

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Департамент мелиорации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

УДК 631.6

Г. Т. Балакай, Н. И. Балакай, А. Н. Бабичев, С. Г. Балакай,
В. А. Монастырский, В. И. Ольгаренко

**МЕЛИОРАТИВНЫЕ КОМПЕНСАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ,
СНИЖАЮЩИЕ ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК ТАЛЫХ, ДОЖДЕВЫХ
И ИРРИГАЦИОННЫХ ВОД С ЗЕМЕЛЬ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Научный обзор

Новочеркасск 2014

Содержание

Введение	4
1 Проблема затопления и подтопления сельскохозяйственных угодий и возникновения чрезвычайных ситуаций	6
2 Закономерности формирования поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод с земель сельскохозяйственного назначения	6
2.1 Особенности формирования поверхностного стока дождевых вод	6
2.2 Особенности формирования поверхностного стока при снеготаянии	14
2.3 Анализ методов составления прогноза поверхностного стока талых вод	24
2.4 Прогнозирование поверхностного стока при снеготаянии	29
2.5 Особенности формирования поверхностного стока ирригационных вод	31
2.6 Основные факторы, вызывающие наводнения	41
2.7 Влияние факторов на подтопление земель	42
3 Мероприятия по предупреждению поверхностного стока при снеготаянии и дождях	45
3.1 Противозерозионная организация территории	45
3.2 Агротехнические приемы	49
3.3 Агролесомелиоративные насаждения	50
3.4 Лугомелиоративные приемы	51
3.5 Гидротехнические сооружения.....	54
4 Мероприятия по предупреждению поверхностного стока ирригационных вод	57
4.1 Предотвращение смыва почв при поливе по бороздам.....	58
4.2 Предупреждение формирования стока при орошении дождеванием.....	62

5 Противопаводковые мероприятия.....	64
5.1 Регулирование русла рек.....	64
5.2 Работы по разрушению льда.....	65
5.3 Очистка водоемов.....	65
5.4 Удаление донного сора бытового и промышленного значения.....	66
5.5 Покос камыша и водорослей.....	67
5.6 Берегоукрепительные работы.....	67
Заключение.....	69
Список использованной литературы.....	70

Введение

Решение проблемы защиты населения, объектов народного хозяйства и компонентов окружающей природной среды от чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, уменьшение их социально-экономических и экологических последствий является важнейшей задачей современности, без решения которой невозможно устойчивое развитие страны и успешное выполнение национальных проектов.

В последние годы на Юге России отмечается рост наводнений с катастрофическими последствиями для населения и объектов экономики. Среднегодовое количество ущерба от наводнений оценивается в 41,6 млрд руб. в год (в ценах 2001 года), в том числе в бассейнах рек: Волга – 9,4; Терек – 3,0; Дон – 2,6; Кубань – 2,1 млрд руб. [1]. Подтверждением вышесказанного служит наводнение в Крымске [2].

Заблаговременно принять меры по уменьшению возможного ущерба и наиболее эффективному использованию водных ресурсов призваны помочь компенсационные мелиоративные мероприятия, направленные на снижение поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод с земель сельскохозяйственного назначения, способствующих снижению затрат на противопаводковые мероприятия и вероятности подтопления и затопления территорий.

Отсутствие надежного прогноза поверхностного стока талых вод нередко приводит к катастрофическим последствиям: либо гидротехнические сооружения не справляются с пропуском паводковых вод, либо зимой сбрасывают большой объем воды из водохранилищ, подготавливая их к весеннему паводку, которого потом не хватает для многих отраслей народного хозяйства страны (энергетики, водного, сельского, рыбного, коммунального и др.).

Почва, смываемая с полей, откладывается в прудах, озерах, водохранилищах, попадает в каналы и реки. Расчистка водоемов требует больших средств. При стоке воды и смыве почвы с пашни отчуждается определен-

ная доля вносимых удобрений, которая не просто теряется, но и оказывает негативное влияние на экологическое состояние территории.

Для стабильности и повышения эффективности земледелия требуется ориентироваться на ресурсосберегающие и эффективные методы ведения сельского хозяйства. На эрозионно-опасных землях необходимо повысить почвозащитную направленность земледелия за счет дифференцированного применения системы компенсационных мероприятий, сохранения и воспроизводства почвенного плодородия, рационального использования земли и создания условий для устойчивого сельскохозяйственного производства.

1 Проблема затопления и подтопления сельскохозяйственных угодий и возникновения чрезвычайных ситуаций

В России площадь паводкоопасных территорий составляет около 400 тыс. км², где расположены около 300 городов, десятки тысяч населенных пунктов, хозяйственные объекты, более 7 млн га сельскохозяйственных угодий. Ежегодно затоплению и подтоплению подвергается территория площадью более 50 тыс. км².

Годовой ход поверхностного стока равнинных рек характеризуется обычно высоким весенним половодьем, на долю которого приходится до 70 % годового стока. Резкие повышения уровней воды на реках, отмечающиеся в период половодья и паводков, вызывают наводнения, при которых затапливаются как населенные пункты, так и территории сельскохозяйственного назначения, разрушаются постройки, гибнет скот, случаются и человеческие жертвы [1, 2].

Основные причины возникновения и повышения риска возникновения чрезвычайных ситуаций заключаются в изменении климата и проявлении аномальных погодных явлений (активное снеготаяние, ливневые осадки), интенсивном освоении и застройке водосборных и затапливаемых территорий, недостаточной обеспеченности объектов экономики и сельскохозяйственных угодий надежной инженерной защитой.

2 Закономерности формирования поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод с земель сельскохозяйственного назначения

2.1 Особенности формирования поверхностного стока дождевых вод

На размер поверхностного стока дождевых вод оказывают влияние суммарное количество осадков, их вид, продолжительность, интенсивность, а также время выпадения.

Смыв почвы во время дождя происходит при совместном воздействии потока воды и падающих капель. Капли дождя разрушают структуру

почвы, создают в потоке добавочную турбулентность, повышающую его размывающую и транспортирующую способность, а также нагружают поток при всплесках оторванными частицами почвы. Удары капель дождя заставляют подниматься в воздух десятки тонн почвы на одном гектаре, но только часть ее выносятся потоками воды [3].

Кинетическая энергия дождевой капли, определяющая размер причиняемых почве разрушений в месте ее падения, зависит от размера капли и ее скорости. При движении капли в воздухе скорость ее падения становится постоянной, а численное ее значение зависит от состояния атмосферы и размера капли. И. Т. Даскалов [4] предложил следующую зависимость:

$$V_k = 41,5 \sqrt{d_k} \cdot g, \quad (1)$$

где V_k – скорость падения дождевой капли, м/с;

d_k – диаметр капли, м;

g – ускорение силы тяжести, м/с².

Для практических целей можно пользоваться следующими параметрами:

диаметр капли, мм	0,1	0,3	0,5	1	2	3	4	5	6
конечная скорость, см/с	27	117	206	403	649	806	883	909	930

Постоянная скорость падения крупной капли достигается при падении ее с высоты около 20 м, мелкой капли – с меньшей высоты.

Для дождей интенсивностью менее 1 мм/мин наблюдается четкая зависимость: чем больше интенсивность, тем больше диаметр капли. Для приближенных расчетов среднего диаметра капель (d_k , мм) по известной интенсивности дождя (r , мм/мин) можно пользоваться формулой [4]:

$$d_k \approx 2,2 \cdot r^{0,21}. \quad (2)$$

Для дождей интенсивностью 2-3 мм/мин эта зависимость становится обратной, а при дальнейшем увеличении интенсивности дождя снова отме-

чается рост диаметра капель [5]. При дождях интенсивностью 1-2 мм/мин преобладают капли диаметром 2-3 мм.

В соответствии с диаметром капель изменяется и кинетическая энергия дождя. В таблице 1 Ц. Е. Мирцхулава приводит характерные для средней полосы России параметры интенсивности дождей, размеров капель и скоростей их падения.

Таблица 1 – Размер и скорость дождевых капель в зависимости от интенсивности дождя [6]

Характер осадков	r , мм/мин	d_k , мм	V_k , м/с
Туман	-	0,01	0,003
Густой туман	0,0003	0,1	0,25
Мелкий дождь	0,0042	0,2	0,75
Легкий дождь	0,016	0,45	2,0
Умеренный дождь	0,066	1,0	4,0
Сильный дождь	0,25	1,5	5,0
Очень сильный дождь	0,66	2,1	6,0
Ливень	1,67	3,0	7,0

Существует также тесная обратная связь между интенсивностью дождя и его продолжительностью. Максимальную интенсивность дождя (мм/мин) можно рассчитать по формуле Г. А. Алексева [7]:

$$r_{\text{макс}} = \frac{A + B \cdot \lg N}{(1 + T)^{2/3}}, \quad (3)$$

где A и B – географические параметры;

T – продолжительность дождя, мин;

N – число лет, приходящееся на один заданный ливень, т. е. величина, обратная повторяемости. Если обеспеченность берется равной 10 %, то это значит, что расчетная интенсивность дождя при заданной его длительности T ожидается 1 раз за 10 лет, а $N = 10$, если обеспеченность – 100 %, то $N = 1$ и т. д. Различные сооружения, в зависимости от их значимости, проектируются на дожди разной обеспеченности. Так, водозадерживающие валы проектируются на осадки обеспеченностью 10 %, а водопропускные сооружения в железнодорожном полотне – на осадки обеспеченностью 1 %.

Рельеф не только определяет особенности формирования стока дождевых вод и связанных с ним процессов эрозии и закономерности залега-

ния несмытых, смытых и намытых почв, но и сам часто формируется под действием поверхностных стоков [8].

Поверхностный сток формируется в пределах водосбора, под которым понимается территория, ограниченная водораздельной линией.

Преобладающую часть территории водосбора занимают склоновые земли. Склоны различаются по форме, длине, крутизне и экспозиции [9, 10].

Длина склонов сильно зависит от степени расчлененности территории, которую характеризуют коэффициентом расчлененности K .

Коэффициент расчлененности территории равен отношению длины долинной и балочной сети l в километрах на какой-либо территории к ее площади S в квадратных километрах:

$$K=l/S. \quad (4)$$

Длина склона L связана с коэффициентом расчлененности территории:

$$L=1/2 \cdot K. \quad (5)$$

Следовательно, чем больше степень расчлененности территории, тем короче склоны. При движении с севера на юг наблюдается уменьшение крутизны склонов и увеличение их длины. По классификации М. Н. Заславского [11] склоны разделяются на:

чрезвычайно короткие	протяженностью до 50 м
очень короткие	от 50 до 100 м
короткие	от 100 до 200 м
средней длины	от 200 до 500 м
повышенной длины	от 500 до 1000 м
длинные	от 1000 до 2000 м
очень длинные	от 2000 до 4000 м
чрезвычайно длинные	более 4000 м

Под уклоном местности I понимают величину отношения разности высот двух точек на линии наибольшего падения склона Δh к горизонтальной проекции расстояния между ними b :

$$I=\frac{\Delta h}{b}=\operatorname{tg}\alpha, \quad (6)$$

где α – угол между линией, проходящей через эти две точки и горизон-

тальной плоскостью. Величина угла α является мерой крутизны склона. Уклон можно выражать и в процентах, например: $\text{tg}1^\circ = 0,017 = 1,7 \%$.

И. Д. Брауде [12] предложена следующая классификация склонов по крутизне (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация склонов по крутизне

Склоны	Крутизна, град.	Уклон ($\text{tg}\alpha$)
Слабополгие	до 1	$< 0,017$
Полгие	1-2	0,017-0,035
Покатые	2-5	0,035-0,087
Покато-крутые	5-9	0,087-0,158
Крутые	9-20	0,158-0,364
Очень крутые	20-30	0,364-0,577
Чрезвычайно крутые	30-45	0,577-1,000
Обрывистые	45-70	1,000-2,747
Отвесные	70-90	$\geq 2,747$

Крутизна склона имеет важное значение для формирования поверхностного стока. Причина существования тесной связи крутизны склона с эродирующей способностью почв очевидна, она связана с влиянием уклона на скорость потока, эродирующего почву. Скорость движения воды по склону связана с уклоном формулой Шези, из которой следует, что чем больше уклон, тем больше скорость водного потока и его энергия, тем больше причиняемые им почве разрушения. Анализ опытных данных по зависимости интенсивности поверхностного стока от уклона приводит к формуле вида:

$$Q=K \cdot I^n, \quad (7)$$

где K – коэффициент пропорциональности ($K > 0$);

n – эмпирический коэффициент.

Опытные значения этого коэффициента, полученные рядом авторов [11, 12], укладываются в диапазоне 0,4-1,4.

Длина склона оказывает существенное влияние на расход поверхностного стока. Чем дальше от водораздела вниз по склону вдоль линий стока находится изучаемый створ, тем больше будет расход воды в этом створе при прочих равных условиях [11, 12].

Зависимость величины смыва почвы Q от длины склона может быть выражена следующим уравнением:

$$Q=K \cdot x^m, \quad (8)$$

где K – коэффициент пропорциональности;

x – расстояние между изучаемым створом и водоразделом, м;

m – эмпирический коэффициент, имеющий величину в пределах 0,35-1,0.

Экспозиция склона также оказывает значительное влияние на интенсивность смыва почвы. При поверхностном стоке дождевых вод это влияние проявляется через разную увлажненность склонов разной экспозиции и в связи с этим разную густоту растительного покрова, оказывающего сильное защитное влияние на почву [11, 12].

Закономерности расположения на склонах почв разной степени смытости в значительной мере определяются особенностями рельефа [11, 13]. Наибольшее разрушение почв наблюдается на выпуклых участках склона. Это обусловлено тем, что с увеличением расстояния от водораздела одновременно увеличиваются и крутизна склона, и расход потока, а это приводит к увеличению его скорости и разрушительной силы. В результате этого несмытые почвы водораздела на выпуклом склоне сменяются слабосмытыми, затем среднесмытыми и сильносмытыми. Вогнутые склоны подвергаются эрозии в меньшей степени, чем выпуклые. С увеличением расстояния от водораздела увеличение расхода потока сопровождается уменьшением уклона.

Форма водосбора оказывает влияние на величину поверхностного стока через концентрацию склонового стока, поэтому собирающие водосборы наиболее опасны в эрозионном отношении, рассеивающие – наименее опасны, нейтральные занимают промежуточное положение.

Поверхностный сток во время дождя возникает, когда его интенсивность начинает превышать интенсивность впитывания воды почвой, которая с течением времени убывает (рисунок 1). Изменение впитывающей

способности почвы во времени с достаточной для практических целей точностью описывается уравнением А. Н. Костякова [14, 15]:

$$K_t = K_0 \cdot t^{-\alpha}, \quad (9)$$

где K_t и K_0 – интенсивность впитывания в момент t и в начале впитывания;

α – коэффициент затухания скорости впитывания, изменяющийся от 0,2 до 0,8 в зависимости от свойств почв и их исходной влажности.

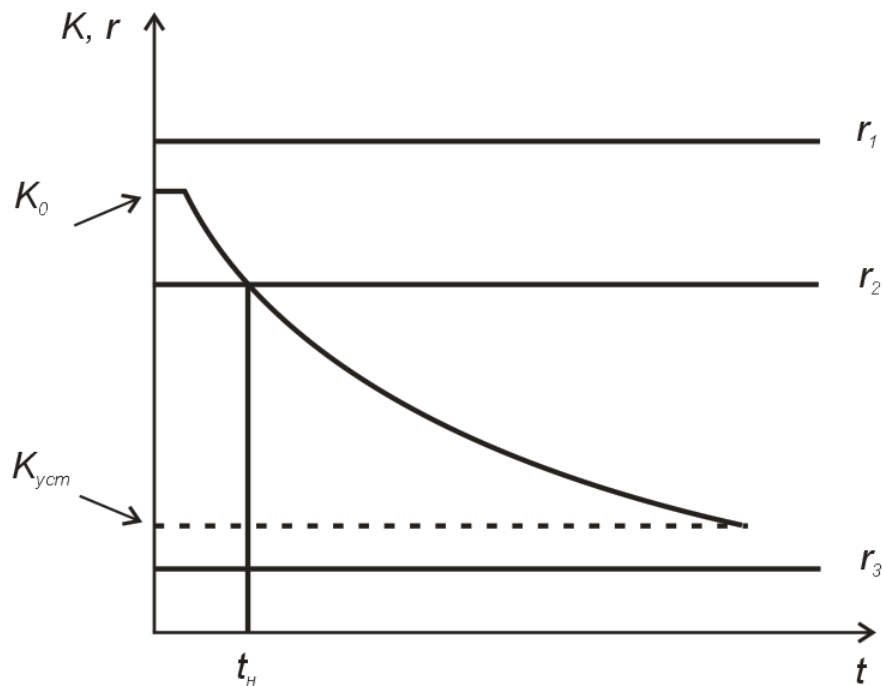


Рисунок 1 – Динамика интенсивности впитывания и появления поверхностного стока при дождях разной интенсивности

Теоретически возможны три варианта образования стока:

- сток появляется сразу же в момент начала ливня ($t_n = 0$); это случается, когда интенсивность ливня r_1 больше начальной интенсивности впитывания воды почвой K_0 ;

- сток появляется в момент времени (t_n), когда уменьшающаяся во времени интенсивность впитывания сравнивается с интенсивностью дождя r_2 ;

- сток вообще не формируется, если интенсивность дождя r_3 меньше установившейся интенсивности впитывания $K_{уст}$.

В действительности чаще всего реализуется второй случай, т. е. поверхностный сток возникает через некоторое время после начала дождя [15].

Поглощение почвой воды осуществляется в виде одновременного протекания ряда процессов. По мере заполнения почвенных пор водой и дальнейшего ее поступления в виде осадков происходит формирование сплошного равномерного потока. Движение такого потока в почве носит название фильтрации. Соотношение указанных процессов находится в большой зависимости от свойств почв, ее агротехнического состояния, влажности и гранулометрического состава [15].

Интенсивности впитывания обычно определяют опытным путем в полевых условиях, но есть и расчетные методы. Д. Л. Арманду [16] удалось сгруппировать почвы разного генезиса и гранулометрического состава в классы по их водопроницаемости во время дождя (таблица 3).

Таблица 3 – Классификация почв по водопроницаемости [16]

Потенциальная структура	Тип и подтип почвы	Группа по гранулометрическому составу				
		Глины и тяжелые суглинки	Средние и легкие суглинки	Супеси и сильно щебнистые почвы	Пески	Пески слабозадерживаемые
Водопрочная макро-структура	Черноземы тучные, обыкновенные, предкавказские	IV	V	-	-	-
Макро-структура средней устойчивости	Черноземы выщелоченные, оподзоленные, террасовые, солонцеватые; темно-серые и серые лесные почвы; темно-каштановые почвы; луговые черноземовидные почвы	II	III	IV	-	-
Микро-структура или неустойчивая макро-структура	Подзолистые почвы; светло-серые лесные почвы, светло-каштановые почвы, глубоко-столбчатые солонцы	I	II	III	IV	V

Всего он выделил пять классов. Почвы первого класса характеризуются наименьшей водопроницаемостью, а почвы пятого класса – наибольшей. Для определения принадлежности почвы к одному из этих классов необходимо знать ее тип и гранулометрический состав. Наибольшей водопроницаемостью обладают черноземы. Наименьшей – при одном и том же гранулометрическом составе – малогумусные почвы [16].

Таким образом, интенсивность поверхностного стока дождевых вод находится в большой зависимости от свойств почв, ее агротехнического состояния, влажности и гранулометрического состава.

2.2 Особенности формирования поверхностного стока при снеготаянии

2.2.1 Роль природных факторов в формировании стока при снеготаянии

Важнейшими факторами, влияющими на формирование поверхностного стока при снеготаянии, являются увлажнение почвы перед снеготаянием, величина запасов воды в снеге, глубина промерзания почвы, интенсивность и продолжительность снеготаяния.

В литературе эти факторы в основном рассматриваются без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени отличаются и даже бывают противоположными. И. А. Кузник [17] считает влияние снегозапасов на поверхностный сток неоднозначным, так как, с одной стороны, оазисное снегозадержание может способствовать предотвращению стока, а с другой – при повсеместном проведении оно не отразится на коэффициенте стока.

Г. Ф. Басов и М. Н. Грищенко [18], исследуя этот вопрос в Воронежской области, пришли к выводу, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока увеличивается. С. И. Небольсин и П. П. Надеев [19], проводя многолетние исследования в Московской области, определили, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока уменьшается. И. П. Сухарев и

Е. М. Сухарева [20] считают, что в Центрально-Черноземной области (ЦЧО) с увеличением снеготаяния уменьшается коэффициент, а в некоторых случаях и величина стока.

А. И. Чеботарев и С. И. Харченко [21] заключили, что снеготаяния прямо влияют на сток весеннего половодья. Г. П. Сурмач [22] отмечает, что с увеличением запасов снеговой воды сток возрастает, одновременно во многих случаях повышается и коэффициент стока. Им также установлена математическая связь стока со снеготаяниями.

На основании анализа этих связей Г. П. Сурмач [23] пришел к выводу, что при разнообразии гидрометеорологических условий и агротехники взаимосвязь между мощностью снежного покрова и стоком проявляется по-разному. Для черноземно-степной и каштановой зон он выделил пять групп сочетаний погодных условий и на основе их анализа разработал схему прогнозирования стока на качественном уровне (слабый, умеренный и т. д.) [24].

Е. В. Полуэктов [25], проведя подобный анализ в условиях североприазовских черноземов Ростовской области, объединил различные сочетания факторов в 4 группы и предложил метод прогноза стока с зяби и уплотненной пашни на качественном уровне.

Б. А. Аполлов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров [26] предложили на основе анализа связи водопоглотительной способности почвы бассейна перед началом снеготаяния с природными факторами метод прогноза стока рек за период половодья, который можно использовать с определенными допущениями для прогноза поверхностного стока.

Г. П. Сурмач, М. М. Ломакин, А. П. Шестакова [27] выявили количественную связь коэффициента стока с природными факторами (увлажнение почвы, глубина промерзания, снеготаяния, среднесуточная температура воздуха, продолжительность снеготаяния) и представили ее в виде математических уравнений.

На Новосильской опытной станции был осуществлен корреляцион-

ный и регрессионный анализ связи слоя стока талых вод на зяби и уплотненной пашне (озимые и многолетние травы) с запасами воды в снеге и почве (в слое 0-50 см) перед снеготаянием, глубиной ее промерзания и продолжительностью снеготаяния на серых лесных почвах Центрального района Нечерноземной зоны (ЦРНЗ) РФ (таблица 4) [28].

Таблица 4 – Показатели стока с зяби и факторов на серых лесных почвах юга ЦРНЗ

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут
		в почве 0-50 см	в снеге		
1964	52	151	211	60	10
1966	1	157	108	0	18
1967	150	248	196	76	20
1968	0	123	150	29	11
1969	22	175	52	182	23
1970	82	183	191	137	23
1971	52	165	154	100	18
1972	22	166	60	160	-
1973	31	190	70	97	-
1974	50	193	64	124	3
1975	0	154	86	30	14
1976	0	123	ИЗ	130	-
1977	2	132	114	30	22
1978	0	201	177	45	-
1979	41	174	137	68	-
1980	0	153	158	30	13
1981	0	172	104	38	-
1982	0	184	101	50	-
1983	0	166	111	40	-
1984	3	129	51	120	-
1985	0	173	120	10	-
1986	32	175	80	110	11
1987	33	152	153	69	14
1988	21	137	118	60	10
1989	0	168	41	0	-
1990	21	190	44	68	5

Парный корреляционный анализ связи поверхностного стока на зяби показал, что связь слоя стока с продолжительностью снеготаяния очень слабая (коэффициент корреляции $R = 0,22$) [28].

Более мощное воздействие на формирование стока оказывали другие факторы.

Глубина промерзания почвы. С этим фактором связь поверхностного

весеннего стока сложная. Если почва талая или глубина ее промерзания не превышает 50 см, то поверхностный сток не формируется совсем или бывает незначительный независимо от уровня увлажнения почвы, снеготаяния и продолжительности снеготаяния. На Новосильской ЗАГЛОС им. А. С. Козменко отмечено 11 из 26 лет с такими условиями промерзания почвы (1966, 1968, 1975, 1977, 1978, 1980, 1981-1983, 1985, 1989), что соответствует годам 40 %-ной вероятности превышения [28].

Запасы воды в почве (в слое 0-50 см) в эти годы колебались от 123 до 201 мм, снеготаяния от 86 до 177 мм, а продолжительность снеготаяния от 10 до 18 дней, то есть при варьировании всех факторов в широком диапазоне поверхностный сток талых вод не формируется или бывает очень слабый (2-3 мм). При глубине промерзания почвы свыше 50 см сток формируется в зависимости от уровня увлажнения (льдистости) почвы и снеготаяния.

Влажность почвы. При запасах воды в слое 0-50 см мерзлой почвы менее 123-129 мм поверхностного стока не было или он составлял 3 мм независимо от снеготаяния и глубины промерзания почвы (свыше 50 см). Запасы воды в снеге изменялись от 51 до 113 мм, а глубина промерзания от 120 до 130 см. При низком уровне увлажнения (123 мм) почва была талой и лишь местами промерзала до 20-30 см. При минимальном увлажнении почвы и глубине промерзания даже при высоких снеготаяниях (150 мм) поверхностный сток не формируется.

В годы с глубиной промерзания почвы более 50 см, что соответствует 60 %-ной вероятности превышения и запасами воды в ней свыше 151 мм (70 %-ной вероятности превышения) при снеготаяниях 44-211 мм (вероятность превышения 4-92 %) величина стока колебалась от 22 до 150 мм (вероятность превышения 3-70%) [29].

Множественный корреляционно-регрессионный анализ связи поверхностного стока на зяби Y_3 с увлажнением почвы W_n и снеготаяниями перед снеготаянием W_c , а также с глубиной ее промерзания H при этих условиях позволил получить следующее уравнение регрессии [29]:

$$Y_3 = -206 + 1,06 \cdot W_n + 0,41 \cdot W_c + 0,14 \cdot H. \quad (10)$$

Коэффициенты регрессии показывают, что сток, в основном, зависит от увлажнения мерзлой почвы и снеготаяния перед снеготаянием. При глубине промерзания почвы более 50 см она практически не оказывает влияния на сток, т. е. дальнейшее увеличение глубины промерзания не приводит к увеличению стока. Поэтому был проведен регрессионный анализ с тремя переменными $Y_3 = f(W_n \cdot W_c)$, и получено следующее уравнение регрессии:

$$Y_3 = -165 + 0,95 \cdot W_n + 0,38 \cdot W_c, \quad (R = 0,97 \pm 0,001). \quad (11)$$

Анализ связи стока на уплотненной пашне с указанными природными факторами (таблица 5) показал, что при глубине промерзания почвы до 50 см сток обычно не формируется. Таких лет было 9 из 21 исследуемого года. Запасы воды в почве в эти годы колебались от 124 до 233 мм (3-95 %-ная вероятность превышения), а снеготаяния от 101 до 194 мм (8-65 %-ная вероятность превышения) [29].

Таблица 5 – Показатели стока с уплотненной пашни и факторов, обуславливающих его формирование на серых лесных почвах юга ЦРиЗ

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут
		в почве 0-50 см	в снеге		
1	2	3	4	5	6
1966	1	189	101	0-10	-
1967	55	156	127	80	20
1968	0	124	161	0-8	11
1969	46	173	77	165	23
1970	96	171	203	75	23
1971	42	-	74	100	-
1972	15	157	37	100	-
1973	38	168	63	100	-
1974	44	-	49	104	3
1975	0	-	-	30	14
1976	0	-	-	-	-
1977	0	172	174	45	22
1978	0	163	194	50	-
1979	64	167	132	80	-
1980	0	152	153	35	13
1981	0	233	122	0	-
1982	0	-	-	-	-

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6
1983	0	-	-	-	-
1985	2	166	113	10	11
1986	25	180	77	110	-
1987	42	118	149	69	16
1988	29	161	132	60	5

В годы с глубиной промерзания почвы свыше 50 см (65 %-ная вероятность превышения) и запасами воды в ней (в слое 0-50 см) более 156 мм (60 %-ная вероятность превышения) величина стока колебалась от 10 до 96 мм (25-95 %-ная вероятность превышения).

Для установления структуры связей стока Y_n с запасами воды в почве W_n , снегозапасами перед снеготаянием W_c и глубиной промерзания H был применен корреляционно-регрессионный анализ с четырьмя переменными. Получено уравнение регрессии:

$$Y_n = -71 + 0,44 \cdot W_n + 0,41 \cdot W_c + 0,0006 \cdot H, \quad R = (0,86 \pm 0,001). \quad (12)$$

Значения коэффициентов регрессии и корреляции свидетельствуют о практически полном отсутствии связи стока с глубиной промерзания более 50 см. Главную роль в формировании стока играет увлажнение мерзлой почвы и запасы воды в снеге [29].

$$Y_n = -71 + 0,44 \cdot W_n + 0,41 \cdot W_c, \quad (R = 0,86 \pm 0,001). \quad (13)$$

Расчет стока по уравнениям (11) и (13) дает довольно близкую сходимость с экспериментальными данными (таблица 6).

Таблица 6 – Экспериментальные и рассчитанные по уравнениям регрессии величины стока с зяби и уплотненной пашни на юге ЦРНЗ, мм

Год	Зябь				Уплотненная пашня			
	Экспериментальные	Расчетные	Отклонение		Экспериментальные	Расчетные	Отклонение	
			мм	%			мм	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1964	52	57	+ 5	+ 11	-	-	-	-
1967	150	144	- 6	- 4	55	50	- 5	- 9
1969	22	20	- 2	- 8	46	37	- 9	- 20
1970	82	81	- 1	- 2	96	88	- 8	- 8
1971	52	49	- 3	- 6	-	-	-	-

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1972	22	14	- 8	- 36	15	13	- 2	- 13
1973	31	41	+ 10	+ 32	38	29	- 9	- 24
1974	50	42	- 8	- 16	-	-	-	-
1979	41	51	+ 10	+ 24	64	57	-7	-11
1986	32	31	- 1	- 4	25	40	+ 15	+ 59
1987	33	37	+ 4	+ 11	42	42	0	0
1988	21	9	- 12	- 56	29	25	- 4	- 13
1990	21	31	+ 10	+ 49	-	-	-	-

Таким образом, главными природными факторами, обуславливающими величину стока талых вод на юге Центрального района Нечерноземной зоны РФ, являются увлажнение почвы, снегозапасы перед снеготаянием и глубина промерзания почвы.

Сток формируется при обязательном сочетании этих факторов. Талая и промерзшая до 50 см почва независимо от увлажнения обладает высокой впитывающей способностью, обеспечивающей поглощение всей снеговой воды. Замерзание почвы на глубину более 50 см обуславливает формирование стока, причем на его величину решающее влияние оказывает влажность почвы и запасы воды в снеге. Увеличение глубины промерзания от 50 до 182 см практически не сказывается на величине стока. При слабом увлажнении почвы (запасы воды в слое 0-50 см меньше 129 мм) стока на зяби или не бывает, или слой его составляет 2-3 мм. На уплотненной пашне сток может формироваться и при небольших влагозапасах в почве. Наибольшее значение имеет увлажнение мерзлой почвы.

Таким образом, более мощное воздействие на формирование стока U оказывали увлажнение почвы в слое 0-50 см W_n и снегозапасы W_c перед снеготаянием. Поэтому был проведен корреляционно-регрессионный анализ связи стока с этими факторами, и получены следующие уравнения связи [30]:

- на серой лесной почве:

$$U_3 = -57 + 0,34 \cdot W_n + 0,26 \cdot W_c, (R = 0,61 \pm 0,26); \quad (14)$$

- на типичном черноземе:

$$Y_3 = -50 + 0,25 \cdot W_n + 0,25 \cdot W_c, (R = 0,92 \pm 0,05), \quad (15)$$

$$Y_n = -116 + 0,71 \cdot W_n + 0,41 \cdot W_c, (R = 0,78 \pm 0,08). \quad (16)$$

Расчет стока по уравнениям (14), (15) и (16) дает неплохую сходимость с экспериментальными данными [29, 30].

Итак, важнейшими природными факторами формирования поверхностного стока талых вод являются увлажнение почвы и снеготаяние перед снеготаянием.

Обобщая изложенное, следует отметить, что проведенный анализ дал возможность из всего многообразия факторов выявить главные (запасы воды в снеге, увлажнение и глубина промерзания почва). Сток формируется при обязательном сочетании их, однако при некотором уровне (ниже лимитирующего) увлажнения и глубины промерзания почвы (каждого фактора в отдельности) сток не формируется независимо от уровня других факторов.

2.2.2 Влияние антропогенных факторов на формирование стока талых вод

Наиболее мощное воздействие на естественные ландшафты оказывает земледельческая деятельность человека. Хозяйственная деятельность человека привела к разрушению дернины, уменьшению водопроницаемости почв и ее противозерозионной устойчивости. В результате значительно возрос сток, что вызвало современную (антропогенную) эрозию. Поэтому необходимо знать закономерности формирования поверхностного стока в условиях антропогенного воздействия и на этой основе разрабатывать противозерозионные приемы.

2.2.2.1 Характеристика среднего и разной вероятности превышения весеннего стока на зяби и уплотненной пашне

При построении комплекса противозерозионных мероприятий на расчетной основе применяются различные модели определения смыва почвы

(Г. И. Швобс [31], Ц. Е. Мирцхулава [32], Г. П. Сурмач [33], В. Д. Муха [34], Е. А. Гаршинев [35]), составной частью которых являются величины стока разной вероятности превышения. Они используются также при расчете водопоглощения в лесных полосах, при проектировании гидротехнических противоэрозионных сооружений и при других расчетах.

Одним из первых применил методы расчета стока разной вероятности превышения Г. П. Сурмач [36]. Он обобщил материал по стоку талых вод с зяби и уплотненной пашни. По мере накопления материалов оценку стока разной вероятности превышения продолжали Г. П. Сурмач, Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов [37], В. И. Шадрин [38], С. Ф. Миронченко [39], А. В. Лысов, П. И. Проездов [40], И. Г. Зыков, Ю. В. Бондаренко, В. А. Калужский [41], А. Т. Барабанов [42], В. И. Панов [43], Е. В. Полуэктов [44].

На основании обобщения литературных данных по поверхностному стоку с зяби и уплотненной пашни построены теоретические кривые обеспеченности.

Анализ показал, что средние величины стока с уплотненной пашни при движении от серых лесных почв (юг ЦРНЗ) к североприазовским черноземам снижается с 67 до 22 мм. На зяби темпы снижения значительно ниже. В пределах ЦЧО сток снижается с 36 до 15 мм, а в Поволжье (от Самары к Волгограду) и в Ростовской области величины стока почти одинаковые (5-10 мм).

2.2.2.2 Карты весеннего поверхностного стока

При планировании мер по регулированию поверхностного стока и проектировании системы противоэрозионных мероприятий необходима количественная оценка слоя стока в любой точке территории страны.

Наиболее удобной и доступной формой изложения для проектных организаций являются карты среднего стока и модульные коэффициенты для расчета стока разной вероятности превышения [20, 45-48].

Впервые карты среднего стока талых вод с зяби и уплотненной пашни были составлены Н. И. Коронкевичем [49] на основе выявленной связи поверхностного стока с речным. Используя связь поверхностного стока с речным, В. П. Герасименко, В. И. Шадрин, В. С. Буруменский составили такую карту для ЦЧО [50].

Г. П. Сурмач [29, 30, 51] на основе обобщения экспериментальных данных, полученных на стоковых площадках, построил карту среднего весеннего стока с зяби в ЦЧО, а затем и для лесостепных и степных районов европейской части РФ.

Проведенный анализ данных по стоку показал, что средние величины его при движении от серых лесных почв до североприазовских черноземов снижаются. На уплотненной пашне темпы снижения примерно одинаковые, на зяби в пределах ЦЧО они несколько выше, чем в Поволжье и на Северном Кавказе. На карте среднего стока с уплотненной пашни они проходят более равномерно, почти параллельно друг другу с небольшим изгибом примерно по линии Брянск–Курск–Донецк. Изолинии стока с зяби имеют большой изгиб, сближаясь по линии Москва–Самара.

Таким образом, карты среднего весеннего стока отражают фактическую картину изменения его в связи с природными и хозяйственными факторами в лесостепных районах европейской территории РФ, Украины и Беларуси. По модульным коэффициентам можно рассчитать показатели стока различной вероятности превышения и использовать их при проектировании системы мероприятий по регулированию стока талых вод и борьбе с эрозией почв. Например, в Белгородской области средняя величина стока с зяби на выщелоченном черноземе, согласно карте, составляет 30 мм. Чтобы рассчитать величину стока 10 %-ной вероятности превышения, нужно 30 мм умножить на модульный коэффициент 2,4, т. е. величина стока 10 %-ной вероятности превышения будет равна 72 мм.

2.3 Анализ методов составления прогноза поверхностного стока талых вод

Прогнозирование эрозионно-гидрологических процессов (ЭГП) на водосборных бассейнах и управление ими должно осуществляться на основе знания закона формирования поверхностного стока, оценки природных и антропогенных факторов и их взаимодействия. Имеются многочисленные данные о роли различных факторов в формировании стока [17, 18, 21, 52-59]. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени отличаются и даже бывают противоположными.

Наиболее полно проанализировали связь стока с природными и антропогенными факторами Г. П. Сурмач и Е. В. Полуэктов [36, 60, 61], но, к сожалению, только на качественном уровне. Г. П. Сурмач [60] установил связь показателей стока с гидрометеорологическими условиями осенне-зимне-весеннего периода для черноземно-степной и каштановой зон. Он выделил по погодным условиям 11 типов осени, зимы и весны и определил 21 их сочетание и соответствующие им показатели стока на качественном уровне (слабый, умеренный, сильный и т. д.). Позднее он [36] сгруппировал их в 5 групп погодных условий осени, зимы и весны и на основе их анализа разработал схему прогнозирования стока талых вод также на качественном уровне.

Е. В. Полуэктов [61], проведя подобный анализ для условий северо-приазовских черноземов Ростовской области, сгруппировал различные сочетания природных факторов стока в 4 группы и предложил метод прогноза поверхностного стока также на качественном уровне. Однако, эти прогнозы стока не были формализованы.

В формализованном виде для прогноза стока рек за период половодья Б. А. Аполов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров [26] предложили следующее уравнение:

$$Y = S - P_0 \cdot (1 - e^{S/R_0}), \quad (17)$$

где Y – речной сток в период половодья, мм;

S – запасы воды в снеге и ледяной корке, мм;

P_0 – параметр, характеризующий водопоглотительную способность бассейна перед началом снеготаяния и представляющий собой максимально возможные потери талых вод при таянии снежного покрова с большим запасом воды, мм.

$$P_0 = 750 \cdot e^{-0,11W} \cdot e^{-0,051WL}, \quad (18)$$

где W – влажность мерзлой почвы в слое 0-100 см;

L – глубина промерзания почвы, см (глубина промерзания ограничена 60 см, т. е. все большие величины приравнены 60 см, или глубина промерзания почвы свыше 60 см оказывает такое же влияние, как и 60 см).

По этому уравнению речной сток зависит от снегозапасов (S) и водопоглотительной способности почв бассейна (P_0) перед началом снеготаяния. Последний параметр связан с глубиной промерзания и льдистостью почвенного слоя 0-100 см или влажностью ее в мерзлом состоянии.

В. В. Демидовым [62, 63] на основании трехлетних исследований в Курской области установлена количественная связь стока (α) со снегозапасами (S), увлажнением почвы ($W_{\text{п}}$, $W_{\text{пв}}$), глубиной ее промерзания (L), среднесуточной температурой воздуха в период стока (t) и продолжительностью (T). Она выражается следующим уравнением:

$$Y = \frac{3,2 \cdot 10^3 S \cdot L^{1,5} \cdot t^{0,25} \cdot W_{\text{п}}^{4,2}}{T^{0,6} \cdot W_{\text{пв}}^{4,2}}, \quad (19)$$

где Y – поверхностный сток, мм;

S – снегозапасы, мм;

L – глубина промерзания почвы, см;

t – среднесуточная температура воздуха в период стока, град.;

$W_{\text{п}}$ – исходная влажность почвы перед началом зимы, мм;

T – продолжительность снеготаяния, сут;

$W_{\text{пв}}$ – полная влагоемкость почвы, мм.

Из уравнения видно, что в наибольшей степени коэффициент стока

талых вод зависит от увлажнения почвы и глубины его промерзания, слабее влияют температура воздуха и продолжительность снеготаяния.

Г. П. Сурмач, М. М. Ломакин, А. П. Шестакова [27] предложили рассчитывать коэффициенты поверхностного стока по уравнению:

$$L = (a \cdot x^h \cdot H - b \cdot x - c \cdot H + L) \cdot (1 + 0,0000055 \cdot P_{oc}^2), \quad (20)$$

где x – средняя влажность почвы в запирающем слое, %;

H – толщина запирающего мерзлого слоя, см;

L – глубина промерзания почвы, см;

P_{oc} – влагозапасы в снеге и ледяной корке, мм;

a, b, c, L, h – коэффициенты, которые в зависимости от типа почв принимают разные значения.

Из этого уравнения следует, что на коэффициент стока талых вод существенно влияют снегозапасы, средняя влажность мерзлого слоя почвы и его глубина. Определение влажности почвы во всем мерзлом слое (до 150-200 см), с одной стороны, нецелесообразно, так как на водопоглощение и сток влияет только верхний (до 30-50 см) слой почвы, а с другой стороны, это может привести к большой ошибке при определении влажности. В. Е. Водогрецкий [64] предлагает оценивать изменение поверхностной составляющей речного стока по зависимости коэффициента склонового весеннего стока (α) с показателем, характеризующим степень увлажненности почвы в метровом слое и промерзаемости почвогрунтов в период, предшествующий стоку (U_t), а также с уклоном склона (J). Входящий в предложенное им уравнение связи $\alpha = f(U_t, J)$ этот показатель рассчитывают путем умножения суммарных влагозапасов на сумму отрицательных значений температуры воздуха за период от начала устойчивого ее перехода через 0 °С до 1 января. Это уравнение не может правильно отражать зависимость поверхностного стока от природных факторов по следующим причинам. Во-первых, в нем не учтены снегозапасы; во-вторых, произведение влагозапасов на сумму отрицательных температур не свидетельству-

ет об уровне водопроницаемости почв. В-третьих, поверхностный сток талых вод практически не зависит от уклона [36, 52, 65].

П. А. Шеппель для расчета весеннего поверхностного стока использовал следующие уравнения [66]:

$$W_n = 14,7 \cdot \sqrt{h}, \quad (21)$$

$$W_n = 0,94 \cdot H + 54, \quad (22)$$

где W_n – суммарный приток паводковых вод к каскаду ГЭС, км³;

h – максимальные (средние) запасы воды в снежном покрове бассейна Волги, мм;

H – толщина запирающего мерзлого слоя, см.

По этим уравнениям величина стока р. Волга зависит только от снегозапасов, т. е. чем больше снега, тем больше сток. Это не соответствует закономерностям формирования стока. Бывает, что при небольших снегозапасах формируется относительно большой сток.

Дождевые паводки и весеннее половодье формируются в результате стекания дождевых и талых вод со склонов речных бассейнов, добегания их по ручейковой и русловой сети и суммирования элементарных объемов воды, образовавшихся в различных частях бассейна от разных порций водоподачи.

Естественно, что первые порции водоподачи на водосбор при выпадении дождей или снеготаянии расходуются на смачивание растительного и почвенного покрова, аккумуляцию в толще снега, инфильтрацию и заполнение отрицательных форм микрорельефа и не участвуют в стоке. И лишь по истечении некоторого времени, когда интенсивность общих потерь станет меньше интенсивности водопоступления, остаточная часть воды станет стекать со склонов и поступать в русловую сеть. В это время открытые склоны представлены пестрой мозаикой элементарных водосборов с густой сетью луж и мелких ручейков, подающих воду в тальвежную и русловую сеть.

Текущие расходы паводка могут быть представлены интегральными

уравнениями, которые в исследованиях М. А. Великанова получили название генетической формулы стока [67]:

$$Q_t = \int_0^t \frac{df}{dt} (X - P) dt \quad (23)$$

или

$$Q_t = \int_0^t \frac{df}{dt} h dt, \quad (24)$$

где Q_t – текущий расход паводка в t -й момент времени;

f – площадь одновременного стекания, которая является функцией текущих скоростей и времени добега воды к замыкающему створу;

X – слой дождевых или талых вод за время t ;

P – суммарные потери за время t ;

$h = X - P$ – слой стока за время t .

В развернутом виде при принятой расчетной единице времени формула (7) может быть записана в виде

$$Q_t = h_1 \cdot f_t \cdot \psi(v_1) + h_2 \cdot f_{t-1} \cdot \psi(v_2) + h_t \cdot f_t \cdot \psi(v_t). \quad (25)$$

Уравнения (24) и (25) в определенной мере отражают естественный нестационарный процесс формирования паводков, включая ход водопоступления и потерь, а также изменения скоростей стекания и добега стока к створу [67].

Если же принять постоянными в течение паводка и одинаковыми по водосбору скорости и учитывать все виды потерь дождевых и талых вод постоянным объемным коэффициентом стока или принимать в качестве водоотдачи ход паводочного стока с малых площадей, генетическая формула стока получает вид:

- в интегральном выражении:

$$Q_t = \int_0^{t-\tau} h_{t-\tau} f_{\tau} = \int_0^{t-\tau} h_{t-\tau} v b_{\tau} d\tau; \quad (26)$$

- в общем развернутом виде:

$$Q_t = h_1 \cdot f_t + h_2 \cdot f_{t-1} + h_t \cdot f_t, \quad (27)$$

где Q_t – расход в t -й интервал времени;

$f = v \cdot b \cdot d \cdot t$ – площадь одновременного стекания;

v – постоянная скорость;

b – ширина этой площади;

d – длина этой площади;

t – время добегания;

f_t, f_{t-1}, \dots, f_1 – единичные площади, подающие сток к замыкающему

створу в течение одного интервала времени;

h_1, h_2, \dots, h_t – слои воды, поступающей с единичных площадок к замыкающему створу в течение каждого интервала времени [67].

Генетические формулы вида (26) и (27) предусматривают постоянные за время паводка скорости, что отвечает установившемуся движению и является грубым допущением относительно естественного процесса формирования паводка. Но это допущение дает возможность легко установить единичные площади стекания и использовать генетическую формулу для построения приближенных гидрографов неизученных водосборов и обоснования самых распространенных формул максимального стока.

Следовательно, на основании анализа работ разных исследователей нельзя однозначно судить о роли тех или иных факторов формирования стока, дать точный его прогноз и определить пути воздействия на них с целью управления эрозионно-гидрологическими процессами.

2.4 Прогнозирование поверхностного стока при снеготаянии

Для прогноза поверхностного стока при снеготаянии может служить шкала, разработанная Г. П. Сурмачем [26, 44, 68] применительно к зонам черноземных и каштановых почв. Она позволяет получить качественную характеристику стока и соответствующие количественные характеристики стока (слой и коэффициент стока) (таблица 7).

Таблица 7 – Шкала для оценки стока

Наличие и степень стока	Величина стока, мм	Коэффициент стока
Нет	0	0,00
Очень слабый	До 7	До 0,05
Слабый	8-20	0,06-0,15
Умеренный	21-40	0,16-0,35
Сильный	41-75	0,36-0,65
Очень сильный	76-115	0,66-0,85
Чрезмерный	Больше 115	Больше 0,85

Наиболее важным фактором формирования весеннего стока является влажность почвы в предзимний период. Однако если почва замерзла в переувлажненном состоянии и ее поры забиты льдом, водопроницаемость почвы очень мала. В связи с этим погодные условия осени оказывают определяющее влияние на водопроницаемость почвы и формирование весеннего стока: чем больше осадков, тем меньше водопроницаемость и больше сток.

Погодные условия зимы также оказывают заметное влияние на сток. Оттепели способствуют насыщению верхнего слоя почвы льдом и формированию на поверхности почвы ледяной корки.

Характер весны в условиях черноземов и каштановых почв оказывает гораздо меньше влияния. Во многих случаях судьба весеннего стока предрешена осенью и зимой. Однако теплая весна все же оказывает некоторое стимулирующее влияние на сток [69-71].

На черноземах Поволжья и Заволжья главным фактором, определяющим характеристики стока при снеготаянии, является характер увлажнения почвы осенью. Зима в этой зоне устойчивая, и сток можно прогнозировать в начале зимы. Для каштановых почв главным фактором, определяющим характеристики стока при снеготаянии, является характер увлажнения почвы зимой. Зима в этой зоне часто сопровождается оттепелями, поэтому сток можно прогнозировать не раньше, чем в середине зимы [72-74].

При усовершенствовании методов долгосрочного прогнозирования погоды до такой степени, что станет возможным уже в сентябре обоснованно прогнозировать сток талых вод с различных угодий, появится воз-

возможность своевременно провести соответствующие мероприятия и резко увеличить эффективность работ по защите почв от поверхностного стока.

2.5 Особенности формирования поверхностного стока ирригационных вод

Размер поверхностного стока ирригационных вод зависит от сочетания ряда факторов. К таким факторам относятся интенсивность искусственного дождя, размер и скорость падения капель, расход воды при поверхностных способах полива, уклон и форма склона, длина поливного участка, длительность полива, водопроницаемость и противоэрозионная стойкость почвы. Регулируя эти факторы, можно управлять процессами поверхностного стока ирригационных вод при поливах, добиваясь снижения потерь почвы до допустимого уровня.

2.5.1 Формирование поверхностного стока при поливе по бороздам

Ирригационный смыв почвогрунта обуславливается уклоном поливной борозды, свойствами почвогрунтов, формой поперечного сечения борозды, исходной мутностью воды, исходной влажностью почвогрунтов, характером растительности и др. [75-83].

Вместе с тем данные многих исследователей имеют и некоторые противоречивые сведения. Одни авторы считают [77] определяющим расход воды в борозде, другие [75] – уклон поверхности, третьи – водопрочностные свойства почв и т. д.

На площади с уклонами 0,005, по данным Б. Господинова [77], смыв почвогрунта при поливе по бороздам при расходе 0,7-1,2 л/с в десять раз больше, чем при расходе 0,5 л/с.

С. Г. Манишкин [84] считает, что смыву подвергается в основном мелкозем. Это же подтверждает Х. Х. Хамдамов [75, 85]. В других почвенно-грунтовых условиях В. С. Татарова-Крыстева отмечает преобладание крупнопылевой фракции в продуктах ирригационного стока, следующими

по количеству идут мелкопесчаные фракции, независимо от содержания их в пахотных горизонтах. На 1000 м³ воды при уклоне 0,008 количество продуктов ирригационного стока в этом случае достигает 7-10 т [84, 86]. Механический состав отложений более тяжелый, по сравнению с естественным почвогрунтом.

Поверхностный сток при орошении вызывает не только механический вынос мелкозема, но и растворяюще действует на химические элементы почвы [87], увеличивая содержание азота в воде на 0,5 мг/л, Р₂О₅ – на 0,2 мг/л.

Подытожив мнения исследователей, к основным факторам, обуславливающим явления ирригационного стока почвогрунтов, можно отнести [84, 86]:

- противоэрозионную устойчивость почвогрунтов. Основным показателем, характеризующим это свойство почвогрунтов, является их структурное состояние, которое зависит от содержания агрегатов;

- уклоны поливных борозд. С увеличением уклона от 0,005 до 0,92 интенсивность смыва увеличивается в 10-118 раз, т. е. увеличение смыва почвогрунта происходит в 2,5-3,0 раза быстрее, чем увеличение уклона борозды;

- расход воды и длину борозд. С увеличением длины борозды и расхода воды в них увеличивается смыв почвогрунта. Однако прямой зависимости в этом отношении не установлено.

Большое разнообразие имеется в рекомендациях полива по бороздам из условий допустимого уклона, не вызывающего смыва почвогрунтов. Ф. Кивер [88] рекомендует полив по бороздам применять при уклоне 0,003-0,008. По данным Ю. П. Полякова [89], полив по бороздам рекомендуется при уклонах менее 0,02, а при условии полива малой струей уклон допускается 0,07.

С. Г. Манишкин [84] считает ирригационный сток опасных размеров при уклоне 0,01. По В. В. Изюмову [90], проточные борозды применяются

при уклоне 0,001-0,02, тупые – при уклоне меньше 0,002. Д. А. Штокалов [91] ограничивает поверхностное орошение уклоном 0,03.

Разнообразие перечисленных выше рекомендаций в отношении допустимых уклонов поверхностного полива вызвано наличием целого ряда факторов. Поэтому необходимо конкретизировать условия, обуславливающие ирригационный сток [89].

Интенсивность смыва почвогрунтов в поливной борозде зависит от ее профиля [92]. Установлено, что в прямоугольных бороздах с плоским дном смыв значительно меньше, чем в Э-образных, особенно при уклоне меньше 0,03.

С увеличением в шесть раз длины борозд (в пределах до 120 см) ирригационный сток уменьшается на 80 % [87].

В США [93] применяют в основном мелкие борозды (7-13 см глубиной). При допустимых уклонах 0,04-0,008 длина их варьирует от 60-80 м. Ценные продовольственные и технические культуры поливаются по глубоким бороздам длиной 30-450 м. При подаче воды малыми дозами полив по бороздам применяется при уклонах 0,1 и даже 0,15.

Большинство ученых-исследователей считают неэродирующими расходы в борозду подачи воды 0,2-0,6 л/с.

«Критической» струей считается расход 0,2-0,5 л/с. Предельно допустимый расход воды в борозду можно определить по зависимости [94]:

$$Q = \sqrt[3]{\frac{A_3 \cdot \sqrt[3]{T}}{\sqrt{Y \cdot l}}}, \quad (28)$$

где A_3 – эрозионный показатель;

T – время полива, ч.;

Y – уклон борозды;

l – длина борозды, м.

По данным Д. Давыдова, для условий Болгарии максимально допустимая струя воды в борозду определяется по формуле [95]:

$$q = \frac{0,05}{i^{1,2}} \cdot \left(\frac{V}{6}\right)^{3,4}, \quad (29)$$

где q – расход, л/с;

V – скорость воды, см/с;

i – уклон, %.

Х. Х. Хамдамов, И. И. Бердикулов [75] считают, что размыв практически начинается при скоростях ниже критической. По Ф. Киверу [88], критической считается скорость 0,1 м/с.

Таким образом, по вопросу допустимых неразмывающих скоростей воды при поливе по бороздам, по данным различных авторов, наблюдаются также значительные отклонения, что можно объяснить различием условий, для которых рекомендуются те или иные скорости (таблица 8).

Таблица 8 – Допустимые неразмывающие скорости для полива по бороздам

Автор	Район исследования	Литературный источник	Допустимая неразмывающая скорость
А. Н. Костяков	Россия	15	0,1
С. М. Кривовяз	Узбекистан	52	0,1
А. Н. Ляпин, М. Д. Челюканов	Россия	43	0,15
В. М. Баучидзе	Грузия	52	0,20
К. А. Жарова	Киргизия	36	0,20
Д. А. Штокалов	Северный Кавказ	82	0,3-0,4
Г. А. Данов, С. М. Левицкий	Крым	46	0,4
А. Х. Геренберг, Х. Х. Хамдамов	Узбекистан	78	0,1

Академиком Ц. Е. Мирцхулавой разработана теория количественной и качественной оценки явления водной эрозии в целом. В таблице 9 представлены данные о предельно допустимом смыве почвогрунтов [96].

Ирригационный сток почвогрунтов при бороздном поливе непосредственно представляет собой взаимодействие потока воды с частицами почвогрунта.

Общее количество эродированного почвогрунта при поливе по бороздам, когда скорость поливной струи превышает допустимую (неразмы-

вающую), можно рассчитать по уравнению Ц. Е. Мирцхулавы [96]:

$$q_{xt} = 0,0000064 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot d \cdot \int_0^x \left[\left(\frac{v_{\Delta x}}{v_{\Delta \text{доп}}} \right)^2 - 1 \right] \cdot dx. \quad (30)$$

Таблица 9 – Предельно допустимый смыв почв при орошении в зависимости от мощности гумусового слоя

Почва	Мощность гумусового слоя, м	Содержание гумуса, %	Допустимые пределы смыва орошаемых почв, мм/га
Лугово-черноземные	0,35-0,9	3,6-7	0,58
Черноземы предкавказские мощные	0,7-1,3	3-5	0,29
Черноземы предкавказские выщелоченные маломощные	0,6-0,8	3-7	0,22
Черноземы южные и обыкновенные	0,5-0,7	4,4-5,5	0,18-0,24
Темно-каштановые	0,4-0,55	3,5-4,5	0,15
Каштановые	0,35-0,5	2,8-4	0,13
Светло-каштановые	0,25-0,45	1,5-3	0,1

Если условие допустимой ирригационной эрозии записать в виде

$$q_{xt} = B, \quad (31)$$

то допустимая начальная размывающая скорость равна:

$$v_{\Delta \text{нач.раз.}} = \sqrt{\frac{\frac{B}{0,0000064 \cdot \gamma \cdot \omega \cdot t \cdot d} + X}{X - \frac{BX^2}{2l}}}, \quad (32)$$

где q_{xt} – объемный вес почвы, т/м³;

γ – общее количество эродированного почвогрунта, когда скорость воды превышает допустимую;

ω – средняя частота пульсационных скоростей в потоке, л/с;

d – диаметр агрегатов, м;

$v_{\Delta x}$ – донная скорость, м/с;

$v_{\Delta \text{доп}}$ – донная допустимая скорость, м/с;

B – скорость почвообразования, т/м²;

t – время пропуска воды, мин;

X – расстояние до створа прекращения эрозии, м.

По данным Ю. П. Полякова, длина не эродируемого участка поливной борозды выражается формулой [97, 98]:

$$X_1 = A \cdot \left(1 - \frac{v_{\text{Доп}}^{7/3}}{49,15^{7/3} \cdot \Delta^{1/3} \cdot h^2 \cdot i^{7/6}} \right), \quad (33)$$

где $A = \frac{q \cdot t^2}{\rho \cdot n \cdot k_0}$;

A – длина добега струи, м;

q – удельный расход воды в голове борозды, л/с;

t – время полива, ч;

ρ – активный смоченный периметр борозды;

n – поправочный коэффициент к скорости поглощения, величина $n \geq 1$;

k_0 – средняя за первую единицу времени скорость просачивания воды м/с;

$v_{\text{Доп}}$ – донная допустимая скорость, м/с;

Δ – высота выступов шероховатости в поливной борозде, м;

h – глубина воды в начале борозды, м;

i – уклон борозды.

Смыв мелкозема за сезон, по данным Б. Ф. Камбарова, можно связать с величиной поливных струй, уклоном поля и стойкостью различных почвогрунтов к размыву эмпирической зависимостью вида [99]:

$$\mathcal{E} = \frac{(q \cdot i^{0.7})^3}{A} \quad (34)$$

или

$$g = A \cdot \mathcal{E} \cdot \frac{0.333}{i^{0.7}}, \quad (35)$$

где \mathcal{E} – полученный смыв почвогрунта, т/га в год;

q – расход, л/с;

i – уклон борозды;

A – показатель стойкости почв, величина различная для разных почвогрунтов.

Таким образом, к основным факторам, обуславливающим явления ирригационного стока, можно отнести противоэрозионную устойчивость почвогрунтов, уклоны поливных борозд, расход воды и длину борозд [84, 86].

2.5.2 Формирование поверхностного стока при поливе дождеванием

При дождевании эрозия почв возникает из-за подачи воды с интенсивностью, превышающей интенсивность впитывания воды почвой. При этом, как и в случае полива по бороздам, впитывающая способность почвы не является постоянной в течение полива. В начале полива интенсивность впитывания равна интенсивности дождя. Далее, в результате насыщения почвы влагой, нарушения почвенной структуры, набухания и уплотнения почвы, интенсивность впитывания уменьшается и приближается к установившемуся значению [100, 101]. Чем больше энергия дождя, тем быстрее уменьшается впитывающая способность почвы. В связи с этим было бы целесообразно проводить полив с постоянно уменьшающейся интенсивностью. К сожалению, большинство ныне существующих дождевальных машин и установок воспроизводит дождь постоянной интенсивности в течение всего полива. Регулировать интенсивность дождя непосредственно во время полива можно, например, при использовании дождевальных машин ДДН-70 и КИ-50, применяя сменные сопла. При использовании ДДА-100М и ДДА-100МА эффект уменьшения интенсивности поступления осадков достигается за счет изменения скорости перемещения машины.

Основными элементами противоэрозионной технологии полива дождеванием являются продолжительность полива до образования луж, допустимая поливная норма и допустимая интенсивность дождевания. Эти параметры зависят от свойств почвы, характера растительности, энергетических параметров дождя [75, 77, 83, 100].

Под допустимой нормой полива $M_{\text{доп}}$ понимается слой воды, кото-

рый распределяется в течение всего полива с заданной интенсивностью дождя без образования луж. Она рассчитывается по уравнению [100]:

$$M_{\text{доп}} = r \cdot t_0. \quad (36)$$

где $M_{\text{доп}}$ – допустимая поливная норма, м³/га;

r – интенсивностью дождя, мм/мин;

t_0 – время полива, мин.

В таблице 10 приведены для примера допустимые поливные нормы при орошении некоторых почв среднеструйной дождевальнoй техникой. Допустимая норма полива понижается при переходе от более гумусированного и водопроницаемого типичного мощного чернозема к менее гумусированной и менее проницаемой среднесмытой темно-серой лесной почве, а также при увеличении крутизны склона.

Таблица 10 – Допустимые нормы полива сельскохозяйственных культур на почвах Молдавии различными дождевальными машинами, м³/га [101]

Почва	Уклон	«Днепр», $r = 0,32$ мм/мин, $d_k = 1,8$ мм	«Фрегат», $r = 0,25$ мм/мин, $d_k = 2,0$ мм	ДШ-25/300 $r = 0,12$ мм/мин, $d_k = 1,5$ мм
Темно-серая лесная среднесмытая тяжело- суглинистая	0-0,03	260	250	380
	0,03-0,05	230	220	330
	0,05-0,07	200	190	290
Чернозем оподзолен- ный слабосмытый тя- желосуглинистый	0-0,03	380	360	550
	0,03-0,05	330	310	470
	0,05-0,07	280	280	420
Чернозем типичный мощный тяжелосугли- нистый	0-0,03	460	440	700
	0,03-0,05	380	370	580
	0,05-0,07	350	338	540

Из данных таблицы 10 следует, что интенсивность дождевания оказывает сильное влияние на величину допустимой нормы полива. Уменьшение интенсивности дождя в 2 раза – от 0,25 до 0,12 мм/мин при одновременном уменьшении среднего диаметра капель с 2,0 до 1,5 мм – повышает поливную норму примерно в полтора раза.

Это связано с уменьшением энергии воздействия дождевых капель на поверхность почвы, приводящим к лучшему сохранению структуры поч-

вы и крупных водопроводящих пор в ее поверхностном слое. Уменьшение диаметра капель искусственного дождя приводит к снижению скорости их падения и увеличению допустимых поливных норм при постоянной интенсивности дождя. Причем уменьшение диаметра капель в два раза приводит к увеличению допустимой поливной нормы в 1,5-2,5 раза [97, 101].

Дождевальные машины по удельной мощности создаваемого ими дождя можно расположить в следующем порядке:

ДШ-25/300, «Кубань»	0,04 Вт/м ²
«Фрегат», «Волжанка»	0,09-0,1 Вт/м ²
КИ-50 «Радуга», «Днепр»	0,14 Вт/м ²
ДДН-70	0,19 Вт/м ²

Последний из перечисленных агрегатов оказывает наиболее разрушительное воздействие на почву, поэтому его использование следует ограничить пастбищами и сенокосами.

Существенное влияние на величину допустимой поливной нормы оказывает растительность. Надземная часть растений уменьшает энергию воздействия капель дождя на поверхность почвы. Величина отношения допустимых поливных норм на участках с растительностью и без нее постепенно возрастает по мере увеличения проективного покрытия растительного покрова.

А. Н. Костяков рекомендовал следующие величины допустимой интенсивности дождевания [15, 100]:

на тяжелых по гранулометрическому составу почвах	0,1-0,2 мм/мин
на средних	0,2-0,3 мм/мин
на легких	0,5-0,8 мм/мин

При этом диаметр капель не должен превышать 1-2 мм в зависимости от водопроницаемости почв.

Помимо водопроницаемости допустимая интенсивность дождя зависит также от режима работы дождевальной машины или аппарата. Для машин, работающих в движении, допустимые интенсивности меньше, чем для короткоструйных позиционных аппаратов (таблица 11) [100, 102].

Таблица 11 – Допустимая интенсивность дождя при поливных нормах 300-500 м³/га [102]

Почва	Короткоструйный позиционный аппарат	Вращающийся аппарат и работающий в движении
Черноземы легкосуглинистые	0,8-1,0	0,30-0,35
Черноземы средне- и тяжелосуглинистые	0,5-0,8	0,22-0,27
Каштановые и дерново-подзолистые суглинистые почвы	0,4-0,6	0,12-0,20
Сероземы светлые среднесуглинистые	0,3-0,5	0,07-0,15

Это связано с тем, что машины, работающие в движении, создают дождь очень высокой мгновенной интенсивности, во много раз большей, чем средняя за весь период дождевания.

В связи с этим в момент прохождения крыла машины над поверхностью почвы дождевые капли разрушают поверхность и, следовательно, уменьшают водопроницаемость гораздо сильнее, чем позиционные аппараты. Интенсивность дождя, создаваемого различными дождевальными машинами, приведена в таблице 12.

Таблица 12 – Интенсивность дождя, создаваемого дождевальными машинами

КИ-50 «Радуга» (Комплект ирригационный со среднеструйными аппаратами «Роса-3»)	0,23 мм/мин
ДДА-100МА (Двухконсольный дождевальный агрегат с короткоструйными насадками дефлекторного типа)	0,07-0,33 мм/мин
ДДН-70 (Дождеватель дальноструйный навесной)	0,41 мм/мин
ДКШ-64 «Волжанка» (Дождевальный самоходный трубопровод со среднеструйными аппаратами КД-10)	0,27 мм/мин
ДМУ «Фрегат»	0,28 мм/мин
ДФ-120 «Днепр»	0,29 мм/мин

Имеющиеся данные свидетельствуют, что серийные дождевальные машины (таблица 12) способны распределять большие поливные нормы без образования стока (таблица 11) только на легких почвах. На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава допустимая поливная норма может оказаться слишком малой для использования в производстве, поэтому в этих случаях следует предусмотреть мероприятия по ее повышению [100, 102].

Таким образом, разнообразие перечисленных выше рекомендаций

в отношении поверхностного стока ирригационных вод вызвано наличием целого ряда факторов его обуславливающих. Поэтому необходимо конкретизировать условия, обуславливающие ирригационный сток почвогрунтов. Технику полива необходимо выбирать с учетом противоэрозионной устойчивости почвы.

2.6 Основные факторы, вызывающие наводнения

Основные причины наводнений – обильный и сосредоточенный приток воды при таянии снега, продолжительные ливни, загромождение русла реки льдом или бревнами при сплаве леса (заторы), закупоривание русла реки внутренним льдом (зажоры), цунами, прорыв гидротехнических сооружений, оползни и обвалы в долинах водотоков, внезапный выход на поверхность обильных грунтовых вод [103].

Основными характеристиками наводнения являются уровень подъема, расход и объем воды, площадь затопления, продолжительность, скорость течения и подъема уровня воды, состав водного потока и некоторые другие.

Ущерб, причиняемый наводнением, связан с целым рядом поражающих факторов, важнейшими из которых являются [104, 105]:

- быстрый подъем воды и резкое увеличение скорости течения, приводящие к затоплению территории, гибели людей и скота, уничтожению имущества, сырья, продовольствия, посевов, огородов и т. п.;

- низкая температура воды, пребывание в которой людей может приводить к заболеваниям и гибели;

- снижение прочности и срока службы жилых и производственных зданий;

- смыв плодородной почвы и заиливание посевов.

Прогнозируемое потепление климата и неизбежный рост дальнейшего освоения речных долин несомненно приведут к увеличению повторяемости и увеличению разрушительной силы наводнений. Поэтому неот-

ложной задачей является разработка действенных мер предотвращения наводнений и защиты от них, поскольку это в 50-70 раз уменьшит затраты на ликвидацию последствий от причиненных ими бедствий.

2.7 Влияние факторов на подтопление земель

Одним из основных факторов подтопления земель являются паводковые воды и атмосферные осадки, их величина, характер, периодичность выпадения и распределение по сезонам [106-108].

Подтопление имеет место в основном в весенний, реже в осенний периоды. Интенсивность подтопления бывает выше при одновременном влиянии быстрого таяния снегового покрова и выпадающих атмосферных осадков, а также в последующем медленном нарастании температур.

Меньшая интенсивность подтопления наблюдается при сравнительно длительном сроке таяния снегового покрова, небольшом количестве атмосферных осадков при резко увеличивающейся температуре воздуха и скорости ветра, что способствует быстрому испарению осадков.

Наличие большой водосборной площади лиманообразного понижения (до 700 км²), отсутствие естественной дренированности поверхностных вод и многочисленные макро- и микропонижения на поверхности лимана способствуют образованию подтопленных участков площадью от 0,2-0,5 до 2,0-3,0 км² [107, 109].

Грунтовые воды, формирующиеся в пределах лимана, не имеют естественной дренированности и часто в весенний период, в связи с высоким уровнем их залегания, выклиниваются на поверхность в пониженных элементах рельефа и способствуют затоплению полей.

Высокая плотность почв, незначительные значения коэффициента фильтрации, наличие слитых горизонтов на глубине 0,3-0,5 м способствуют скоплению атмосферных осадков и длительному их стоянию на поверхности (от 10-15 дней до 1-2 месяцев), что способствует деградации почв [108, 110].

Основная сложность мелиорации избыточно увлажненных почв заключается в том, что в среднем на глубине 30-40 см залегает плотный слабопроницаемый, а порой и практически водоупорный горизонт. Атмосферные и паводковые воды застаиваются на этом горизонте, нисходящая фильтрация влаги здесь подавлена и осуществляется по редким трещинам, порам, корням растений [109, 111].

Для защиты сельскохозяйственных земель от подтопления применяют дренаж. Тип дренажа выбирают на основе анализа природно-хозяйственных условий территории [112, 113].

Расчет модуля дренажного стока выполняется по уравнению водного баланса [109, 114]:

$$q = \frac{H_b + \mu a + \sum H_o - et}{t}, \quad (37)$$

где q – модуль дренажного стока, м/сут;

H_b – слой воды, оставшийся на поверхности после стока снеговых и дождевых вод, м;

μ – коэффициент водоотдачи;

a – норма осушения, м;

$\sum H_o$ – осадки, выпавшие за расчетный период ($t = 10$ суток);

e – суточное испарение, м.

Коэффициент водоотдачи для суглинистых грунтов осушаемой территории определяется по формуле Н. П. Эркина [109, 114]:

$$\mu = 0,56 \sqrt{K} \sqrt[3]{H_d}, \quad (38)$$

где K – коэффициент фильтрации, м/сут;

H_d – напор над дренажной трубой, м.

Коэффициент фильтрации определяется по методу Н. С. Нестерова [109, 114] и рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{Q \cdot h}{F_o \cdot (z + Hg + h)}, \quad (39)$$

где K – коэффициент фильтрации, м/сут;

Q – расход воды, м³/сут;

h – глубина промачивания воды от дна кольца, м;

F_0 – площадь дна кольца, м²;

z – высота слоя воды в кольце, м;

Hg – действующая капиллярность.

В качестве приходных элементов баланса грунтовых вод следует рассматривать атмосферные осадки, возможность подпитывания грунтовых вод из сбросных каналов, а также из нижезалегающего водоносного горизонта. Основные расходные элементы – это наличие естественной дренированности, испарение и возможность оттока грунтовых вод в нижезалегающий водоносный горизонт, а также сбросными каналами [106, 111, 112].

Максимальные значения уровня грунтовых вод наблюдаются в весенний период, когда в питании грунтовых вод участвуют как паводковые воды, образующиеся в результате таяния снега, так и атмосферные осадки в виде дождей. При этом величина пика подъема грунтовых вод не всегда соответствует пику атмосферных осадков. Большое влияние на значительное повышение уровня грунтовых вод и на подтопление территории в весенний период оказывают величина промерзания почвенного покрова и характер изменения температурного режима. В летний период уровень грунтовых вод снижается. Выпадающие летние атмосферные осадки даже ливневого характера, в связи с большим испарением и транспирацией сельскохозяйственных культур, оказывают кратковременное влияние на повышение уровня грунтовых вод [107-109].

Для эффективного освоения тяжелых подтопленных почв необходимо применение дополнительных агрометеорологических мероприятий по отводу поверхностных вод, переводу поверхностного стока во внутрипочвенный и улучшению водно-физических свойств почв.

Таким образом, выявленные факторы, способствующие подтоплению земель, позволяют разработать мероприятия по предотвращению подтопления почв.

3 Мероприятия по предупреждению поверхностного стока при снеготаянии и дождях

Выбор мелиоративных мероприятий не имеет однозначного решения, т. к. всегда можно подобрать несколько различных вариантов, которые обеспечили бы потери от поверхностного стока ниже допустимого уровня.

Предупреждение или регулирование поверхностного стока может быть достигнуто путем повышения водопроницаемости почв, создания на поверхности склона противоэрозионных мезо-, микро- и наноформ рельефа, препятствующих или безопасно отводящих стоков, использование растительности и других средств для перехвата части стока, рассредоточением потока воды [4, 7, 9, 115].

Составными элементами системы мелиоративных мероприятий в условиях расчлененного рельефа является противоэрозионная организация территории, агротехнические, лесомелиоративные, лугомелиоративные приемы и простейшие гидротехнические сооружения.

3.1 Противоэрозионная организация территории

При планировании системы мелиоративных мероприятий исходят из того, что в ходе процессов рельефообразования, а также под воздействием природных и антропогенных факторов на водосборных бассейнах и их склонах сложились разные почвенно-климатические условия.

В приводораздельной части склонов крутизной до $2,5^\circ$ почвы преимущественно несмытые и слабосмытые. Процессы эрозии здесь протекают слабо. Однако эта территория является ареной формирования стока, который, поступая на присетьевые участки склонов и в гидрографическую сеть, приводит к смыву почвы и размыву почвогрунтов. Здесь мелиоративные мероприятия должны быть направлены на задержание воды на месте или безопасный сброс в зависимости от природной зоны [11, 14, 25, 115].

В присетьевой части образуется полоса средне- и сильносмытых

почв, характеризующихся пониженным содержанием гумуса, ухудшенными водно-физическими и химическими свойствами и сильной податливостью эрозии. Здесь в основном протекают процессы смыва (иногда и размыва) как за счет собственного стока, так и за счет подтока с вышележащей территории [36, 44, 115].

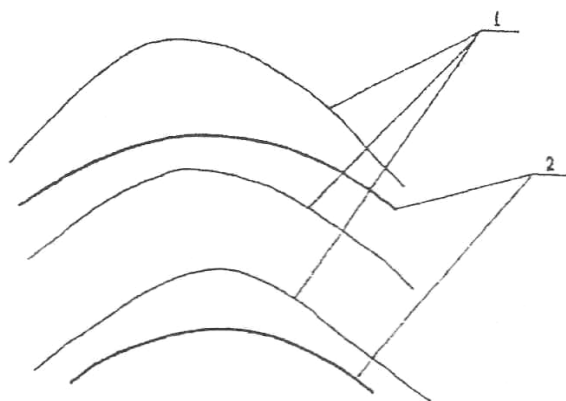
В гидрографической сети протекают в основном процессы размыва и смыва, но имеются несмытые, слабо- и среднесмытые почвы, а также намывные почвы.

Анализ противоэрозионной эффективности отдельных приемов и их сочетаний в целом по стране показал наиболее высокий эффект лесных полос в сочетании с простейшими гидротехническими сооружениями (валы, канавы, запруды) [36, 116, 117]. Таким образом, сущность противоэрозионной организации территории заключается в регулировании поверхностного стока, обработке почвы и посевах поперек склона.

В основе контурной организации территории лежит распределение земель по крутизне склонов и интенсивности проявления эрозионных процессов. Для этой цели используют картограммы крутизны склонов, эродированности почв и др.

М. И. Лопырев [118] предложил при прямолинейно-контурном размещении линейных элементов прямолинейные границы полей (рабочих участков) намечать вдоль основного направления горизонталей, причем на отдельных отрезках направление границ может быть изменено в соответствии с изменением направления горизонталей. При такой организации территории между изломами границ создаются условия для прямолинейной обработки. Способ обычно применяют на рассеивающем типе склонов с крутизной до 3° .

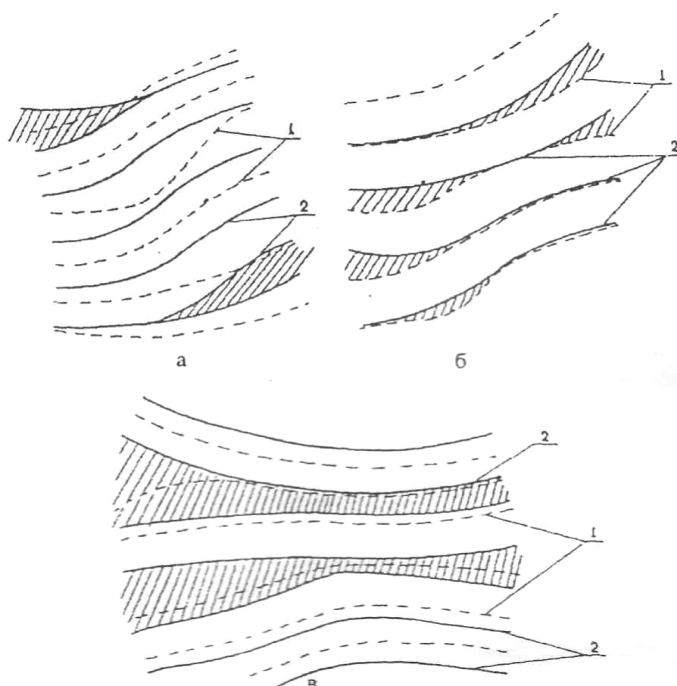
При контурно-параллельной организации границы участков проектируются параллельно одной горизонтали, усредненной для данного массива пашни (рисунок 2).



1 – горизонтали; 2 – линейные элементы

Рисунок 2 – Контурно-параллельное размещение линейных элементов

Этот способ применяют на сложных формах рельефа. К его недостаткам относится то, что он обеспечивает правильную обработку лишь вблизи этой горизонтали, а в других местах обработка будет вестись под углом к горизонталям. При контурном размещении линейных элементов границы участков и обработка проектируют строго по горизонталям (рисунок 3, *a*).



a – размещение линейных элементов с выделением клиньев при обработке на края или в середину поля; *б* – размещение линейных элементов строго по горизонталям с образованием при обработке замкнутых огрехов и клиньев; *в* – размещение линейных элементов с контурно-буферной системой возделывания сельскохозяйственных культур; 1 – горизонтали; 2 – линейные элементы

Рисунок 3 – Контурное размещение линейных элементов

Возможности применения этого приема ограничены, и хотя способ обеспечивает наилучшие условия для задержания стока и уменьшения смыва почвы, из-за непараллельности горизонталей между загонами образуются остаточные клинья и глухие борозды. В этом случае возможно контурное размещение линейных элементов с выведением корректирующих полос при обработке на края или в середину поля (рисунок 3, б). Контурное размещение границ может дополняться проектированием внутри полей и рабочих участков буферных полос из многолетних трав (рисунок 3, в) [36, 42, 119]:

Допустимая протяженность линейных элементов вдоль склона или под углом к горизонталям определяется с помощью данных, приведенных в таблицах 13 и 14 по самым эрозионно-опасным агрофонам или культурам [119].

Таблица 13 – Группировка почв по устойчивости к размывающему действию воды

Группа почв	Тип и подтип почв	Предельно допустимая скорость стока, м/с
I	Дерново-подзолистые, светло-серые, серые, темно-серые почвы	0,12
II	Черноземы мощные выщелоченные и черноземы оподзоленные, черноземы обыкновенные, темно-каштановые почвы	0,17
III	Черноземы мощные, черноземы мощные деградированные	0,20

Таблица 14 – Шкала допустимой длины стока по рабочему направлению

Уклон, град.	Пар чистый, сахарная свекла, кукуруза на зерно			Подсолнечник, кукуруза на зеленый корм и силос			Озимые, яровые зерновые, пар занятый (вика-овес)		
	Группа почв								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	101	204	283	136	272	378	207	416	577
1,0	63	126	175	84	168	233	127	256	355
1,5	50	100	138	66	133	184	101	203	281
2,0	43	83	120	58	116	160	83	176	244
2,5	39	79	ПО	52	105	145	80	160	222
3,0	36	74	10	49	98	136	75	150	208
3,5	34	70	97	46	93	129	71	142	197
4,0	33	67	98	44	89	123	68	136	189

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4,5	32	65	90	43	86	120	66	132	183
5,0	31	63	87	42	84	117	64	129	178
5,5	30	62	86	41	82	110	63	125	174
6,0	30	61	84	40	81	112	61	123	170
6,5	29	60	83	39	79	ПО	60	121	168
7,0	29	59	82	39	78	108	60	119	165
7,5	28	58	80	38	77	107	59	117	163
8,0	28	58	80	38	76	106	58	117	161
8,5	28	57	79	37	75	105	58	115	161
9,0	28	56	78	37	75	103	57	114	158
9,5	28	56	77	37	74	103	57	113	157
10,0	27	55	77	37	73	102	56	112	156

Таким образом, основным положением противоэрозионной организации территории является требование к размещению линейных элементов и проведение агротехнических мероприятий поперек движения поверхностного стока.

3.2 Агротехнические приемы

Одним из компонентов мелиоративных мероприятий являются агротехнические приемы. Они способны обеспечить полезную отдачу еще в первый год своего применения. К ним относятся почвозащитная обработка и способы посева, удобрение и снегозадержание и др. [21, 24, 120, 121].

С помощью обработки почвы можно повысить водопроницаемость почв, создать на полях водозадерживающий микрорельеф, придать поверхности пашни более устойчивое к стоку состояние, рассеять концентрированный поверхностный сток, в случае необходимости отвести его в эрозивно-безопасное место. Большинство из этих приемов являются влагосберегающими, так как с их помощью улавливают осадки на месте выпадения, переводят их в более глубокие слои почвы, уменьшают испарение.

К общим почвозащитным приемам относятся вспашка, культивация, посев поперек склона или по горизонталям рельефа; выбор необходимой, сообразно конкретным условиям, глубины обработки почвы; исключение

операций, связанных с выравниванием поверхности почвы при проведении поздних осенних обработок [4, 11, 14, 122].

Специальные почвозащитные приемы выполняются не только специальными средствами механизации, но и орудиями общего назначения. Обычный плуг ПН-4-35 можно использовать для напашки распылителей стока или проведения фигурного валкования.

Специальные агротехнические приемы [13, 22, 120, 122] направлены на создание противэрозионного микрорельефа на поверхности пашни (лункование прерывистое, а также извилистое или фигурное бороздование, создание микролиманов, обвалование простое и фигурное, ячейкование); на повышение водопроницаемости почв (щелевание, кротование, почвоуглубление, обработка чизелем, глубокое полосное рыхление); на придание поверхности пашни устойчивой поверхности (микрокулисная обработка, мульчирование, обработка пашни полимерами, сохранение на поверхности почвы пожнивных остатков); на обеспечение задержания снега на полях (посев кулис, поделка снежных валиков, полосное уплотнение).

В среднем специальные агротехнические приемы обеспечивают задержание 10-20 мм поверхностного стока.

3.3 Агролесомелиоративные насаждения

Системы защитных лесных насаждений на водосборах формируются из лесных полос (полезащитных (ветроломных), стокорегулирующих, прибалочных, приовражных, приречных и др.) и массивных насаждений (овражно-балочных, по берегам водоемов и рек, на песчаных массивах) [17, 18, 41, 123].

Задержание поверхностных вод на пахотных землях осуществляется системой стокорегулирующих лесных полос.

В целях более полного поглощения поверхностного стока стокорегулирующие лесные полосные насаждения совмещают с валами и канавами. Канавы устраивают в нижнем междурядье лесополос. На ложбинистых

склонах по нижней опушке лесополос или в нижнем междурядье устраивают прерывистую канаву с валом, доводя рабочую отметку валов до уровня межложбинных повышений. По верхней опушке лесополос уничтожают напаша и устраивают распылители стока.

Конструкция стокорегулирующих лесополос должна быть оптимальна для каждой природной зоны. Во всех природных зонах в местах прохождения стока (по ложбинам) в лесных полосах увеличивают долю кустарников, формируя на этих участках плотную конструкцию насаждения [41, 123].

Противоэрозионные защитные лесонасаждения на присетьевом и гидрографическом фондах включают прибалочные, приовражные, береговые, пойменные лесополосы, массивные и куртинные насаждения в оврагах, балках на берегах рек, каменистых землях и др.

Прибалочные лесополосы проектируют в увязке с использованием площади балочных склонов. Насаждения вдоль бровок балок, где есть угроза размыва берегов (например, при изреженном травостое или его коренном улучшении), создают шириной 9-12 м ажурной (по ложбинам стока – плотной) конструкции. По нижней опушке лесополосы обваловывают. Приовражные лесополосы во всех природных зонах создают вдоль бровок крупных оврагов, не подлежащих выполаживанию или облесению [17, 18, 35, 124].

Таким образом, проектирование лесомелиоративных насаждений в комплексе с другими мелиоративными мероприятиями должно обеспечивать снижение поверхностного стока до допустимых пределов с учетом специфики размещения и взаимодействия разных элементов в агролесоландшафте.

3.4 Лугомелиоративные приемы

Создание экологически устойчивых агроландшафтов предусматривает рациональное использование земель гидрографического фонда.

Эти земли испытывают наибольшую нагрузку, так как через них

проходит сток воды со всей водосборной площади. Они в небольшой мере поражены оврагами и нуждаются в мелиорации не только с позиций повышения продуктивности земель, но и с позиций охраны рек и водоемов от транспортируемых через эти системы продуктов смыва. Кроме того, предупреждение оврагообразования, приостановление роста оврагов на этих землях сохранит от разрушения пашню на прилегающих к балочной сети склонах. По агроэкологическому состоянию земель гидрографического фонда можно судить о противоэрозионном устройстве территории пашни и в целом агроландшафта [61, 115, 125, 126].

В лесостепной, степной и сухой зонах земли гидрографического фонда занимают естественные кормовые угодья, отличающиеся большим разнообразием экологических условий, что связано с пестротой почвенного покрова и низким его плодородием.

В большинстве случаев это почвы различной степени эродированности, каменистые неполноразвитые, засоленные, солонцеватые. Природный травостой в результате выпаса скота сильно изрежен. Ухудшение травостоя кормовых угодий ведет к усилению поверхностного стока талых и дождевых вод. Поэтому мероприятия, направленные на улучшение и повышение продуктивности земель гидрографического фонда, являются не только одним из путей увеличения производства кормов, но и надежным средством защиты почв от смыва. Они осуществляются за счет снижения поверхностного стока [41, 61, 125].

Для повышения продуктивности сенокосов и пастбищ, а, следовательно, и противоэрозионной устойчивости, рекомендуется проводить поверхностное и коренное их улучшение. При поверхностном улучшении травостоя проводят дискование, подсев семян многолетних трав, вносят удобрения, на склонах балок перед уходом в зиму делают щелевание. Коренное улучшение предполагает зяблевую вспашку, если мы имеем на мелиорируемом участке достаточно мощный гумусовый слой, или безотвальное рыхление на маломощных и на почвах легкого гранулометрического состава.

ва. До этого проводят тщательную разделку дернины тяжелыми дисковыми боронами. Перед посевом почвы культивируют, боронуют, прикатывают.

Сотрудниками ВНИАЛМИ предложены критерии выбора способов улучшения травостоя при поверхностном и коренном улучшении мелиорируемых участков (таблица 15) [117].

Таблица 15 – Критерии выбора и содержание способов улучшения травостоя

Вид улучшения	Условия применения	Состав мероприятий
Поверхностное	На слабopоpажeнных овpагами балочных склонах крутизной до 20° при угнетенном состоянии травостоя и при наличии не менее 25 % ценных трав	Подготовка площади (расчистка кустарника, удаление кочек, засыпка промоин и др.), регулирование поверхностного стока, уход за дерниной и травостоем (боронование, уничтожение сорной растительности, подсев трав, снегозадержание, удобрение, щелевание и др.), лесомелиорация
Коренное	На эродированных склонах с деградированным травяным покровом и долей ценных трав менее 25 %	Регулирование поверхностного стока, планировка поверхности с уничтожением дернины, посев травосмеси, удобрение, лесомелиорация. На склонах крутизной 20° – предварительное террасирование
Самомелиорация и содействие ей	На сильноэродированных крутых склонах, каменистых, засоленных почвах	Регулирование поверхностного стока на водосборе, лесомелиорация, устройство очагов инспермации

При залужении участков плодородных земель ставится задача подобрать высокоурожайные травы и их смеси, способные быстро создавать густой травостой и прочную дернину, предохраняющую почву от смыва.

В лесостепной зоне высокую урожайность обеспечивают травосмеси из эспарцета песчаного и овсяницы луговой, костреца безостого и овсяницы луговой, костреца безостого и люцерны синегибридной и одновидового посева овсяницы луговой.

Для склонов южной экспозиции (среднесмытые почвы) целесообразно применять травосмесь, включающую эспарцет песчаный и кострец безостый, а на сильносмытых – одновидовой посев эспарцета песчаного. Для создания пастбищ в степной зоне состав травосмесей должен состоять из низовых поукосных и корневищных злаков, из бобовых – люцерна желтая.

Для сенокосов – верховые злаки и люцерна синегибридная. Для залужения переувлажненной части днищ балок рекомендуется использовать канареечник тростниковый, кострец безостый, бекманию, пырей ползучий, тимофеевку луговую, клевер белый и др. [25, 52, 127, 128].

Таким образом, мероприятия, направленные на улучшение и повышение продуктивности земель гидрографического фонда, являются не только одним из путей увеличения производства кормов, но и надежным средством защиты почв от смыва. Они осуществляются за счет снижения поверхностного стока.

3.5 Гидротехнические сооружения

Одним из направлений регулирования поверхностного стока является создание противоэрозионных гидротехнических сооружений. В качестве основных мероприятий применяются валы с широким основанием, водозадерживающие и водонаправляющие валы, валы-каналы и др.

Противоэрозионные гидротехнические сооружения проектируются в том случае, если остальные элементы почвозащитной системы не в состоянии предотвратить поверхностный сток на пашне и овражно-балочных землях. На пахотных склоновых землях они выполняют вспомогательную роль по сбросу временных потоков талых и ливневых вод. В борьбе с оврагообразованием, оползнями, селевыми потоками и русловыми процессами они являются основным средством, предотвращающим развитие смыва почвы [6, 12, 33, 100].

Гидротехнические сооружения характеризуются максимальной водорегулирующей способностью.

Гидротехнические сооружения, применяемые для защиты почв от эрозии (согласно СНиП П-К 3-62), относятся к V классу капитальности и рассчитываются на максимальные расходы и объемы стока 10 %-ной обеспеченности.

К простейшим гидротехническим сооружениям на пашне относятся

валы-террасы, канавы с валами, водоотводящие валы, накладные водоотводящие борозды и др. Они также применяются во взаимосвязи с другими противоэрозионными мероприятиями, и особенно с лесомелиоративными [6, 25, 61, 120, 128].

Валы-террасы – это долговременные земляные сооружения высотой 0,35-0,50 м с заложением откосов 1:10-1:12, размещают их на пашне с крутизной до 3-4°. По назначению они могут быть: горизонтальные (водозадерживающие) и наклонные (водорегулирующие). Первоочередное их применение целесообразно на водосборах, в сильной степени пораженных оврагами.

Валы-террасы оказывают положительное влияние на снегоотложение, влажность почвы, уменьшают глубину промерзания и сокращают смыв почвы. Сток талых вод уменьшается на величину от 1-8 до 45-60 мм [61, 115, 100, 120, 128].

Водопоглощающие валы с канавами – рассчитываются на 10 %-ную обеспеченность стока и размещаются на местности с максимальным приближением к горизонталям. В гидрологическом отношении они могут быть эффективнее, чем валы-террасы. Наиболее эффективны валы с канавами при создании их в стокорегулирующих и нижних междурядьях прибалочных и приовражных лесных полосах.

Валы-дороги устраиваются по границам полей или, при необходимости, рабочих участков. Более рационально сделать насыпь, откосы которой прилегают к полю и могут при их пологости заниматься возделываемой культурой, или производить залужение многолетними травами [61, 115, 100, 120, 128].

Наклонные водоотводящие борозды – применяют для защиты почв от смыва на нижележащих участках. Их устраивают по нижней границе или внутри полей через 50-100 м плугом с одним корпусом при уклоне по линии пахоты не более 1,0-1,5°.

Гидротехнические приемы на пашне, направленные на поверхностное водозадержание и увеличение водопоглощения (валы-террасы, каналы), обеспечивают уменьшение стока на 30-50 мм и смыв почвы в 8-12 раз. Однако все эти приемы имеют относительно высокую стоимость, они рассчитаны для контурно-мелиоративной организации.

При эксплуатации противоэрозионных гидротехнических сооружений высока вероятность возникновения аварийных ситуаций в результате размыва водотоков, заиления сооружений, подмыва их отдельных участков, обрушения откосов, образования оползней и др. Безаварийная эксплуатация таких сооружений обеспечивается при соответствующем расчетном запасе их прочности и устойчивости путем вложения соответствующих капитальных затрат [61, 115, 100, 120, 128].

Водозадерживающие валы применяются для закрепления склоновых береговых и вершинных оврагов с площадью водосборов от 3,0 до 25 га, находящихся в активной стадии роста.

Валы-плотины (валы-перемычки) применяются на склонах небольшой крутизны для закрепления растущих оврагов. При большой глубине оврагов проводится частичная засыпка и выполаживание их верхней части, а затем на ней строится вал-плотина на расстоянии 50-100 м ниже их вершины.

Водоотводящие валы используются для закрепления береговых и склоновых оврагов с водосборами до 4-6 га в случаях, если приовражные склоны по рельефу и по состоянию поверхности позволяют осуществить сброс стока на дно балок [61, 115, 100, 120, 128].

Засыпка и выполаживание оврагов позволяет не только закрепить овраги, но и полностью или частично их ликвидировать и вовлечь в продуктивное использование. Овраги крупных размеров (глубина 6-10 м) засыпаются частично, и производится выполаживание их откосов до крутизны 1-12°.

Ю. П. Поляков [97, 98] указывает, что противоэрозионные гидротехнические сооружения (ПГТС) значительно предотвращают сток талых и

ливневых вод, смыв почвы при ирригационной эрозии, оврагообразование и вынос биогенных веществ.

В процессе анализа основных видов противоэрозионных гидротехнических сооружений и их целевого назначения была составлена таблица 16.

Таблица 16 – Основные виды простейших ПГТС

Вид	Целевое назначение
Валы и каналы	Прекращение или задержание поверхностного стока, ослабление эрозии на нижележащих частях склонов и в пределах овражно-балочной сети
Водоотводные и водонаправляющие валы и каналы	Для отвода воды в хорошо задернованные ложбины, в насаждения или в головные сооружения
Валы-террасы с широким основанием	Для выполаживания и засыпки промоин, размывов, мелких склоновых оврагов
Головные (вершинные) сооружения: перепады врезные площадки, лотки-быстроходы	Задерживание и прекращение поступательного движения вершины оврага
Системы горизонтальных и наклонных террас	Устранение или ослабление стока и смыва, улучшение увлажнения склона и повышение продуктивности склоновых почв
Донные сооружения по руслам оврагов и балок	Прекращение дальнейшего размыва русла и преобразование донного профиля в систему горизонтальных площадок, образующих перепады, задерживающие продукты выноса и создающие условия для последующего облесения

При правильном применении на пашне комплекса компенсационных мероприятий в условиях контурно-мелиоративной организации территории агроландшафтов сток талых, ливневых и ирригационных вод будет сводиться к минимуму.

4 Мероприятия по предупреждению поверхностного стока ирригационных вод

Борьба с ирригационной эрозией имеет свои особенности в зависимости от способа полива. Ирригационная эрозия возникает от несоответствия между техникой и способом полива, с одной стороны, и наличием уклонов, с другой. Дождевание предполагает проведение мероприятий по снижению эрозии разбрызгивания дождевыми каплями, которая зависит от массы капель, скорости их падения, интенсивности и времени дождевания [97, 99, 129].

При поверхностных способах поливов на развитие процессов водной эрозии существенное воздействие оказывают нормы полива и скорости движения воды в бороздах и полосах.

4.1 Предотвращение смыва почв при поливе по бороздам

При поливе по бороздам расход воды в поливную борозду определяет скорость водного потока в ее головной части, а соотношение скорости водного потока и допустимой для данной почвы скорости обуславливает возникновение и развитие процесса стока ирригационных вод. Чем больше расход поливной воды, тем больше ее скорость, и тем больше вероятность возникновения смыва почвы. Влияние расхода воды на ирригационный смыв зависит также от уклона поливной борозды. Чем больше уклон, тем больше скорость движения воды и вероятность возникновения эрозии [96, 98, 130].

Большую роль в процессе ирригационной эрозии играет форма склона. Оптимальной для борьбы с ирригационной эрозией следует считать такой продольный профиль борозды, при котором максимальным расходам воды соответствуют малые уклоны, а минимальным расходам – большие. При поливе по бороздам этому условию в наибольшей степени удовлетворяют выпуклые склоны. Однако для полного исключения возможности выноса почвы за пределы поливной борозды необходимо, чтобы нижняя часть борозды имела вогнутую форму в целях аккумуляции наносов [77, 78, 131].

С увеличением продолжительности полива общий смыв почвы возрастает. Особенно большая мутность потока и наибольший смыв почвы наблюдаются в начале полива в головной части борозды. В первые минуты после пуска воды в борозде формируется так называемая «прорывная волна» со значительно большими скоростями потока. Кроме того, сухая почва дна борозды в результате быстрого напуска на нее воды превращается в бесструктурную, легко размываемую «массу» [81, 84, 86, 96, 132].

Свойства почв оказывают сильное влияние на интенсивность смыва

при поливе по бороздам. Почвы высокой водопроницаемости эродированы меньше, чем почвы пониженной водопроницаемости, так как на первых формируется меньший сток с меньшими скоростями потока, чем на вторых. Однако интенсивность смыва зависит и от противоэрозионной стойкости почв.

Смыв почв при поливе по бороздам не наблюдается, если скорость потока в головной части борозды не превышает допустимой, равной 0,8 размывающей скорости. При этом какое-то перемещение частиц с верхней части борозды в нижнюю все же происходит, однако средние для верхнего 50-метрового участка потери не превышают допустимой нормы ската [96, 99, 101, 130].

Бороздковый полив применяют при орошении хлопчатника, кукурузы, томатов, сахарной свеклы. Ширина междурядий на посевах этих культур составляет 0,6-0,9 м, а ширина водного потока в поливной борозде – до 0,2 м. Потери почвы за один полив могут достигать 100 т/га. В пересчете на единицу времени это гораздо больше, чем при дождевой эрозии или при эрозии во время снеготаяния. Объясняется это тем, что при поливе по бороздам количество воды, взаимодействующей с почвой в единицу времени, гораздо больше, чем при дождях или при снеготаянии [89, 91, 97, 99, 131].

Полив по полосам применяют при орошении трав и зерновых культур. Ширина полос измеряется единицами метров. Ширина водного потока при поливе по полосам равна ширине самих полос. Поэтому скорость таких потоков невелика и ирригационная эрозия выражена слабее, чем при поливе по бороздам [91, 96, 130].

При поливе по чекам ирригационная эрозия выражена еще слабее. Объясняется это тем, что уклон чеков очень мал, малы и скорость водного потока и связанная с ней величина смыва почвы.

Снижать скорость потока можно уменьшением расхода воды, повышением шероховатости поверхности, уменьшением уклона борозд.

4.1.1 Способы повышения допустимых расходов воды

Допустимые расходы воды в поливную борозду на крутых склонах часто оказываются настолько малыми, что по экономическим соображениям не могут быть реализованы на практике. Полив же более высокими расходами приведет к смыву почвы [82, 86, 96, 131]. В этих условиях предусматривают дополнительные противоэрозионные мероприятия, направленные на снижение скорости потока путем уменьшения уклона поливных борозд, повышения шероховатости дна борозды и увеличения водопроницаемости почвы или за счет повышения допустимой скорости в результате повышения водопропускности почвенной структуры и связности почвы.

4.1.2 Полив по «скошенным», «контурным» и извилистым бороздам

Уменьшение уклона поливных борозд возможно путем поделки так называемых «скошенных» борозд, нарезаемых под острым углом к горизонталям, и «контурных» борозд – по горизонталям. При этом требуется тщательная планировка поверхности во избежание обратных уклонов на отдельных участках борозд (таблица 17) [89, 91, 97, 100, 120, 128].

Таблица 17 – Допустимые расходы воды в скошенные борозды на сероземах, л/с

Уклон	Угол между направлением борозд и направлением склона, град.			
	0	30	45	60
0,04	0,03	0,03	0,04	0,07
0,01	0,13	0,17	0,23	0,35
0,005	0,29	0,39	0,53	0,81

В результате полива по извилистым микробороздам смыв почвы снижается в 20-30 раз, увеличивается равномерность увлажнения по ширине междурядий и длине борозды, уменьшается поверхностный сброс поливной воды.

При сложном рельефе необходимо поливать в направлении наибольшего уклона, чтобы избежать застаивания воды в понижениях и переливания ее в нижележащие борозды. В этих условиях регулирование укло-

на производится путем нарезки извилистых борозд шириной 3-6 см и глубиной 3-4 см.

4.1.3 Мульчирование поливных борозд

Мульчирование дна поливных борозд растительными остатками является эффективным приемом повышения допустимых расходов воды. Механизм его действия заключается в повышении шероховатости дна поливных борозд (таблица 18) [89, 91, 97, 100].

Таблица 18 – Допустимые расходы воды в поливные борозды на сероземах, мульчированные соломой, л/с

Доза соломы, ц/га	Коэффициент шероховатости	Уклон поливных борозд		
		0,04	0,01	0,005
0,0	0,012	0,03	0,13	0,29
0,5	0,014	0,04	0,22	0,49
1,0	0,016	0,06	0,28	0,64
1,5	0,019	0,07	0,35	0,78
2,0	0,021	0,09	0,43	0,98
2,5	0,024	0,11	0,52	1,18

В результате увеличивается глубина потока и периметр смоченности, что приводит к повышению инфильтрации воды в почву, уменьшению скорости потока и, следовательно, понижению его размывающей и транспортирующей способности.

4.1.4 Предварительное увлажнение верхней части борозды потоком малого расхода

Одним из перспективных приемов, направленных на повышение допустимой скорости потока, является увлажнение почвы в поливных бороздах перед поливом малыми расходами воды, позволяющее стенкам борозды увлажниться медленно, капиллярно. Основной полив проводится через некоторое время после предварительной замочки борозды. Достаточно увлажнить верхние 20-30 м и оставить борозду на ночь в таком состоянии, чтобы утром проводить основной полив более высокими расходами воды [89, 91, 97, 100, 120, 128, 130].

Положительное влияние предварительного увлажнения на водопрочность почвенной структуры зависит от его интенсивности и длительности, а также от свойств почвы.

Величина донной размывающей скорости при внесении полимера К-9 в дозах 10 и 30 кг/га (100 и 300 кг/га пасты) возрастает с 4,5 см/с до 16,7 и 22,0 см/с, соответственно, а величины выступов шероховатости дна с 0,2 до 2,0 и 3,5 мм. Допустимый расход при этом возрастает в 2-3 раза при дозе 10 кг/га и в 5-11 раз при дозе 30 кг/га. Для уменьшения расхода полимера можно ограничиться его применением лишь в верхней части поливных борозд либо сочетать его применение с другими приемами [89, 91, 97, 128].

4.2 Предупреждение формирования стока при орошении дождеванием

Агротехнические мероприятия по повышению поливной нормы можно разделить на две группы. Одна группа направлена на увеличение водоемкости и водопроницаемости пахотного слоя (глубокая вспашка, повышение водопрочности структуры, щелевание, мульчирование), другая – на повышение водозадерживающей способности поверхности почвы (прерывистое бороздование в междурядьях пропашных культур, лункование и создание микролиманов при влагозарядковых поливах). Из гидротехнических мероприятий на орошаемых землях используются валы-террасы с широким основанием и ступенчатые террасы [11, 13, 25, 70, 74, 100].

Наибольшее значение для предупреждения поверхностного стока при дождевании имеют организационно-хозяйственные мероприятия. Они включают проектирование и использование противоэрозионной технологии дождевания, предусматривающей полив до образования луж, а также выбор соответствующей дождевальной техники.

Среднеструйные дождевальные машины значительно различаются по величине подаваемой ими допустимой нормы полива. Еще большие различия наблюдаются при сравнении среднеструйной дождевальной машины («Волжанка») с дальнеструйными (ДДН-70, ДДН-100). Замена агре-

гата ДДН-100 дождевальная машина «Волжанка» позволяет повысить допустимую поливную норму почти в два раза (таблица 19) [41, 70, 100].

Таблица 19 – Допустимые поливные нормы, м³/га

Почва	«Волжанка»	ДДН-70	ДДН-100
Чернозем южный среднесуглинистый	370	210	190
Темно-каштановая легкосуглинистая	210	120	ПО
Каштановая среднесуглинистая	260	140	130
Светло-каштановая легкосуглинистая	110	60	60

Однако выбор той или иной дождевальной техники зависит не только от интенсивности создаваемого ею дождя, но и от ряда других факторов, в том числе крутизны склона. Например, агрегаты ДДА-100МА, ДДН-70 и КИ-50 «Радуга» применимы на склонах крутизной до 0,05, а «Волжанка», «Фрегат», «Днепр» – до 0,02.

Для предотвращения стока при поливе агрегатами ДДА-100МА и ДДА-100М целесообразно увеличивать насколько возможно длину бьефа, так как при этом увеличивается время возвращения дождевальной машины и, следовательно, пауза в подаче очередной порции воды на данный участок поля, а это приводит к уменьшению усредненной интенсивности дождя. Так, при позиционной работе ДДА-100М усредненная интенсивность дождевания достигает 2,5 мм/мин, а при длине рабочего бьефа 100 м – 0,5 мм/мин, при 200-300 м, соответственно, 0,25 и 0,17 мм/мин. Увеличение длины бьефа со 100 до 300 м позволяет повысить допустимую поливную норму почти в полтора раза. При использовании агрегата ДДН-70 можно уменьшить сток, применяя сменные сопла меньшего диаметра (35 или 45 мм вместо 55 мм), что позволяет снизить среднюю интенсивность дождя в 1,5 раза [75, 78, 82, 97, 98].

Эффективным методом повышения допустимых поливных норм является также прерывистое дождевание, существенно повышающее водопроницаемость почвы. При поливе установкой КИ-50 «Радуга» рекомендуется делить поливную норму на увеличивающиеся части в пропорции 1:2:3 и проводить полив с интервалом перед последующим поливом, равным продолжительности предыдущего полива [100, 121, 128]. По некоторым

данным, эффективно также предварительное увлажнение поверхности почвы малой нормой (несколько миллиметров). Наиболее рациональным способом орошения крутых склонов является капельное и синхронно-импульсное дождевание.

5 Противопаводковые мероприятия

Каждый год в различных регионах нашей страны происходят наводнения. Их последствия – значительный материальный урон и даже человеческие жертвы. Особо опасны высокие паводковые наводнения, вызванные таянием снегов в весенний период. Их причиной являются недостаточная пропускная способность находящихся ниже ручьев, рек, каналов, по которым уходит вода. Основная проблема заключается в том, что подобные водоемы сильно загрязнены и заилены, что вызывает большое гидравлическое сопротивление потоку. Поэтому при интенсивном таянии снегов значительно повышается уровень воды, нанося ущерб окружающим строениям. Предотвращения подобных событий помогут противопаводковые мероприятия [103-105].

5.1 Регулирование русла рек

Целью регулирования русла является изменение уровня воды и водопропускной способности водоема. Распространенные методы регулирования – углубление дна, расширение, очистка и спрямление русла реки.

Организация очистки русла реки – самый простой метод. Крупногабаритный донный сор, бурная растительность на дне и берегах снижают скорость течения, повышая этим уровень воды. Снижения же гидростатического трения можно добиться, удалив часть загрязняющих дно элементов. Следствием работы по очистке водоемов является заметное понижение среднегодового уровня вод [103, 105, 133].

Углубление русла – предпочтительный способ, он позволяет придать руслу оптимальную с точки зрения гидротехники форму. Качественное

дноуглубление позволяет произвести значительное регулирование уровня и скорости течения воды.

Работы по спрямлению русла проводятся на излишне извилистых участках рек для повышения скорости течения и предотвращения заиления дна.

5.2 Работы по разрушению льда

Ледовые заторы, образующиеся на внутренних водных путях, способны вызвать серьезные разрушения и наводнения на прилегающих территориях. Скопления льда обычно происходит в местах поворота русел рек, перед мостами и гидросооружениями, нанося серьезный материальный ущерб.

Ранний взлом льда на отдельных участках водоемов предотвратит ледовые заторы [103, 130, 133].

Обычно для нарушения ледовых полей применяются следующие методы:

- использование взрывчатых веществ;
- резка и скалывание льда;
- механизированное разрушение льда.

5.3 Очистка водоемов

Очистка водоемов – работы, направленные на устранение из русла водоемов ила, гниющей растительности, донного сора, затопленных предметов, для создания благоприятной водной среды и повышения эстетической привлекательности территории.

Производство работ по очистке прудов и озер может производиться несколькими методами [101, 103, 104, 133]:

- вручную, когда возможно удаление ила и донного сора после осушения с применением ручного труда. Применяется при очистке озер малых размеров, прудах с затрудненным подходом для техники, малых участках акваторий;

- канатно-скреперным способом с использованием лебедок и трелевочных машин. Используется на небольших водоемах и малых реках;
- с применением стандартной механизации: экскаваторов на колесном и гусеничном ходу, бульдозеров, грузоподъемных механизмов и прочей техники, широко применяемой в строительстве;
- с привлечением специализированной механизации: техники на болотном ходу, специализированных плавающих амфибий. Возможно применение на всех типах водоемов;
- средствами технического флота: плавкранами, плавучими манипуляторами, судами-тралами, землечерпальными снарядами различных видов. Данный метод обычно используется при работе на реках, протоках, затоках, водохранилищах, то есть очистке акваторий открытого типа;
- способом гидромеханизации с использованием землесосных земснарядов, эжекторных машин. Применяются на всех типах водоемов, при необходимости транспортировки донных отложений на расстояние с помощью трубопроводов.

Отдельную роль при работах по очистке прудов и рек занимают земснаряды землесосного типа, так как метод гидромеханизации позволяет избежать затрат на осушение водоема, аренду самосвалов и прочей строительной техники [104, 127, 133].

Часто очистка акваторий и водоемов закрытого типа от донных отложений проводится вместе с дноуглублением, прокосом камыша и берегоукрепительными работами.

5.4 Удаление донного сора бытового и промышленного значения

Промышленные и бытовые отходы отравляют воду, насыщая ее тяжелыми металлами, нитратами, продуктами гниения. Особо вреден мусор, содержащий в себе нефтепродукты, которые образуют тонкую пленку на поверхности водоема и предотвращают насыщение ее кислородом.

Очистка может производиться вручную или механизированным пу-

тем. Ручной способ очистки глубоководных зон может быть организован с привлечением водолазов и дайверов. Для механизированной очистки привлекается самая разнообразная техника и механизмы – ручные и электрические лебедки, автокраны, экскаваторы, трелевочные машины, бульдозеры, трактора, плавкраны, специальные машины-амфибии [92, 102, 133].

5.5 Покос камыша и водорослей

Покос водорослей и камыша на всей площади водоемов важно проводить периодически, по заранее спланированному графику. Удаление камыша и водорослей может производиться вручную или с применением механизированных косилок. Особенно хорошо с подобной работой справляется современная малогабаритная амфибия Труксор, имеющая в своем арсенале гидравлическую косилку и грабли для сбора скошенной растительности. Подобная амфибия легко справляется с кустовыми зарослями, камышом, рогозой и прочей растительностью. Лезвия механизированной косилки способны быстро выполнять покос на территориях большой площади до глубины 2,5 м. Это позволяет значительно снизить стоимость производства работ по удалению водорослей, камыша, рогоза и прочей растительности [103, 105, 133].

5.6 Берегоукрепительные работы

Берегоукрепление можно разделить на капитальное и декоративное. Капитальное берегоукрепление связано с использованием специальных технологий и материалов, гарантирующих максимальный эффект при защите прибрежной зоны. Это применение гидротехнических сортов бетона, габионов, шпунтов, специальных объемных железобетонных конструкций. Так же возможно наращивание береговой территории методом отсыпки грунтом и гидронамывом [92, 103, 105, 133].

Таким образом, самые распространенные способы защиты от паводков – это удаление водорослей и растительности из русла, очистка водоема

от иловых отложений и устранение крупногабаритных затопленных предметов. Обычно мероприятий достаточно для предотвращения паводка малой и средней интенсивности. Если же весенние наводнения являются серьезной проблемой, то необходимо проведение дноуглубительных работ. При проведении необходимых мероприятий паводковая вода будет вовремя уходить, сводя к минимуму риск нанесения ущерба.

Заключение

Научный аналитический обзор литературных источников показывает, что за счет разработки и освоения мелиоративных компенсационных мероприятий, направленных на снижение поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод, можно в значительной степени снизить объемы стока и наполняемость естественных водотоков (рек), приводящих их к переполнению, затоплению и подтоплению огромных территорий.

В результате анализа установлены закономерности формирования поверхностного стока и предложены пути решения проблемы за счет широкого освоения мелиоративных мероприятий по регулированию поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод.

На основании изучения литературных источников будут разработаны методические указания по назначению компенсационных мелиоративных мероприятий, направленных на снижение поверхностного стока талых, дождевых и ирригационных вод с земель сельскохозяйственного назначения, способствующих снижению затрат на противопаводковые мероприятия и вероятности подтопления и затопления территорий.

Список использованной литературы

- 1 Безднина, С. Я. Экологические основы водопользования / С. Я. Безднина. – М.: ВНИИА, 2005. – 224 с.
- 2 Волосухин, В. А. О прогнозе водности рек Южного Федерального округа в весенне-летний период 2004 г. / В. А. Волосухин // Проблемы и перспективы развития мелиорации, водного и лесного хозяйства: сб. науч. тр., посвященный 75-летию Россельхозакадемии. – М., 2004. – С. 18-19.
- 3 Литвин, Л. Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л. Ф. Литвин. – М.: Академкнига, 2002. – 255 с.
- 4 Кузнецов, М. С. Эрозия почв лесостепной зоны центральной России: монография / М. С. Кузнецов, В. В. Демидов. – М.: ПОЛТЕКС, 2002. – 186 с.
- 5 Гудзон, Н. Охрана почвы и борьба с эрозией / Н. Гудзон. – М.: Колос, 1974. – 304 с.
- 6 Мирцхулава, Ц. Е. Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1970. – 239 с.
- 7 Волков, С. Н. Научные основы землеустройства: учеб. пособие / С. Н. Волков, В. В. Косинский. – М.: ГУЗ, 1995. – 115 с.
- 8 Бараев, А. И. Почвозащитное земледелие. Избранные труды / А. И. Бараев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 383 с.
- 9 Заславский, М. Н. Почвозащитное земледелие / М. Н. Заславский, А. Н. Каштанов. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 207 с.
- 10 Заславский, М. Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия: учеб. для географ. и почв. спец. вузов / М. Н. Заславский. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с.
- 11 Заславский, М. Н. Эрозия почв / М. Н. Заславский. – М.: Мысль, 1962. – 245 с.
- 12 Брауде, Д. И. Эрозия почв, засуха и борьба с ними в ЦЧО / Д. И. Брауде. – М.: Наука, 1965. – 140 с.
- 13 Моргун, Ф. Т. Почвозащитное земледелие / Ф. Т. Моргун,

Н. К. Шикула, А. Г. Тарарико. – Киев: Урожай, 1993. – 239 с.

14 Ганжара, Н. Ф. Почвоведение / Н. Ф. Ганжара. – М.: Агроконсалт, 2001. – 392 с.

15 Костяков, А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 622 с.

16 Арманд, Д. Л. Наука о ландшафте / Д. Л. Арманд. – М.: Мысль, 1975. – 288 с.

17 Кузник, И. А. Агролесомелиоративные мероприятия, весенний сток и эрозия почв / И. А. Кузник. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 220 с.

18 Басов, Г. Ф. Гидрологическая роль лесных полос / Г. Ф. Басов, М. Н. Грищенко. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 201 с.

19 Небольсин, С. И. Элементарный поверхностный сток / С. И. Небольсин, П. П. Надеев. – М. – Л.: Гидрометеиздат, 1937. – 64 с.

20 Сухарев, И. П. Регулирование и использование местного стока / И. П. Сухарев, Е. М. Сухарева. – М.: Колос, 1976. – 272 с.

21 Чеботарев, А. И. О влиянии зяблевой вспашки на сток: сб. тр. ГГИ / А. И. Чеботарев, С. И. Харченко. – Л., 1962. – Вып. 82. – С. 34-49.

22 Сурмач, Г. П. Борьба с эрозией почв на основе учета поверхностного стока / Г. П. Сурмач // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1962. – № 8. – С. 81-90.

23 Сурмач, Г. П. О влиянии микрорельефа поверхности и глубины зяблевой пахоты на сток талых вод / Г. П. Сурмач // Почвоведение. – 1965. – № 6. – С. 103-111.

24 Сурмач, Г. П. О влиянии агротехники на сток талых вод и смыв светло-каштановых почв / Г. П. Сурмач // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1968. – № 2. – С. 13-19.

25 Полуэктов, Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней / Е. В. Полуэктов. – Ростов-на-Дону: Изд-во РУ, 1984. – 161 с.

26 Аполлов, Б. А. Курс гидрологических прогнозов / Б. А. Аполлов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.

27 Сурмач, Г. П. Прогнозирование стока талых вод / Г. П. Сурмач, М. М. Ломакин, А. П. Шестакова // Земледелие. – 1989. – № 4. – С. 29-31.

28 Сурмач, Г. П. Распределение поверхностного стока в лесостепных и степных районах европейской части РСФСР / Г. П. Сурмач // Земледелие. – 1985. – № 1. – С. 22-25.

29 Сурмач, Г. П. К оценке методов изучения увлажнительной роли противозерозионных приемов / Г. П. Сурмач, А. Т. Барабанов, Е. А. Гаршинев // Науч.-техн. бюл. по проблеме защиты почв от эрозии. – Курск, 1976. – Вып. 6. – С. 11-16.

30 Сурмач, Г. П. К вопросу регулирования снеготаяния: сб. работ Поволжской АГЛОС / Г. П. Сурмач. – Куйбышев, 1972. – Вып. 7. – С. 179-217.

31 Швебс, Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка / Г. И. Швебс. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 184 с.

32 Мирцхулава, Ц. Е. Инженерный прогноз и меры по предотвращению водной эрозии почв / Ц. Е. Мирцхулава // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 7. – С. 73-76.

33 Сурмач, Г. П. К методике расчета смыва почв на склонах / Г. П. Сурмач // Науч.-техн. бюл. по проблеме защиты почв от эрозии. – Курск, 1978. – Вып. 2(17). – С. 7-18.

34 Эрозия почв и почвоводоохранное земледелие: уч. пособие для студентов вузов. / В. Д. Муха [и др.]; под ред. В. Д. Мухи. – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. акад., 2000. – 173 с.

35 Гаршинев, Е. А. Обоснование способа расчета смыва и расстояний между лесными полосами на допустимую величину эрозии / Е. А. Гаршинев // Лесомелиорация малых рек. – Волгоград, 1990. – Вып. 1(99). – С. 105-115.

36 Сурмач, Г. П. Водная эрозия и борьба с ней / Г. П. Сурмач. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 254 с.

37 Сурмач, Г. П. О стокорегулирующей эффективности микрорелье-

фа зяби на черноземах Курской области / Г. П. Сурмач, Е. А. Гаршинев, А. Т. Барабанов // Науч.-техн. бюл. по проблеме защиты почв от эрозии. – Курск, 1977. – Вып. 1(12). – С. 32-38.

38 Шадрин, В. И. Метод оценки водорегулирующей роли зяби в различные по водности годы / В. И. Шадрин // Вопросы повышения эффективности земледелия. – Курск, 1983. – Вып. 3(38). – С. 10-14.

39 Миронченко, С. Ф. Мелиоративные и почвозащитные способы обработки почвы юго-востока Ростовской области / С. Ф. Миронченко, Е. В. Полуэктов. – Ростов-на-Дону, 1999. – 72 с.

40 Лысов, А. В. Формирование стока и смыва на южных черноземах Приволжской возвышенности / А. В. Лысов, П. И. Проездов // Почвозащитное земледелие. – Курск, 1983. – Вып. 1(36). – С. 74-80.

41 Зыков, И. Г. Обеспеченность слоя стока талых вод в зоне каштановых почв Нижнего Поволжья / И. Г. Зыков, Ю. В. Бондаренко, В. А. Калужский // Противоэрозионная лесомелиорация. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 4-6.

42 Барабанов, А. Т. Поверхностный сток талых вод, его прогноз и регулирование / А. Т. Барабанов // Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященная 80-летию ВНИАЛМИ, Волгоград, 17-19 октября 2011 г. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2011. – С. 157.

43 Панов, В. И. Воднобалансовые исследования на опытных водосборах с различными ландшафтами в степной зоне Поволжья / В. И. Панов // Эрозия почв, защитное лесоразведение и урожай. – Куйбышев, 1978. – Вып. 9. – С. 68-84.

44 Полуэктов, Е. В. Противоэрозионные мелиорации земель / Е. В. Полуэктов. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 251 с.

45 Дрейер, Н. Н. Распределение элементов водного баланса по территории СССР / Н. Н. Дрейер // Водный баланс СССР и его преобразование. – М.: Колос, 1969. – С. 24-53.

46 Инструкция по определению расчетных гидрологических харак-

теристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на Европейской территории СССР: ВСН 04-77: утв. Госкомгидрометом. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 62 с.

47 Герасименко, В. П. Рекомендации по регулированию почвенно-гидрологических процессов на пахотных землях / В. П. Герасименко, М. В. Кумани; под ред. В. М. Володина. – Курск, 2000. – 108 с.

48 Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на Европейской территории СССР: ВСН 04-77: утв. Госкомгидрометом. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 62 с.

49 Закруткин, В. Е. Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны юга России / В. Е. Закруткин, Н. И. Коронкевич, Д. Ю. Шишкина, С. В. Долгов. – Ростов-н/Д.: Изд-во Ростовского ун-та, 2004. – 252 с.

50 Герасименко, В. П. Методика расчета склонового весеннего стока / В. П. Герасименко, В. С. Буруменский, В. И. Шадрин // Науч.-техн. бюл. по проблеме защиты почв от эрозии – Курск, 1985. – Вып. 1(44). – С. 25-32.

51 Сурмач, Г. П. Опыт составления карты с изолиниями весеннего стока с зяби для ЦЧО / Г. П. Сурмач // Науч.-техн. бюл. по проблеме защиты почв от эрозии. – Курск, 1983. – Вып. 3(18). – С. 8-12.

52 Защита почв от водной и ветровой эрозии: Аналитический обзор. – М.: Мелиоводинформ, 2005. – 56 с.

53 Ивонин, В. М. Эрозия почв и противоэрозионные системы / В. М. Ивонин, В. А. Тертерян. – Ростов-н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 156 с.

54 Ломакин, М. М. Мульчирующая обработка почвы на склонах / М. М. Ломакин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 35 с.

55 Шабает, А. И. Адаптивно-экологические системы земледелия в агроландшафтах Поволжья / А. И. Шабает // ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2003. – 320 с.

56 Орлов, А. Д. Теоретические основы создания эрозионно устойчивых ландшафтов в Сибири / А. Д. Орлов // Защита почв от эрозии и дефляции. – Новосибирск, 1981. – 14 с.

57 Михайлина, В. И. Агротехнические способы защиты почв от эрозии в США / В. И. Михайлина // Обзорная информация / ВНИИТЭИСХ. – М., 1977. – 58 с.

58 Уваров, В. М. Влияние контурных лесных полос на увлажнение склонов / В. М. Уваров, С. Г. Кириченко // Лесомелиорация при контурном земледелии. – Волгоград, 1988. – Вып. 1(93). – С. 3-4.

59 Антонов, В. И. Особенности формирования поверхностного стока талых вод с малых водосборов сухой степи / В. И. Антонов // Противоэрозионная мелиорация. – Волгоград, 1984. – Вып. 2(43). – С. 7-9.

60 Сурмач, Г. П. Прогнозирование стока талых вод на черноземных и каштановых почвах / Г. П. Сурмач // Вестник с.-х. науки. – 1969. – № 12.

61 Полуэктов, Е. В. Чизелевание почв: монография / Е. В. Полуэктов. – Новочеркасск: Темп, 2006. – 191 с.

62 Демидов, В. В. Комплексное влияние лесных полос и агротехнических приемов на эрозию почвы и урожайность сельскохозяйственных культур на черноземах Курской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 11.00.11 / Демидов Валерий Витальевич. – Волгоград, 1983. – 23 с.

63 Демидов, В. В. Закономерности эрозии почв лесостепной зоны при снеготаянии как научная основа системы почвозащитных природоохранных мероприятий: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 11.00.11 / Демидов Валерий Витальевич. – М., 2000. – 54 с.

64 Водогрецкий, В. Е. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий / В. Е. Водогрец-

кий // Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим. – Л., 1973. – Вып. 206. – 43 с.

65 Гаршинев, Е. А. О влиянии уклона на поверхностный сток / Е. А. Гаршинев // Водная эрозия почв и борьба с ней. – М., 1977. – С. 61-64.

66 Шеппель, П. А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги / П. А. Шеппель. – Волгоград: Нижне-Волжское изд-во, 1990. – 191 с.

67 Великанов, М. А. Динамика русловых потоков / М. А. Великанов. – М.: Гостехиздат. – Т. 1-2. – 1954. – С. 289.

68 Сурмач, Г. П. Водорегулирующая и противоэрозионная роль насаждений / Г. П. Сурмач. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 109 с.

69 Рожков, А. Г. Борьба с оврагами / А. Г. Рожков. – М.: Колос, 1981. – 199 с.

70 Захаров, П. С. Эрозия почв и меры борьбы с ней / П. С. Захаров. – М.: Колос, 1971. – 191 с.

71 Арманд, Д. Л. Физико-географические основы проектирования сети полезащитных лесных полос / Д. Л. Арманд. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 367 с.

72 Земледелие / А. И. Пупонин, Г. И. Баздырев, В. Г. Лошаков. – М.: Колос, 2000. – 552 с.

73 Ковалев, Н. Г. Изучение элементов ландшафтно-мелиоративных систем земледелия / Н. Г. Ковалев, В. А. Тюлин, Д. А. Иванов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 5. – С. 18-21.

74 Долгилевич, М. И. Системы лесных полос и ветровая эрозия / М. И. Долгилевич, Ю. И. Васильев, А. Н. Сажин. – М.: Колос, 1981. – 160 с.

75 Хамдамов, Х. Х. Техника полива и ирригационная эрозия почв / Х. Х. Хамдамов, И. И. Бердикулов // Гидротехника и мелиорация. – 1971. – № 1. – С. 32-37.

76 Почвозащитное земледелие / под ред. А. И. Бараева. – М., 1975. – 304 с.

77 Господинов, Б. Причины заболачивания и эрозии почв при орошении / Б. Господинов // Земледелие, агрохимия, мелиорация. – 1970. – № 11. – С. 22-27.

78 Мирцхулава, Ц. Е. Установление допустимых скоростей при поверхностном поливе в условиях значительных уклонов площадей / Ц. Е. Мирцхулава, С. А. Лашкарашвили // Труды ГрузНИИГим. – Вып. 23. – Тбилиси, 1965. – С. 10-17.

79 Эрозия почв и почвоводоохранное земледелие: уч. пособие для студентов вузов / В. Д. Муха [и др.]; под ред. В. Д. Мухи. – Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. акад., 2000. – 173 с.

80 Мирцхулава, Ц. Е. Разработка методики прогноза водной эрозии для расчета противоэрозионных гидротехнических сооружений / Ц. Е. Мирцхулава – М. – Т. 2. – 1971. – 282 с.

81 Полуэктов, Е. В. Эрозия и дефляция агроландшафтов Северного Кавказа / Е. В. Полуэктов. – Новочеркасск, 2003. – 297 с.

82 Шумаков, Б. А. Полив по бороздам-щелям / Б. А. Шумаков, Д. А. Штокалов: сб. тр. / ЮжНИИГиМ. – Вып. 4. – Новочеркасск, 1966. – С. 23-34.

83 Васильев, С. М. Комплексная оценка экологической безопасности способов орошения / С. М. Васильев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 2. – С. 36-38.

84 Манишкин, С. Г. Влияние почвозащитных приемов на эрозионные процессы на склонах различной крутизны / С. Г. Манишкин // Молодые ученые – сельскому хозяйству России: сб. мат. Всерос. конф. – М.: Росинформагротех, 2004. – С. 27-33.

85 Хамдамов, Х. Х. Плодородие почвы надо беречь / Х. Х. Хамдамов, И. И. Бердикулов // Сельское хозяйство Узбекистана. – 1969. – № 4. – С. 48-53.

86 Татарова-Крыстева, В. С. Проявление ирригационной эрозии на некоторых почвах Болгарии / В. С. Татарова-Крыстева, И. Цонев // Почвоведение. – 1972. – № 4. – С. 23-29.

87 Васильев, С. М. Перспективы развития орошения в Ростовской области / С. М. Васильев, Е. А. Васильева // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2006. – № 3. – С. 81-85.

88 Кивер, Ф. Нарезка борозд-щелей перед поливом / Ф. Кивер, В. Евтушенко // Картофель и овощи. – 1973. – № 6. – С. 31-32.

89 Поляков, Ю. П. Противозэрозийная стойкость почв при поливах в условиях Ростовской области / Ю. П. Поляков, В. П. Поляков // Эксплуатация обводнительно-оросительных систем и мелиорация земель Северного Кавказа: сб. тр. – Ч. 1. – Ростов-н/Д., 1972. – С. 20-25.

90 Изюмов, В. В. Опыт применения новой технологии механизированного поверхностного полива / В. В. Изюмов, А. И. Бондаренко, Н. Ф. Сикан // Мелиорация и водное хозяйство. – Киев, 1972. – № 22. – С. 11-19.

91 Штокалов, Д. А. Результаты исследований повышения производительности труда на поливе по удлиненным бороздам / Д. А. Штокалов // Труды ГрузНИИГиМ. – Вып. 10. – 1964. – С. 17-24.

92 Гидротехника орошаемого хозяйства: справочник. – М.: Колос, 1972. – С. 462.

93 Маслов, Б. С. Вопросы орошения в США / Б. С. Маслов, Е. А. Нестеров. – М.: Колос, 1967. – С. 341.

94 Цонев И. Эрозия при орошении и борьба с ней / И. Цонев, В. А. Татарова-Крыстева. – София, 1965. – С. 178.

95 Давыдов, Д. Максимальные уклоны и поливные струи при поверхностном способе полива / Д. Давыдов // Гидротехника и мелиорация. – 1961. – Т. 6. – № 4. – С. 246.

96 Мирцхулава, Ц. Е. Размыв русел и методика оценки их устойчивости / Ц. Е. Мирцхулава. – М. – Л.: Колос, 1967. – 346 с.

97 Поляков, Ю. П. О гидравлике поливной борозды / Ю. П. Поляков // Эксплуатация обводнительно-оросительных систем и мелиорации земель Северного Кавказа: сб. тр. – Вып. 8. – Ч. 2. – Ростов-н/Д., 1972. – С. 15-17.

98 Поляков Ю. П. К вопросу об установлении критерия начала ирригационной эрозии при поливах / Ю. П. Поляков, В. П. Поляков // Эксплуатация обводнительно-оросительных систем и мелиорация земель Северного Кавказа: сб. тр. – Вып. 8. – Ч. 2. – Ростов-н/Д., 1972. – С. 22-28.

99 Камбаров, Б. Ф. Исследование влияния техники полива на ирригационную эрозию / Б. Ф. Камбаров // Вопросы гидротехники. – 1967. – С. 27-34.

100 Кузнецов, М. С. Эрозия и охрана почв / М. С. Кузнецов, Г. П. Глазунов. – М.: КолосС, 2004. – 352 с.

101 Гаврилица, О. А. Эрозионные процессы при поливе дождеванием и пути их минимизации / О. А. Гаврилица // Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 77-84.

102 Степанов, П. М. Справочник по гидравлике для мелиораторов / П. М. Степанов, И. Х. Овчаренко, Ю. А. Скобельцин. – М.: Колос. 1984. – 200 с.

103 Наводнения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ua.coolreferat.com/%D0%9D%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B8_%D1%81%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%83%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D1%85.

104 Авакян, А. Природные и антропогенные причины наводнений / А. Авакян // Основы Безопасности Жизнедеятельности. – М., 2001. – 134 с.

105 Осипов, В. И. Природные катастрофы на рубеже XXI века / В. И. Осипов // Вестник РАН. – 2001. – 235 с.

106 Дьяченко, Н. П. Анализ изменчивости природных факторов для охраны земель от переувлажнения / Н. П. Дьяченко [и др.] // Мат. 2-й междунар. науч.-практ. конф. / КубГАУ. – Краснодар, 2009. – С. 70-71.

107 Дьяченко, Н. П. Основные причины подтопления земель и общие принципы формирования земельно-охранной системы / Н. П. Дьяченко, Е. В. Кузнецов, П. П. Коломоец // Тр. КубГАУ. – 2007. – Вып. № 4(8). – С. 157-160.

108 Гридасов, В. Ф. Агрогидрологические свойства осушаемых земель / В. Ф. Гридасов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 174 с.

109 Дьяченко, Н. П. Проблема охраны сельскохозяйственных земель от подтопления в Азово-Кубанском бассейне / Е. В. Кузнецов, Н. П. Дьяченко // Тр. КубГАУ. – 2008. – Вып. №4(13). – С. 220-224.

110 Дьяченко, Н. П. Гидрологическое обоснование проектов охраны земель от подтоплений регулированием стока / Н. П. Дьяченко. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – 168 с.

111 Третьякова, Г. Ю. Разноглубинная обработка повышает урожай / Г. Ю. Третьякова // Вопросы мелиорации. – М.: Мелиоводинформ. – № 5-6. – 1998. – С. 50-53.

112 Щедрин, В. Н. Техническая эксплуатация дренажа на мелиоративных системах / В. Н. Щедрин, А. С. Капустян [и др.]; РосНИИПМ. – М., 2012. – 60 с. – Деп. в ВИНТИ 07.06.12, № 265-В 2012.

113 Комплексные мелиорации для охраны сельскохозяйственных земель от подтопления: рекомендации / Н. П. Дьяченко, Е. В. Кузнецов [и др.]. – Краснодар: КубГАУ, 2003. – 36 с.

114 Мелиорация сельскохозяйственных земель для охраны почв от подтопления в степной зоне Краснодарского края: рекомендации / Е. В. Кузнецов, Н. П. Дьяченко // Департамент сельского хозяйства и продовольствия Краснодарского края. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – 11 с.

115 Полуэктов, Е. В. Почвозащитные системы в ландшафтном земледелии / Е. В. Полуэктов, Е. П. Луганцев. – Ростов-н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2005. – 208 с.

116 Кочетов, И. С. Агролесомелиоративное адаптивно-ландшафтное обустройство водосборов / И. С. Кочетов, А. Т. Барабанов, И. Г. Зыков. – Волгоград, 1999. – 84 с.

117 Барабанов, А. Т. Агролесомелиорация в почвозащитном земледелии / А. Т. Барабанов. – Волгоград, 1993. – 156 с.

118 Лопырев, М. И. Агроландшафты и земледелие / М. И. Лопырев, С. А. Макаренко // ВГАУ. – Воронеж, 2001. – 168 с.

119 Ивонин, В. М. Лесные мелиорации ландшафтов / В. М. Ивонин. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ. – 2004. – 280 с.

120 Система мелиоративных мероприятий для различных типов агроландшафтов, обеспечивающих устойчивость к деградиционным процессам и повышение плодородия почв: рекомендации / В. Н. Щедрин [и др.]. – М.: Столичная типография, 2008. – 84 с.

121 Третьякова, Г. Ю. Приемы улучшения эколого-мелиоративного состояния переувлажненных почв / Г. Ю. Третьякова, Г. Т. Балакай // Мелиорация и водное хозяйство: материалы науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО НГМА. – Вып. 1. – Новочеркасск: Темп, 2003. – С. 52-61.

122 Повышение экологической устойчивости различных типов агроландшафтов к деградации почвы на основе применения мелиоративных мероприятий: рекомендации / В. Н. Щедрин [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2009. – 78 с.

123 Приемы повышения биопродуктивности земель, сохранения почвенного плодородия и экологической устойчивости агроландшафтов / Г. Т. Балакай [и др.]; ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2011. – 71 с. – Деп. в ВИНТИ 19.07.11, № 349-В2011.

124 Павловский, Е. С. Защитные лесонасаждения – системо-образующий элемент ландшафта агротерритории / Е. С. Павловский // Вестник РАСХН. – 2002. – № 3. – С. 17-18.

125 Черкасов, Г. Н. Рациональное использование овражно-балочных земель / Г. Н. Черкасов // Проблемы ландшафтного земледелия. – Курск, 1997. – С. 192-199.

126 Иванов, Д. А. Применение интегральных показателей продуктивности агрогеосистем для целей мелиорации [Электронный ресурс] / Д. А. Иванов, Н. Г. Ковалев, О. Н. Анциферова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – № 1(13). – 16 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=226&id=227>.

127 Спиринов, А. П. Комплексная оценка почвозащитных агротехнологических мероприятий / А. П. Спиринов // Земледелие. – 1987. – № 1. – С. 49-51.

128 Принципы и методы организации орошаемых земель на агроландшафтной основе / А. В. Колганов [и др.] – М.: Эдель-М, 2001. – 108 с.

129 Беседин, П. М. Ирригационная эрозия почв и пути ее ликвидации / П. М. Беседин, К. Мирзажанов, К. П. Паганяс. – Ташкент, 1978. – 23 с.

130 Поляков, Ю. П. Ирригационная эрозия почв и борьба с ней в Ростовской области / Ю. П. Поляков, Н. Н. Ильинский, А. Д. Савченко. – Новочеркасск, 1976. – 32 с.

131 Справочник по механизации орошения: под ред. Б. Г. Штепы. – М.: Колос, 1979. – 303 с.

132 Трегубов, П. С. Ирригационная эрозия почв и меры ее предотвращения / П. С. Трегубов, О. А. Аверьянов. – М.: Колос, 1987. – 151 с.

133 Противоопаводковые работы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fls-gidrostroy.ru/?protivopovodkovye-raboty>.