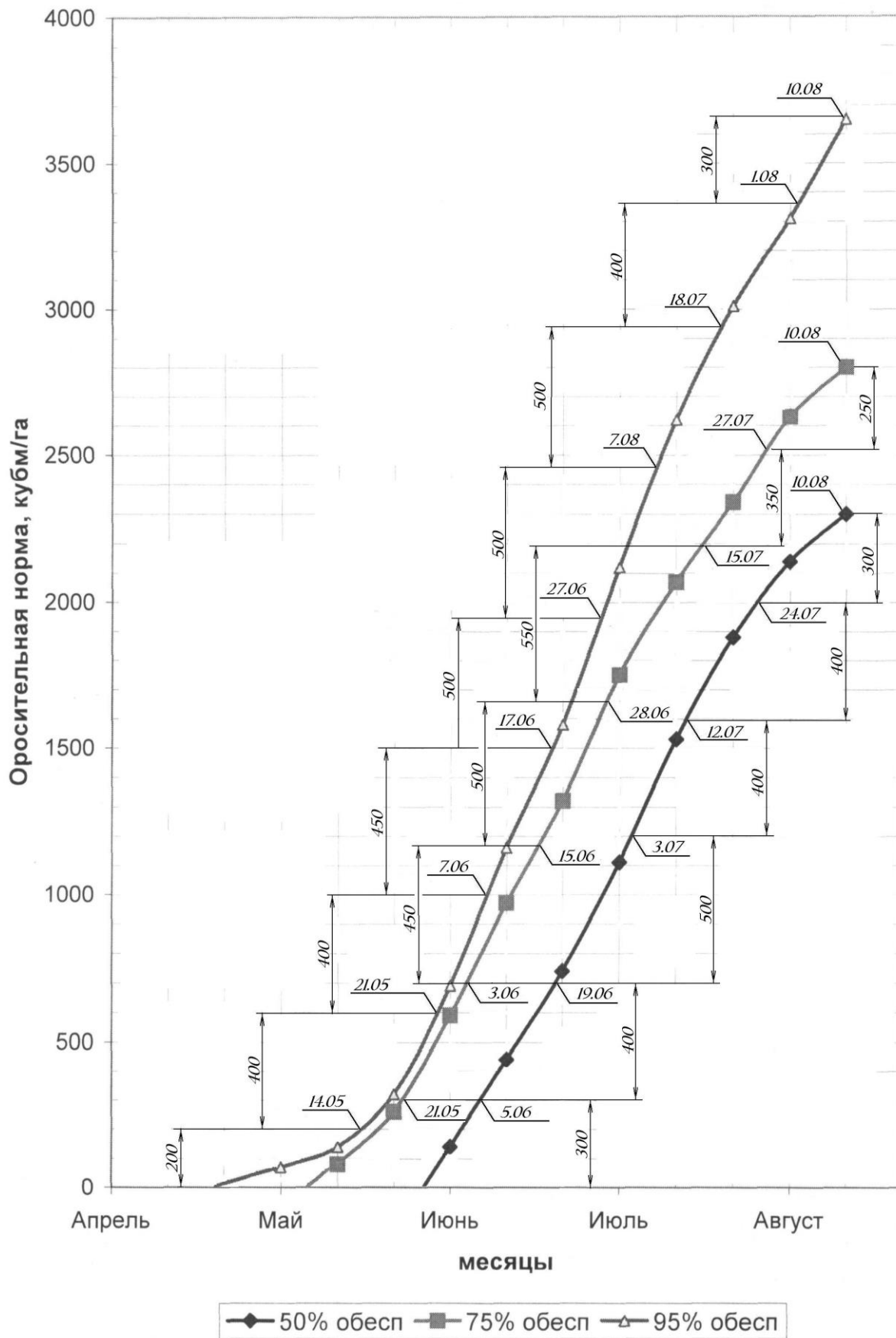


Рис. 8. Графоаналитический расчет режима орошения кукурузы

люцерна на сено

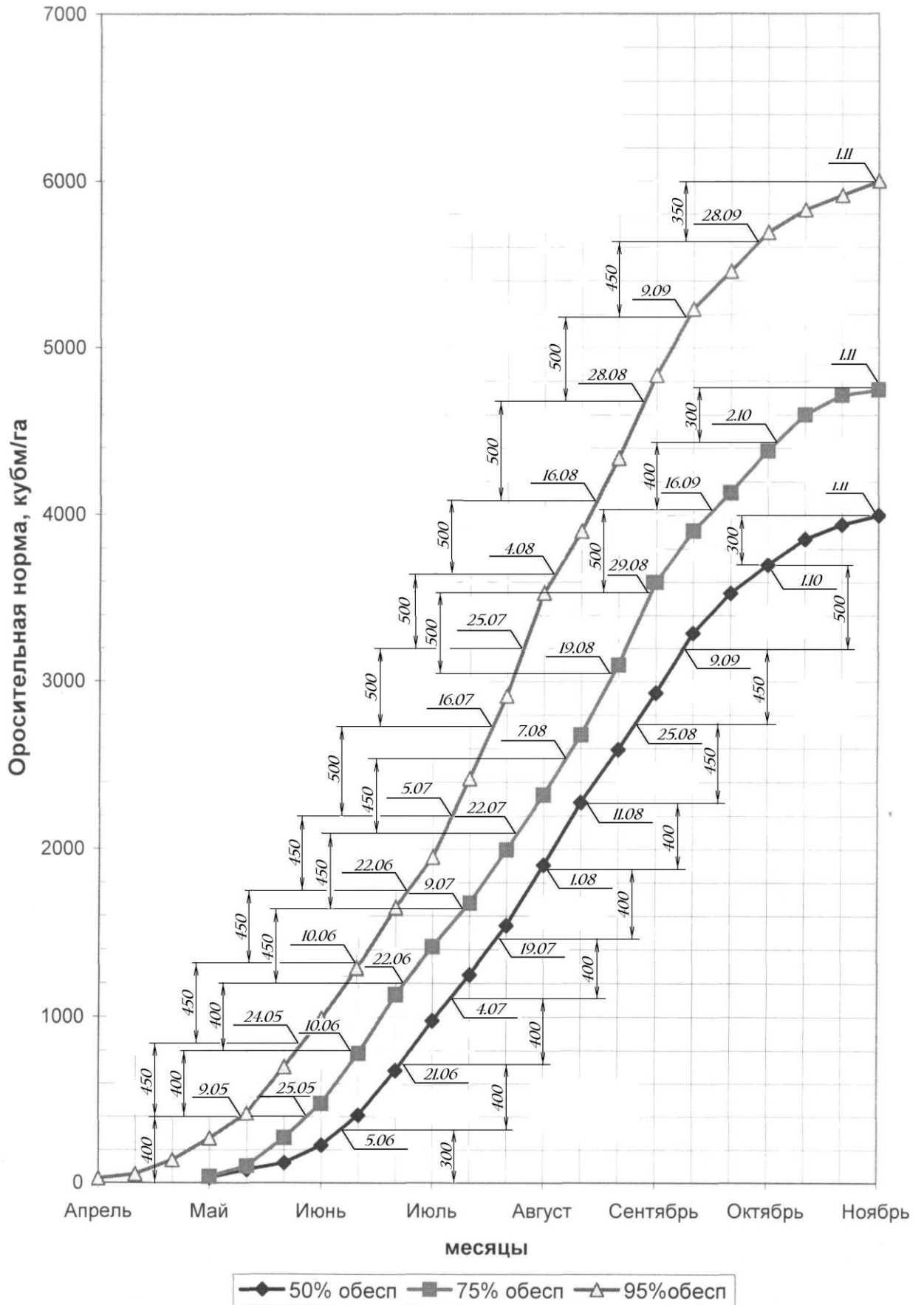


Рис. 9. Графоаналитический расчет режима орошения люцерны

3.2 Корректировка поливных норм с учетом статистического характера закономерностей изменения гидрометеорологических условий и влажности почвы

Анализ зарубежных и отечественных исследований позволяет установить, что нормирование орошения проводится с применением метода водного баланса, динамика элементов которого определяется большим количеством стохастических факторов. Такой элемент, как суммарное испарение значительно изменяется в процессе развития растений, и его величина в значительных пределах может менять соотношения между осадками и стоком. Недостаточная точность расчета суммарного испарения может свести к минимуму все преимущества управления поливами с применением ЭВМ.

Следовательно, одним из важнейших направлений в рамках научного обоснования режима орошения сельскохозяйственных культур является разработка методов определения суммарного испарения и других составляющих уравнений водного баланса, оценка изменчивости коэффициентов культур под влиянием различных вариаций метеорологических условий.

Практически все методы расчета суммарного испарения локальные. Правомерность их использования в климатических условиях или регионах, отличных от тех, для которых получены исходные расчетные зависимости, вызывает законное сомнение. Да и внутри региона применение рекомендованной методики не гарантирует достаточной точности, поскольку увлажненность конкретных лет может существенно отличаться от средней. Дифференциация расчетных поливных и оросительных норм по влагообеспеченности года не меняет существа дела, поскольку объективно судить о степени увлажнения конкретного года можно лишь в конце периода вегетации или при наличии надежного долгосрочного прогноза погоды. Поэтому необходима разработка универсальной методики нормирования орошения, достаточно корректно учитывающая влияние на суммарное испарение изменчивости гидрометеорологических условий и влажности почвы.

Для оценки условий тепловлагообеспеченности может быть использована комплексная характеристика, включающая показатели: испаряемость, величина осадков и дефицита естественного увлажнения, которые характеризуются наиболее тесной связью с суммарным испарением, величиной оросительных норм и урожайностью.

Максимальные коэффициенты корреляции отмечены у зависимостей урожайности от испаряемости (0,75) и суммарного испарения (0,86). Зависимость урожайности от оросительных норм более слабая (коэффициент корреляции - 0,53) (Таблица 3.5). Это объясняется тем, что оросительная норма изменяется по периодам вегетации с учетом различных гидрометеорологических условий, одинаковая урожайность в разные по теплообеспеченности годы может быть получена при различной величине оросительных норм. Поэтому для получения достоверных количественных характеристик связей "урожайность - оросительная норма" необходимо использовать относительные показатели.

Таблица 3.5 - Теснота связи суммарного испарения оросительных норм и урожайности с тепло-влагообеспеченностью

Показатели	Парные коэффициенты корреляции суммарного испарения, оросительных норм и урожайности с основными метеорологическими факторами							
	Ew	T	D	P	Ew-P	ET	M	Y
Испаряемость (Ew), мм	1	0,94	0,96	-0,84	0,85	0,96	0,72	0,75
Температура воздуха, (T), °C	0,34	1	0,82	-0,85	0,93	0,75	0,60	0,08
Дефицит влажности воздуха (D) , Мб	0,90	0,92	1	-0,76	0,91	0,88	0,75	0,25
Осадки (P), мм	-0,84	-0,85	-0,76	1	-0,95	0,18	0,69	0,70
Дефицит естественного увлажнения (Ew-p), мм	0,85	0,93	0,91	-0,95	1,0	0,85	0,98	0,62
Суммарное испарение (ET), мм	0,96	0,75	0,88	-0,80	0,95	1	0,80	0,85
Оросительная норма (M),мм	0,75	0,60	0,70	0,69	0,98	0,80	1	0,53
Урожайность (Y. т/га)	0,75	0,08	0,25	0,70	0,62	0,85	0,53	1
Стандартные отклонения (σ), мм	84,9	180,2	179	58,5	98,6	78,0	114	7,6
Коэффициенты вариации (V)	0,105	0,065	0,084	0,308	0,122	0,124	0,338	0,122

На основе экспериментальных данных получены биоклиматические коэффициенты (K_{ω}) для нескольких культур при оптимальном уровне влажности почвы и различных гидрометеорологических условиях (табл.3.9-3.11). Коэффициент вариации при этом колебался от 0,11 до 0,17 при изменении коэффициента вариации влагообеспеченности от 0,05 до 0,15, а теплообеспеченности - от 0,08 до 0,21 (Таблица 3.6).

Таблица 3.6 - Характеристики количественной изменчивости биоклиматических коэффициентов

Культура	Осредненные характеристики количественной изменчивости биоклиматических коэффициентов (K_d), среднесуточных температур воздуха (t) и влажности почвы (w) за вегетационный период								
	K_ω	σ (мм)	$V(\%)$	$\omega(\%)$	σ (мм)	$V(\%)$	$T(^{\circ}C)$	σ (мм)	$V(\%)$
Озимая пшеница	0,930	0,105	11,10	23,90	1,78	7,40	17,5	1,67	9,70
Яровой ячмень	0,930	0,106	11,1	23,96	1,17	4,9	20,0	2,35	11,34
Люцерна первого года	0,847	0,095	11,0	20,69	1,23	4,45	20,14	3,51	18,11
Люцерна второго года	0,949	0,171	17,0	23,20	1,19	15,13	19,15	3,95	20,85
Томаты	0,820	0,101	12,5	25,54	1,24	4,84	20,47	1,57	8,14
Картофель	0,840	0,137	15,2	24,5	1,06	4,31	17,2	2,10	12,20
Сорго-суданковый гибрид	0,800	0,124	15,80	21,5	1,06	4,50	21,451	2,77	12,6

Анализ показывает, что по теплообеспеченности расчетные периоды различались в большей степени, чем по влажности почвы, и это объясняет одну из причин изменчивости биоклиматических коэффициентов. Причем, снижение влажности почвы однозначно приводило к увеличению изменчивости биоклиматических коэффициентов при прочих равных условиях. Поэтому для повышения точности расчетов суммарного испарения необходимо установить количественные характеристики изменчивости биоклиматических коэффициентов в соответствии с изменениями условий тепловлагообеспеченности конкретных периодов развития сельскохозяйственных культур и величин отклонений гидрометеорологических условий конкретных лет от среднемноголетних показателей.

Различные коэффициенты корреляции и уровень изменчивости этих характеристик указывают на отсутствие прямопропорциональной зависимости между ними и позволяют сделать вывод о том, что наиболее точная количественная оценка влияния гидрометеорологических условий на рост и развитие растений, суммарное испарение посевов может быть получена с использованием нелинейных математических зависимостей.

Для ряда культур получены зависимости суммарного испарения от влажности почвы (Константинов А.Р., Харченко С.И., Ольгаренко Г.В.) с исключением влияния гидрометеорологических условий, имеющие общий вид:

$$\frac{ET}{E_w} = f\left(\frac{W_H + W_K}{2W_{HH}}\right) \quad (18)$$

где ET - суммарное испарение, мм; E_w - испаряемость, мм; W_H, W_K, W_{HH} - влагозапасы на начало, конец вегетационного периода и при влажности, соответствующей наименьшей влагоемкости.

Анализ полученных зависимостей показывает, что математическому выражению закона лимитирующего фактора для влагообеспеченности более всего соответствуют параболические зависимости второго порядка. Определены параметры уравнений, отражающие влияние влагообеспеченности и гидрометеорологических факторов на суммарное испарение в различные периоды вегетации люцерны, озимой пшеницы, ячменя, сои, сорго-суданского гибрида, томата, картофеля, лука, капусты. (Таблицы 3.10; 3.11; 3.12).

Таблица 3.10 - Суммарное испарение и урожайность сельскохозяйственных культур при различной влагообеспеченности

Культура	P	M	Y	ET	K _{ET}	K _M
Капуста (по данным Олейника А.М.)	-	320	56,8	592	10,40	5,63
	300	300	53,4	570	10,60	5,62
	-	280	46,18	551	11,93	6,06
	-	240	38,90	500	12,85	6,27
HCP ₀₅ = 3,3 т/га						
Озимая пшеница (по данным Олейника А.М.)	120	-	3,23	318	98,40	-
	-	78	3,79	386	101,80	20,50
	-	95	3,99	392	98,20	23,80
	-	116	4,14	433	104,50	28,01
	-	142	4,09	411	100,40	34,71
HCP ₀₅ = 0,21 т/га						
Картофель (по данным Кулыгина В.А.)	149	200	20,13	448	19,36	8,91
	-	161	22,06	410	18,58	8,66
	-	115	19,80	376	18,90	5,80
HCP ₀₅ = 1,2 т/га						
Сорго-суданковый гибрид (по данным Жорова Ю.А.)	131	167	47,9	298	6,22	3,49
	-	221	43,3	252	5,81	2,79
	-	0	24,80	171	6,89	-
HCP ₀₅ = 3,7 т/га						
Соя (по данным Балакай Г.Т.)	168	272	2,12	410	19,34	12,80
	-	230	1,95	354	18,15	11,79
	-	162	1,78	347	19,90	9,10
	-	0	1,05	192	18,30	-
HCP ₀₅ = 0,13 т/га						
Кукурузы (по данным Ильинской И.Н.)	174	314	6,90	53	77,1	45,6
	-	252	6,90	266	62,6	33,15
	-	210	7,60	440	62,80	30,00
	-	168	6,71	390	58,12	25,03
	-	126	6,15	360	58,50	20,50
HCP ₀₅ = 0,39 т/га						

Таблица 3.11 - Исходные данные для оценки гидрометеорологических условий формирования суммарного испарения и урожайности

Культура (число наблюдений)	Наименование показателей	Статистические данные			
		Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации	Ошибка среднего, %
1	2	3	4	5	6
Ячмень (n=50)	E ω	337	34,9	10,4	3,3
	P	129	39,4	35,0	10,1
	ET	338	17,55	5,2	1,7
	ΔW	67	19,2	28,6	9,2
	M	120	35,9	29,9	9,6
	Y	3,48	0,47	13,5	4,5
Люцерна 1 - го года (n = 50)	E ω	47,9	59,0	11,7	3,9
	P	80,0	40,4	50,5	15,6
	ET	242	29,5	12,2	3,9
	ΔW	10,7	16,6	194	58,7
	M	161	50,8	31,6	10,5
	Y	6,4	1,0	15,6	5,2
Люцерна 2 - го года (n = 50)	E ω	810	84,9	10,5	3,5
	P	190	58,5	30,8	10,2
	ET	628	78,0	12,4	4,3
	ΔW	54	30,8	57,0	19,1
	M	337	114	33,8	11,3
	Y	62,5	7,6	12,2	4,0
Капуста поздняя (n = 30)	E ω	679	84,8	12,5	4,2
	P	181	41,8	23,1	6,5
	ET	553	32,2	7,1	2,5
	ΔW	30	7,2	24,1	8,1
	M	286	32,4	11,3	3,5
	Y	48,8	7,9	16,2	4,2
Лук (n = 30)	P	201	70,4	35,2	11,80
	E ω	679	18,1	10,9	3,60
	ET	421	40,1	9,5	3,20
	ΔW	24	16,5	69,3	22,40
	M	198	55,6	28,0	9,30
	Y	17,8	1,7	9,6	3,20
Кукуруза на зерно (n=25)	E ω	500	55,0	10,7	3,4
	P	114	34,3	30,1	10,3
	ET	440	68,3	15,5	5,16
	ΔW	30	15,0	50,0	16,66
	M	214	73,0	34,1	11,14
	Y	6,9	0,5	7,2	2,4

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4	5	6
Озимая пшеница (n = 30)	Eω	400	41,4	10,9	3,3
	P	120	34,47	28,7	9,3
	ET	388	43,2	11,1	25,6
	ΔW	30	16,2	54,1	3,3
	M	86,0	53,80	62,5	19,5
	Y	3,8	0,38	10,0	3,3
Картофель (n = 27)	Eω	500	65,1	13,3	4,5
	P	14,9	43,9	29,5	9,5
	ET	411	36,0	8,8	2,9
	ΔW	30	10,0	30,1	9,7
	M	161	45,5	28,2	9,4
	Y	21,7	1,7	7,8	2,5
Сорго-суданковый гибрид (n = 18)	Eω	300	45,4	15,2	5,1
	P	131	37,4	28,5	9,5
	ET	240	64,3	26,7	8,6
	ΔW	40	18,0	45,1	14,5
	M	96	86,2	89,7	28,9
	Y	38,7	12,2	31,5	10,5

Таблица 3.12 - Зависимости урожая от влагообеспеченности

Культура	Вид зависимости	Корреляционное отношение и диапазон применяемости
Капуста	$Y_0 = 0,318 + 0,064M_0 + 0,622M_0^2$	$\eta = 0,914$ $0,6 < M_0 < 1,0$
Люцерна 2-го года	$Y_0 = 0,219 + 1,249M_0 - 0,468M_0^2$	$\eta = 0,934$ $0,6 < M_0 < 1,5$
Кукуруза на зерно	$Y_0 = 0,205 + 1,455M_0 - 0,614M_0^2$	$\eta = 0,930$ $0,6 < M_0 < 1,5$
Соя	$Y_0 = 0,693 + 0,322M_0 - 0,038M_0^2$	$\eta = 0,940$ $0,6 < M_0 < 1,3$
Озимая пшеница	$Y_0 = 1,210 - 1,360M_0 + 1,200M_0^2$	$\eta = 0,860$ $0,5 < M_0 < 1,0$
Сорго-суданковый гибрид	$Y_0 = 0,214 + 1,138M_0 - 0,352M_0^2$	$\eta = 0,970$ $0,4 < M_0 < 1,0$
Томаты	$Y_0 = -0,212 + 2,080M_0 - 0,875M_0^2$	$\eta = 0,850$ $0,7 < M_0 < 1,0$
Лук	$Y_0 = 0,539 + 1,081M_0 + 0,408M_0^2$	$\eta = 0,970$ $0,6 < M_0 < 1,0$
Картофель	$Y_0 = 0,046 + 1,99M_0 + 1,066M_0^2$	$\eta = 0,830$ $0,6 < M_0 < 1,0$
Люцерна 1-го года	$Y_0 = 0,253 + 1,180M_0 - 0,43M_0^2$	$\eta = 0,913$ $0,6 < M_0 < 1,2$
Ячмень	$Y_0 = 0,025 + 1,894M_0 - 0,712M_0^2$	$\eta = 0,956$ $0,6 < M_0 < 1,5$

Таблица 3.13 - Параметры зависимостей суммарного испарения от влагообеспеченности

Культура фаза	Параметры уравнения			Дисперсия	Диапазон применяемости
	α_0	α_1	α_2		
<i>Люцерна 2-го года</i>					
1 Отрастание	0,190	0,585	-0,037	0,00049	
2 Бутонизация	0,038	2,30	-2,170	0,00060	0,6<X<1,2
3 Начало цветения	0,186	1,740	-0,630	0,00150	
1 Всходы	0,400	-0,200	0,200	0,00010	
2 Кущение	86,200	-200,600	117,200	0,00127	
3 Выход в трубку	0,100	0,200	0,800	0,00137	0,6<X<1,1
4 Колошение	-10,700	25,900	-14,400	0,00810	
5 Молочная спелость	-2,100	3,800	-1,700	0,0100	
6 Восковая	-2,000	6,000	-3,400	0,0023	
<i>Озимая пшеница</i>					
1 Кущение	1,800	-3,500	2,300	0,000206	
2 Выход в трубку	1,900	5,400	-2,600	0,000390	
3 Колошение	-0,300	2,800	-0,200	0,0350	
0,6<X<1,1	-1,100	4,000	-1,900	0,00250	
5 Молочная спелость	0,500	-0,900	1,300	0,00106	
6 Восковая спелость	3,000	-8,200	6,200	0,00035	
<i>Кукуруза на зерно</i>					
1 Всходы	-7,700	-16,300	-8,000	0,011	
2 8-10 листьев	-3,000	8,500	-4,700	0,00018	
3 Выброс метелки	6,300	15,000	-7,700	0,0078	
4 Молочная спелость	-0,800	3,000	-1,100	0,00010	
5 Полная спелость	-2,400	6,800	3,500	0,0010	
<i>Сорго-суданковый гибрид</i>					
1 Посев	-1,000	3,700	-2,200	0,00005	
2 Выброс метелки	-4,000	11,400	-6,900	0,00029	0,5<X<0,9
3 Начало цветения начало налива зерна	-1,900	5,700	-3,100	0,00066	
<i>Соя</i>					
1 Посев-всходы	0,054	-0,59	1,27	0,00001	
2 Всходы-начало цветения	2,70	-6,20	4,40	0,00220	
3 Начало цветения начало налива зерна	1,76	2,24	0,702	0,0030	
4 Начало налива -созревание	-2,3	5,6	-2,5	0,00269	

Установление закономерностей влияния влагообеспеченности на суммарное испарение не устраняет еще одну причину изменчивости биоклиматических коэффициентов суммарного испарения, которая связана с тем, что биоклиматические коэффициенты получают на основе усреднения данных за период исследований, включающий несколько лет.

Константинов А.Р., Химин Н.М. предлагают учитывать отличие конкретного вегетационного периода от среднего, применяя прямо пропорциональные зависимости типа:

$$\frac{ET_{\phi}}{ET_{cp}} = \frac{E_w}{E_{wcp}} \quad (19)$$

где ET_{ϕ} , ET_{cp} - фактические и средние статические величины суммарного испарения, мм; E_w , E_{wcp} - фактические и среднестатистические величины испаряемости, мм.

Однако в природе прямолинейные связи скорее исключение, чем правило, что подтверждают экологические законы толерантности и лимитирующего фактора, указывающие на приоритетность нелинейных зависимостей. Поэтому, чтобы получить количественные характеристики изменчивости испарения в зависимости от гидрометеорологических условий, были проанализированы данные по метеостанциям Ростовской области за 30-летний период, математическая обработка которых позволила подучить уравнения (Рисунок 9), в общем виде отражающие взаимосвязь указанных характеристик:

$$\Delta ET = f(\Delta PW; \Delta r; \Delta t \cdot \Delta E_w) \quad (20)$$

где: $\Delta ET, \Delta T; \Delta r; \Delta E_w$ представляют разность между фактическими значениями и среднестатистическими показателями: ET - суммарное испарение, мм; r - относительная влажность воздуха, %; P - осадки, мм; E_w - испаряемость, мм;

t - среднесуточная температура воздуха, °С, ΔPW – дефицит естественного увлажнения.

Установлено, что прямолинейная зависимость менее значима, чем криволинейная, а максимально тесные связи отмечаются у параболических зависимостей, причем необходимо учитывать знак отклонения.

Максимальные корреляционные отношения составляющие 0,64...0,89, получены при учете знака отклонения от среднесуточных показателей.

Очевидно, что использование относительных величин позволит повысить точность аналитических зависимостей.

Таким образом, расчет суммарного испарения сельскохозяйственных культур для конкретных почвенно-климатических условий требует уточнения биоклиматических коэффициентов, используемых методах, получения статистических закономерностей изменчивости эмпирических параметров в

связи с изменчивостью агрометеорологических условий и влагообеспеченности посевов с учетом биологических особенностей культур.

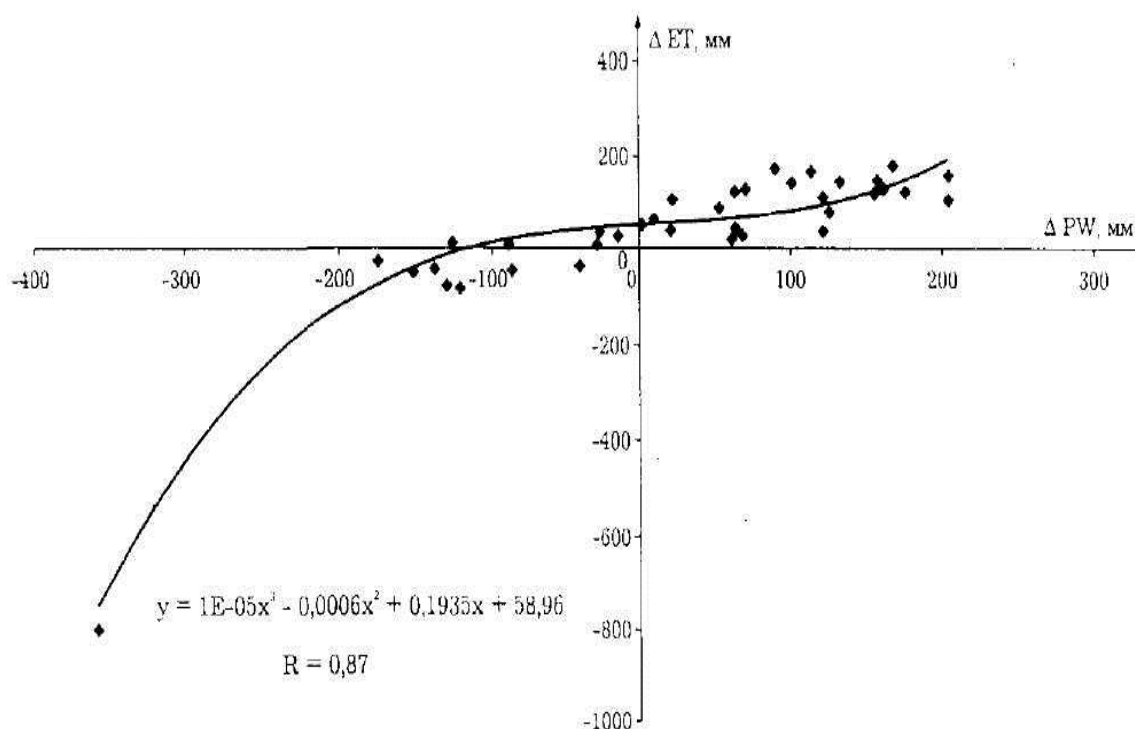


Рис. 9. График связи отклонений суммарного испарения ΔET от среднееголетних значений с отклонениями дефицита увлажнения ΔPW от среднееголетних значений

Расчет суммарного испарения и поливных норм для конкретных этапов вегетационного периода необходимо осуществлять с учетом величин изменчивости гидрометеорологических факторов в следующей последовательности.

1. Сбор исходной информации, которая включает данные о влагозапасах почвы (W_{ϕ}) на начало периода, величин температуры (t_{ϕ}) и относительной влажности воздуха (r_{ϕ}) продолжительности расчетного периода.

2. Расчет величины испаряемости по данным гидрометеорологических станций по формуле:

$$E_w = 0,0006 (t = 25)^2 (1 - 0,01r).$$

3. Расчет дефицита увлажнения по формуле:

$$PW = E_w - P. ;$$

4. Определение величины отклонений фактического дефицита увлажнения от среднееголетних характеристик для данных гидрометеорологических условий по формуле:

$$\Delta PW = PW - \overline{PW} \text{ ср}$$

5. Установление количественных значений отклонений величин суммарного испарения от среднегодовых для расчетного периода по формуле:

$$\Delta ET = 1 \cdot 10^{-5} (\Delta PW)^3 - 0,0006 (\Delta PW)^2 + 0,194 (\Delta PW) + 58,96$$

6. Расчет конечных влагозапасов для фактических почвенно-климатических условий по формуле:

$$W_k = W_H - (\overline{ET} \pm \Delta ET) + P$$

7. Расчет дефицита водного баланса конкретного периода вегетации и величины поливной нормы $m = W_{н.в.} - W_k$.

Предложенная методика позволяет учитывать изменчивость условий внешней среды и обеспечивает наиболее точное отражение динамики суммарного испарения, а, следовательно, расчет режима орошения, что в итоге позволяет сократить удельные ресурсо-, энергоёмкость и повысить экологическую безопасность технологий орошения.

Данный алгоритм может быть принят, как предварительный. Разработка универсального метода расчета суммарного испарения требует дальнейшего уточнения, биологических коэффициентов суммарного испарения и получения закономерностей их изменчивости в зависимости от изменчивости агрометеорологических условий и влажности почвы с применением методов статистического анализа.

В целях дальнейшего совершенствования методики расчетов требуется получение достоверного эмпирического материала на основе проведения комплексных воднобалансовых и агрометеорологических исследований системы: почва-растение-атмосфера. Необходима количественная оценка влияния изменчивости гидрометеорологических факторов на интенсивность влагообмена в зоне аэрации, влияния влажности почвы на суммарное испарение и урожайность посевов сельскохозяйственных культур и параметры моделей.

При достаточных ресурсах информационно-советующая система должна ориентировать производственный процесс на регулирование запаса влаги в почве в пределах оптимального диапазона, обеспечивающего максимальную в конкретных природных и агротехнических условиях отдачу от орошения, минимизацию потерь воды.

При дефиците водных, энергетических, материально-технических ресурсов оптимальное управление орошением должно обеспечивать реализацию таких норм и сроков поливов, при которых достигается наиболее выгодное распределение фактически имеющихся ресурсов между конкурирующими полями в севообороте, ориентированное на получение максимального эффекта от вынужденного снижения оросительных норм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рационализация водопотребления в сельском хозяйстве представляет собой одну из важнейших проблем, так как применение необоснованно завышенных оросительных норм приводит к нарушению водного режима и гидрохимического равновесия, дополнительному питанию грунтовых вод, вымыванию из почвы минеральных и органических соединений и ухудшению экологической обстановки. Для обеспечения рационального потребления оросительной воды, при проведении поливов, требуется точное определение степени влагообеспеченности конкретного поля. Это позволяет своевременно назначать очередной полив, контролировать влагозапасы, расходование воды на образование урожая и не допускать непродуктивных потерь ее на поверхностные и глубинные сбросы.

2. Управление режимом поливов сводится к определению почвенных влагозапасов орошаемого участка на начало и конец расчетного периода. Динамику влагозапасов определяют по уравнению водного баланса с расчетом суммарного испарения на основе математических моделей.

Главные требования предъявляемые к моделям, это то, что они должны достаточно точно отражать изменение режима влажности посевов, в качестве параметров должны выступать величины, подчиняющиеся статистическим законам, которые можно получить в массовых наблюдения воднобалансовых и агрометеорологических станций и простота их реализации.

3. Таким образом, проведенный анализ дает возможность сформулировать концепцию, утверждающую, что только разработка методов расчета, использующих комплексную информацию о метеорологических, почвенных, гидрогеологических условиях, биологических особенностях сельскохозяйственных культур, влажности почвы в сочетании с применением закономерностей статистического анализа для оценки характера изменчивости гидрометеорологических факторов, может служить практической основой для рациональной организации управления поливами, обеспечивающей высокую эффективность и экологическую безопасность технологий орошения.

4. Рассчитанные оросительные нормы основных сельскохозяйственных культур для территории Ростовской области в разные по влажности (обеспеченности) годы являются в определённой мере среднестатистическими. Тем не менее, уровень их обоснованности применительно к почвенно-

климатическим условиям Ростовской области позволяет с достаточной для практики точностью использовать эти режимы, как на стадии проектирования, так и при эксплуатации оросительных систем, в том числе и для оценки результатов планового водопользования в орошаемом земледелии.

5. Технологическая поливная норма при орошении дождеванием зависит преимущественно от предполивной влажности и впитывающей способности почвы, состояния агрофона и энергетических параметров дождя, поэтому для условий конкретного объекта, характеризующегося индивидуальными особенностями почвы, рельефа, гидрологии, техники полива режимы орошения должны корректироваться.

6. Предложена методика определения суммарного испарения и нормирования режима орошения сельскохозяйственных культур, учитывающая изменчивость гидрометеорологических факторов, закономерности отклонения величины суммарного испарения конкретных вегетационных периодов от среднесуточных показателей и нелинейный характер этих зависимостей.

Данный алгоритм может быть принят, как базовый, требующий дальнейшего уточнения.

В целях совершенствования методики расчетов необходимо проведение комплексных воднобалансовых и агрометеорологических исследований системы: "почва-растение-атмосфера". Сформированная база данных должна быть использована для математического анализа и получения статистических закономерностей влияния изменчивости гидрометеорологических факторов и влажности почвы на интенсивность влагообмена в зоне аэрации, суммарное испарение, урожайность посевов сельскохозяйственных культур и параметры моделей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шумаков Б.Б. Научные основы ресурсосбережения и охраны природы в мелиорации и в одном хозяйстве. – М.: ВНИИГиМ, 1998. – 312 с.
2. Айдаров И.П. Комплексное обустройство земель. - М.: МГУП, 2007. - 208 с.
3. Орошение: Справочник под. ред. Шумакова Б.Б. – М.: Колос, 1999. - 432 с.
4. Ольгаренко В.И., Колганов А.В., Ольгаренко Г.В. Эксплуатационные режимы орошения агроценозов. Нижне-Донской провинции степной зоны. – НГМА, Мелиоводинформ, 2001. -149 с.
5. Ольгаренко Г.В. Нормирование орошения люцерны с учетом вероятностного характера гидрометеорологической и водно-балансовой информации. – Новочеркасск, НГМА, 1996. -136 с.
6. Галямин Е.П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 272 с.
7. Галямин Е.П., Соколов А.Л. Использование расчетных методов для оценки режимов орошения сельскохозяйственных культур в условиях дефицита водных ресурсов // Вопросы совершенствования мелиоративных систем. - 1985.- С. 33-42.
8. Система программированного выращивания урожая: Рекл. проспект. - Калинин: ГНВЦ ВРО ВАСХНИЛ, 1987. - 4с.
9. Сорочан К.И., Кан Н.А. Оперативное управление орошением по метеорологическим параметрам с помощью персональных ЭВМ // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. - 1987. - С. 85-92.
10. Саноян М.Г, Агrometeorологические основы управления влагообеспеченностью посевов. - Ереван, Айстан, 1981. - С. 371.
11. Шабанов В.В. Влагообеспеченность яровой пшеницы и ее расчет. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 141 с.
12. Оптимальное управление поливами при эксплуатации оросительных систем. - М.: ВО Агропромиздат, 1990. - 32 с.
13. Константинов А.Р., Химии Н.М. Унифицированная методика, расчета норм водопотребности применительно к автоматизированной системе нормирования водопользования в орошаемом земледелии. - ЛГМИ, 1987.

14. Черемисинов А.Ю. Управление водными режимами экологически сбалансированной агросистемы на орошаемых черноземах: Авт. диссертации на соискание ученой степени д.с.-х.н. - Волгоград, 1993. - 35 с.
15. Левенко А.А. К вопросу расчета испарения, испаряемости и влагозапасов почвы по метеоданным // Вопросы агроклиматологии: Сб. тр. УкрНИИГиМ. - М: Г., вып. 105. - С. 51-59.
16. Лобжанидзе З.С. К вопросу расчета водопотребления сельскохозяйственных культур в зависимости от влажности почвы // Вопросы гидромелиорации в Грузии. - Тбилиси, 1977. - Вып. 4. - С. 53-58.
17. N. Kloche. at.al/ Evapotranspiration and Crop Water Use – Neb.Gurde. G90-992-A-2003.
18. Мелиорация и водное хозяйство за рубежом / Экспресс-информация. - М.: ЦБНТИ, Минводхоз СССР, 1988.
19. Department of Natural Resources. Improving Queensland's Rural Water Use/ Efficiency the Facts, Queensland Department of Natural Resources, Brisbane. [http // w.w.w. qld ar// water/ rwue](http://w.w.w.qld.gov.au/water/rwue). 2001.
20. I. Broner Irrigation scheduling. The Water Balance Approach № 4. 707, University of Colorado, //93, [w.w.w. colostate.edu /Depts/ coopExt-2004](http://w.w.w.colostate.edu/Depts/coopExt-2004).
21. Irrigation Scheduling. Irrigation Scheduling using Evaporation Data and Crop Factors. 2004- 03-1001/
22. Evapotranspiration (TN) Crop Water Use // Neb. Guide, University of Nebraska - Lincoln. 2003/
23. Константинов А.Р., Струнников Э.А. Нормирование орошения: методы, их оценка, пути уточнения // Гидротехника и мелиорация. - 1986. - № 1,2.
24. Пенман Х.Л. Растение и влага / Пер. с англ. - Л.: Гидрометеиздат, 1968.
25. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. - М.: Наука, 1964.
26. Зубенок Л.И. Испарение на континентах. - Л.: Г., 1976.
27. Кузник И.А., Чумакова Л.Н., Васильев А.С. Анализ и корректировка формул для расчета суммарного испарения основных орошаемых культур в Заволжье Н. / Тр. Саратовский СХИ, 1978. - Вып. 120.
28. Циприс Д.Б., Евтушенко Э.Г. Расчет водопотребления по метеопараметрам // Гидротехника и мелиорация. - 1980. - № 9.

29. Выхованко С. В. Причины изменчивости биологических коэффициентов // Гидротехника и мелиорация. – 1980. - № 7. - С. 43.
30. Кочетков А.П. Расчет режима, орошения в Западной Сибири с помощью биологических коэффициентов // Гидротехника и мелиорация. - 1980.- № 2.- С. 34.
31. Угрехелидзе Ш. Водопотребление сельскохозяйственных культур в горных условиях // Гидротехника и мелиорация. - 1980. - №10.- С. 67.
32. Струнников Э.А. Об изменчивости биологических коэффициентов при расчете водопотребления сельскохозяйственных культур // Гидротехника и мелиорация – 1977. - №12. - С. 52.
33. Остапчик В.П. Информационно-советующая система управления орошением. - К.: Урожай, 1989. - 248 с.
34. Местечкин В. Б. Пространственная интерполяция биологических коэффициентов водопотребления // Гидротехника и мелиорация. - 1978. - № 2. - С. 43.
35. Голченко М.Г., Вихров В.И. Расчет суточного водопотребления многолетних трав // Гидротехника и мелиорация. - 1985. - №7.- С. 37.
36. Яковлев С.А. О дифференцировке переходных коэффициентов для расчетов водопотребления // Водное хозяйство. - Киев: Урожай, 1980. - Вып. 1. - С. 18-21.
37. Талалаевский Г.В. Водно -тепlobалансовый метод определения водопотребления и режим орошения сельскохозяйственных культур, н.тр. / ВО Союзводпроект. Вопросы проектирования технически совершенных мелиоративных систем. - Москва, 1977. - №47. - С. 16-23.
38. Михильцевич А.И., Жуков А.Е. Испарение с посевов трав на минеральных почвах // Управление водным режимом мелиорированных земель / БелНИИМиВХ. - Минск, 1987.- С. 63-68.
39. Горбачева Р.И., Кабаков М.М. Изменение биоклиматических коэффициентов по климатическим зонам / Метеорология и Гидрология. - 1976. - №12. - С. 92-101.
40. Компьютерная программа «Расчет параметров режимов орошения сельскохозяйственных культур» (ROCK.xls). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ за № 2004610996 от 22 апреля 2004 г.

41. Данильченко Н.В., Аванесян И.М., Никольская А.А. и др. Влияние природной тепло-, влагообеспеченности на параметры орошения и урожайность сельскохозяйственных культур в ЦЧО. - М., 2004.
42. Отчет ВНИИ "Радуга" по теме 1.14 «Проведение исследований по оценке параметров орошения для обеспечения экологической безопасности и повышения плодородия почв при поливе». - Коломна, 2004.
43. Оросительные нормы (нетто) и их внутрисезонное распределение для основных сельскохозяйственных культур по Федеральным округам Российской Федерации. - Коломна, ФГНУ ВНИИ "Радуга", 2007.
44. Капустина Т. А., Аванесян И.М, Нормирование орошения по природно-климатическим зонам как основа рационального водопользования // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. - №3 – С.18.
45. Хан Г."Дж", Шапиро С.С. Статистические модели в инженерных задачах. – М., Мир, 1969. – 270с.
46. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука, 1971.- 310с.
47. Физико-географическое районирование СССР / Под ред. Гвоздецкого Н.А.- М.: Изд. МГУ; 1968.- 427 с.
48. Жуков В.А., Святкина О.А. К вопросу адаптации с-х центра Европейской России к возможным изменениям климата // Метрология и гидрология. – 2002. - №4. - С.85-92.
49. Строменко О.Д. Павлова Н.Д. Оценка влияния изменения климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов // Метрология и гидрология. – 2003. - №8. - С.89-99.
50. Водопотребление и режимы орошения сельскохозяйственных культур. Справочник "Мелиорация и водное хозяйство", Том.: Орошение. - М., Колос, 1999.
51. Научно-методическое обоснование нормирования водопотребления, планирование орошения, регулирование уровня плодородия почв на основе информационной технологии для предотвращения экологического дисбаланса. Рекомендации. М.; "Росинформагротех", 2006.