Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
"Федеральный научный центр агроэкологии,
комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук" (ФНЦ агроэкологии РАН)

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД НА ВОДОСБОРАХ БАССЕЙНОВ РЕК ВОЛГИ И ДОНА

(переработанное и дополненное издание)

Волгоград∗ФНЦ агроэкологии РАН∗2021

УДК 631.6.02

Научные основы и методика прогнозирования поверхностного стока талых вод на водосборах бассейнов рек Волги и Дона (перераб. и доп. издание) / А. Т. Барабанов. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. – 92 с.

В работе дан анализ современного состояния оценки роли природных факторов в формировании стока талых вод, изложены материалы, характеризующие методы прогноза поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий, приведена методика прогнозирования весеннего стока в бассейнах Волги и Дона.

Scientific basis and methodology for forecasting surface runoff of melt water in the Volga and Don basins / A. T. Barabanov. – Volgograd: FNTS Agroecology Russian Academy of Sciences, 2021. – 92 c.

The paper gives an analysis of the current state assessment of the role of natural factors in the formation of runoff of meltwater contained materials describing the methods for forecasting the surface runoff of snowmelt runoff from agricultural lands, the technique of forecasting the spring runoff in the basins of the Volga and the Don.

Научные основы и методика прогнозирования поверхностного стока талых вод в бассейнах Волги и Дона подготовлены главным научным сотрудником – заведующим лабораторией защиты почв от эрозии ФНЦ агроэкологии РАН доктором сельскохозяйственных наук А. Т. Барабановым.

Научные основы и методика рассмотрены и одобрены ученым советом ФГБНУ "Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук" (протокол № 11 от 15 октября 2021 г.)

Рецензенты: К. Н. Кулик – доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор; П. Н. Проездов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

ISBN 978-5-6045498-8-9

© А. Т. Барабанов
© ФНЦ агроэкологии РАН, 2021

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема пропуска весенних паводков на реках Волга и Дон очень актуальна для нашей страны. В регионах обычно создаются чрезвычайные противопаводковые комиссии, которые часто из-за отсутствия надежного прогноза поверхностного стока талых вод либо не справляются с пропуском паводковых вод, что приводит к катастрофическим последствиям, либо подготавливая их к весеннему паводку, сбрасывают зимой очень много воды из водохранилищ, которой потом не хватает для многих отраслей народного хозяйства страны: энергетики, водного, сельского, рыбного, коммунального и др.

Управление режимом стока осуществляется на основе прогнозов низкой точности. Поэтому управленческие решения, принимаемые на его основе, бывают также невысокого качества и даже бывают ошибочными. Повышенный зимний сброс воды из водохранилищ, а в связи с этим малый период паводка весной на Нижней Волге, нарушает режим обводнения Волго-Ахтубинской поймы, условия нереста рыбы, судоходства и др. Ущерб от таких управленческих решений на основе прогнозов низкой точности составляет десятки (примерно 70-90) миллиардов рублей. Его несут энергетики (недополучение электроэнергии до 30-40 %), рыбное хозяйство (гибель рыбы, мальков и икры, а иногда рыба не нерестится, так

как пойма не затопляется), сельское хозяйство (не хватает воды для орошения), коммунальное хозяйство (из колодцев уходит вода, водозаборные оголовки "качают" воздух), судоходство (суда садятся на мель). Таким образом экологическая ситуация в Волго-Ахтубинской пойме полностью зависит от стока со всего бассейна р. Волги.

Много различных мнений о причинах маловодья Волго-Ахтубинской поймы [14, 29, 34, 41, 42], и все они имеют место, но главная причина – это отсутствие высокоточного прогноза притока воды с водосборного бассейна и особенно склонового стока. Средняя ошибка прогноза сейчас составляет 35 %, но часто она бывает значительно больше.

Обычно прогнозируют поверхностный сток таким образом. Снега в бассейне много, следовательно, будет большой сток. Однако, часто бывает (особенно в последние два десятилетия), что снега много, а стока нет или он незначительный. А бывает, что снега мало, а сток бывает значительный.

Имея такой каскад водохранилищ и высокоточный прогноз поверхностного стока, можно идеально отрегулировать режим стока Волги и Дона, при котором хватит воды всем потребителям и ежегодно заполнять пойму водой на длительное время.

У нас имеются разработки, позволяющие делать высокоточный заблаговременный прогноз притока талых вод поверхностного стока в Волжско-Камский каскад водохранилищ [2-4, 29, 34].

Наш прогноз позволяет без дополнительных затрат предотвратить этот ущерб. Точность его подтверждена на практике. Наши разработки базируются на результатах мно-

голетних (свыше 60 лет) исследований закономерностей формирования поверхностного стока на стоковых площадках размером 0,20 га и малых водосборах размером 50-100 га в разных зонах европейской части РФ и на анализе и обобщении большого литературного материала по этому вопросу.

Методологической основой наших исследований является система методов, заимствованных из разных наук (гидрологии, физики, химии, математики, геологии, географии, агролесомелиорации, почвоведения, и др.), модифицированных и адаптированных в соответствии с поставленными целями и задачами. В гидрологии (особенно в гидрологии рек) сейчас широко распространены два главных направления: статистический и генетический. Статистические методы основываются на законе больших чисел и допущении случайности проявления гидрологических процессов. Они сыграли большую роль в гидрологии особенно при недостатке исходных материалов для теоретических исследований. Эти методы имеют ряд существенных недостатков, главный из которых – это невозможность познания генезиса процесса, выявления причинно-следственных связей, а в связи с этим и невозможность регулирования, управления процессами. Статистические методы позволяют вести приближенные гидрологические расчеты. С помощью этих методов в свое время удалось быстро удовлетворить запросы гидрологического строительства. Однако они не могли удовлетворить потребности гидрологии, и для решения фундаментальных проблем требовалось развитие теоретических исследований, базирующихся на генетической основе с учетом влияния всех факторов. В наших исследованиях и при анализе материалов мы использовали и статисти-

ческий, и генетический подходы. Статистические методы мы применяли для оценки поверхностного стока разной вероятности превышения с сельскохозяйственных угодий, выявления стокорегулирующей, противоэрозионной и агрономической эффективности различных приемов, элементов противоэрозионного комплекса и их сочетаний и др. Генетический подход мы использовали и при изучении закономерности формирования стока. Дело в том, что характер формирования стока обусловлен многими природными факторами (снегозапасы, характер увлажнения и промерзания почвы, погодные условия и др.) и хозяйственной деятельностью людей, действующими в совокупности. Антропогенное воздействие на эрозионно-гидрологические процессы осуществляется через эти факторы. Нам важно знать не только цену того или иного воздействия, но и то, через какие факторы и показатели оно происходит. А это позволяет управлять процессами, разрабатывать новые приемы регулирования эрозионно-гидрологических процессов.

Для этого закладывались элементарные и комбинированные стоковые площадки как по всему склону, так и по отдельным его частям с охватом целых водосборов, противоэрозионных комплексов и его элементов. При этом проводили следующие наблюдения и определения: метеорологические показатели (температура, влажность воздуха, осадки, ветер, облачность и др.), снегомерные съемки, промерзание, оттаивание, влажность почвы, объемная масса почвы, сток талых вод, смыв почвы и др.

Таким образом, применение статистического, генетического и элементов системного подхода и проведение много-

факторных исследований позволили выявить не только влияние отдельных природных и антропогенных факторов на эрозионно-гидрологические процессы, но и их взаимодействие.

ФНЦ агроэкологии РАН (ранее ВНИАЛМИ) сейчас обладает уникальным экспериментальным материалом, который позволяет сделать важные теоретические и практические разработки [3]. Нами установлено и научно обосновано, что по 2-3 ведущим факторам можно делать долгосрочный (2-3 месяца) высокоточный (80-100 %) прогноз. Зарубежный опыт нам не подходит, так как в большинстве стран формируется преимущественный ливневый сток, а в странах, где есть сток талых вод (США, Канада и др.), условия сильно отличаются от наших и нам не подходят. Для бассейна Волги и Дона нельзя переносить опыт прогноза стока, например, на бассейнах сибирских рек или рек европейской части РФ, впадающих в северные моря. Отсутствие надежного прогноза связано с тем, что нет хорошей теоретической основы для него. До сих пор не были выявлены закономерности формирования поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий.

В литературе много данных по влиянию природных факторов на сток талых вод. Однако эти факторы рассматриваются в основном без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени отличаются и даже бывают противоположными. Это объясняется тем, что ими использовались разные подходы, концепции и, главное, разные методы исследований. Все имеющиеся в литературе результаты исследований, обобщения и анализа связи стока талых вод с природными факторами, а также методы его прогнозирования в настоящее время не дают возможности однозначно

определить роль тех или иных факторов в формировании стока, дать точный его прогноз и выявить пути его регулирования. Нужен новый методический подход к анализу имеющегося материала и получению дополнительных данных.

В результате теоретических и экспериментальных исследований по аспектам теории рельефообразования и гидрологических процессов, выполненных в опытной сети ВНИАЛМИ в лесостепной, степной и полупустынной зонах, а также анализа и обобщения информации, полученной из литературных источников [3, 6-10, 12, 13, 29, 30, 34], и обоснования новых концептуальных подходов к объяснению процессов инфильтрации воды в почву и стока талых вод, впервые в мире был сформулирован и обоснован закон лимитирующих факторов поверхностного стока и разработана методика его высокоточного прогноза [32]. Таких разработок нет в нашей стране и за рубежом. Очень важны в этом отношении исследования факторов просачивания талых вод в почву. Особую актуальность имеют результаты экспериментальных оценок с применением водно-балансовых методов. Полученные в экспериментах материалы за период свыше 60 лет [3], позволили выдвинуть и обосновать новые теоретические положения, существенно уточняющие представления о физической природе гидрологических процессов, по-новому трактовать условия просачивания талых вод в почву, что позволяет усовершенствовать существующие и разработать новые математические модели.

Кратко можно выделить следующие наиболее важные новые результаты теоретических работ, которые нашли применение в этих методических рекомендациях [3, 10]:

- закон лимитирующих факторов поверхностного стока

талых вод, позволяющий по новому рассматривать закономерности его формирования;

- положение о том, что почва, как саморегулирующая система, способна поглотить и удержать определенное количество воды, равное дефициту влажности, максимальная величина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости;

- математические модели формирования поверхностного стока талых вод;

- концепция формирования "ледяного экрана".

Излагаемые ниже закономерности гидрологического процесса и получение на их основе моделей, в т. ч. математических, являются результатом исследований ВНИАЛМИ, анализа и обобщения информации, полученной из литературных источников, а также обоснования новых концептуальных подходов к объяснению процессов инфильтрации воды в почву и стока талых вод.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Назначение методики

Настоящая методика предназначена для расчета склонового стока талых вод с сельскохозяйственных земель, подверженных антропогенному воздействию, которое привело к значительным изменениям естественного ландшафта и, как правило, к негативному влиянию на элементы окружающей природной среды.

1.1.1. Настоящая методика позволяет делать прогноз величины (объема) поверхностного стока талых вод, как для малых водосборов (лощины, балки), так и для бассейнов малых и крупных рек.

1.1.2. Параметры методики основываются на законе лимитирующих факторов стока талых вод, открытом в результате анализа многолетних материалов исследований в различных природных зонах европейской части России. Ведущими факторами, влияющими на формирование стока, являются снегозапасы, глубина промерзания и влажность верхнего (0-50 см) слоя почвы.

Суть закона лимитирующих факторов стока состоит в том, что при некотором (лимитирующем) значении одного из факторов (глубина промерзания, влажность почвы, снегозапасы) сток не формируется независимо от уровня других. Если

почва талая или промерзла на небольшую (до 50 см) глубину, то поверхностный сток на сельскохозяйственных землях и лесных угодьях не формируется. Если запасы влаги в почве (в слое 0-50 см) меньше 70-120 мм в зависимости от природной зоны, то сток тоже не формируется независимо от глубины промерзания и количества воды в снеге, т. е. лимитирующим фактором стока является увлажнение почвы. При снегозапасах, не превышающих объем свободных пор в слое почвы 0-30 см, сток также не формируется независимо от уровня увлажнения и глубины промерзания почвы.

При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах воды в ней больше 70-120 мм и снегозапасах, превышающих объем свободных пор, сток формируется на всех угодьях и величина (объем) его зависит только от запасов воды в почве и снеге.

1.1.3. Для малых водосборов прогноз стока талых вод дается на основе учета ведущих природных факторов, влияющих на его формирование и соотношения площадей, находящихся под рыхлой (зябь) и уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, залежь и др.).

1.1.4. Для расчета стока на бассейнах рек также учитываются эти природные факторы, а соотношение площадей под зябью и уплотненной пашней определяется по регионам в пределах водосборов рек.

1.1.5. Положения настоящей методики основаны на оригинальном подходе и по ним можно давать высокоточный (80-100 %) прогноз величины поверхностного стока талых вод. Если почва талая, то точность прогноза 100 %, а при глубине ее промерзания свыше 50 см точность прогноза зависит

от точности определения запасов воды в снеге и почве и составляет 80-90 %.

1.2. Область применения разработки

Настоящая методика, включающая обоснование состава природных факторов поверхностного стока талых вод, будет применяться проектными, сельско- и водохозяйственными организациями для создания прогноза величины поверхностного стока талых вод с целью предотвращения чрезвычайных ситуаций, возникающих при затоплении сельхозтерриторий

1.3. Нормативные ссылки

При разработке "Методики прогноза поверхностного стока талых вод" учтены основные положения, изложенные в соответствующих законодательных, нормативно-правовых и методических документах, действующих в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также рационального использования и охраны природных ресурсов:

Закон РСФСР "Об охране окружающей природной среды" от 21.02.92 № 2397-1, от 02.06.93 № 5076-1.

ГОСТ 26967-86 (СТ СЭВ 5183-85) "Гидромелиорация. Термины и определения" от 30.07.86 № 2303.

ГОСТ 16256-80 Земледелие. Термины и определения.

ГОСТ 17.4.2.03-86 Охрана природы. Почвы. Паспорт почв.

ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных

водных объектов.

ВСН 33-2.1.10-90 Гидромелиоративные системы и сооружения. Инженерно-гидрометеорологические изыскания от 05.11.90 № 44.

Концепция государственной политики в сфере использования, восстановления и охраны водных объектов в 1999-2005 годах. – М., 2000.

Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989.

Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. –130 с.

Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.

СНиП 2.06.04.-82 "Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)". – М.: Минстрой России, 1995. – 45 с.

СНиП 2.06.15-85 "Инженерная защита территорий от затопления и подтопления". – М.: Госстрой СССР, 1986. – 20 с.

СНиП 2.06.01-86 "Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования". – М.: Госстрой СССР, 1987. – 30 с.

СНиП 10-01-94 "Система нормативных документов в строительстве. Основные положения". – М.: Минстрой России, 1994. – 21 с.

СН 435-72 "Указания по определению расчетных гидрологических характеристик" от 24.02.1972.

СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гид-

рологических характеристик. – М.: Госстрой России, 2004.

Федеральный закон "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" от 21.12.94 № 68-ФЗ.

Федеральный закон "О землеустройстве" от 18.06.2001 № 78-ФЗ.

Федеральный закон "О мелиорации земель" от 10.01.96 № 4-ФЗ, изм. и доп. 10.01.2003.

Федеральный закон "Об обороте земель сельскохозяйственного назначения" с изм. и доп. от 24.07.2002 № 101-ФЗ, изм. и доп. от 07.07.2003 № 113-ФЗ.

Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ.

Федеральный закон "Об экологической экспертизе" от 23.11.1995 № 174-ФЗ.

1.4. Термины и определения

Адаптивно-ландшафтная система земледелия –это сельскохозяйственная деятельность, при которой максимально учитываются особенности природных и антропогенных ландшафтов, требовательность сельскохозяйственных культур к условиям произрастания, оптимально реализуется ресурсный потенциал, каждый земельный участок используется с учетом его агроэкологической оценки.

Весеннее половодье – фаза водного режима, вызываемая весенним снеготаянием.

Водосбор – часть территории земли, откуда вода стекает в отдельный водоток.

Водосборная площадь – территория, с которой стекают поверхностные или подземные воды к водным артериям, – рекам, озерам, а также к бессточным впадинам.

Водопроницаемость почвы – способность почвы впитывать талую и дождевую воду.

Влагоемкость почвы – величина, количественно характеризующая способность почвы удерживать влагу.

Водная эрозия почв – процессы разрушения верхних наиболее плодородных горизонтов почв и подстилающих пород талыми и дождевыми водами.

Воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения – сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения посредством проведения агротехнических, агрохимических, мелиоративных, фитосанитарных, противоэрозионных и иных мероприятий.

Запас влаги в почве – абсолютное количество влаги, содержащееся в определенном слое почвы.

Земельные угодья – земли, систематически используемые или пригодные к использованию для конкретных хозяйственных целей и отличающиеся по природно-историческим признакам.

Земли сельскохозяйственного назначения. Предназначены для использования в сельском хозяйстве.

Интенсивность снеготаяния – количество воды, образующееся в процессе таяния снега в единицу времени.

Интенсивность впитывания талой воды в почву – количество впитавшейся в почву воды в единицу времени.

Коэффициент стока – отношение величины стока к запасам воды в снеге перед снеготаянием и количества осадков,

выпавших на время снеготаяния.

Ландшафт естественный – территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных компонентов, сформировавшаяся под влиянием природных процессов.

Ландшафт нарушенный – ландшафт, подверженный антропогенному, в т. ч. сельскохозяйственному воздействию.

Модуль стока – средняя величина стока с поверхности водосбора в единицу времени.

Наименьшая (полевая) влагоемкость (НВ) – наибольшее количество воды, которое может удержаться в верхней части почвогрунта после свободного стекания воды.

Объемная масса почвы – масса единицы объема образца абсолютно сухой почвы с ненарушенным сложением.

Обеспеченность стока – частота появления стока расчетной величины в течение длительного промежутка времени.

Поверхностный сток – количество воды, попадающей в русло водотока поверхностным путем.

Полная влагоемкость почвы – способность слоя почвы вместить (накопить) максимальное количество воды.

Рыхлая пашня – поле с зяблевой обработкой.

Свободная порозность почвы – разность между полной влагоемкостью почвы и запасом влаги в почве.

Сельскохозяйственное угодье – земельное угодье, систематически используемое для получения сельскохозяйственной продукции.

Склоновый сток – сток воды, формирующийся в пределах склона.

Слой стока – количество воды, стекающей с водосбора, выраженное в виде слоя (мм), равномерно распределенной по

площади.

Снегозапасы – общее количество воды, содержащееся в снежном покрове.

Стоковая площадка – площадка шириной 20 м и длиной 100 м, обвалованная валиками и оборудованная в нижнем углу треугольным водосливом с углом выреза 45° для учета стока.

Термоинфильтрация – просачивание снеговой воды в мерзлую почву путем протаивания ее за счет тепла талой воды.

Удельная масса почвы это отношение твердой фазы почвы в сухом состоянии к весу воды равного объема.

Уплотненная пашня – поля без обработки (стерня), под многолетними травами, озимыми.

1.5. Принятые условные обозначения

$W_с$ – запасы воды в снеге, мм;

H – глубина промерзания почвы, см;

$W_п$ – запасы воды в слое почвы 0-50 см, мм;

d_v – удельная масса почвы, г/см^3;

d – объемная масса почвы, г/см^3;

$V_{оп}$ – общая порозность почвы, %;

$V_{сп}$ – объем свободных пор, %;

S – общая площадь водосбора, га (км^2);

$S_р$ – площадь водосбора под рыхлой пашней (зябью), га (км^2);

$S_у$ – площадь водосбора под уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, стерня, залежь), га (км^2);

$S_л$ – площадь лесных угодий, га;

У – величина поверхностного стока, мм.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

2.1. Для расчета величины поверхностного стока талых вод необходимы следующие характеристики:

- запасы воды в снеге, мм;
- глубина промерзания почвы, см;
- запасы воды в слое почвы 0-50 см, мм;
- удельная масса почвы, г/см^3;
- объемная масса почвы, г/см^3;
- общая порозность почвы, %;
- объем свободных пор, %;
- общая площадь водосбора, га (км^2);
- площадь водосбора под рыхлой пашней (зябью), га (км^2);
- площадь водосбора под уплотненной пашней (озимые, многолетние травы, стерня, залежь), га (км^2);
- площадь лесных угодий.

2.2. *Запасы воды в снеге* определяются по данным наблюдений Гидрометслужбы на метеостанциях и постах, на основе аэрокосмического мониторинга и уточняются в результате проведения снегомерных съемок на водосборах.

Формирование снежного покрова происходит под влиянием таких факторов, как ветер, расчлененность территории, экспозиция, крутизна и протяженность склонов, вид угодий, наличие защитных лесных насаждений и др. Снегомерные

съемки, проводимые на водосборах, имеют целью определить влагозапасы в снеге на всех водосборах, установить закономерность и особенности снегораспределения на разных угодьях в зависимости от рельефа и экспозиции склонов, выявить снегонакопительную и снегораспределительную роль защитных лесных полос и других насаждений.

На водосборах проводят разовые снегомерные съемки за 20-30 дней до снеготаяния по заранее намеченным постоянным маршрутам, которые наносят на план водосбора, нумеруются и закрепляются в натуре.

На простых водосборах с одним видом угодий (выгон, пашня, сад, лес и др.) намечается 3 маршрута поперек склона на одном расстоянии друг от друга, причем суммарное расстояние между крайними маршрутами в верхней и нижней границами водосбора должно составлять 2/3 расстояния между соседними маршрутами. Они пересекают водосбор от одного до другого водораздела. Здесь преобладают маршруты прямолинейного направления. Общая протяженность всех маршрутов близка к 3-5-кратной средней ширине водосбора. На больших комплексных опытных водосборах число маршрутов может доходить до 5-6, причем они должны располагаться как поперек водосбора, так и вдоль него с охватом всех основных угодий, лесных полос и других элементов, сильно влияющих на снегораспределение. Измерения в маршрутах проводятся в точках, расположенных через 5-25 м. Плотность снега на каждом угодье измеряется весовым снегомером ВС-43 в 5 точках и, кроме того, в пунктах с характерным залеганием снега. На водосборе с лесополосами снегомерные маршруты должны проходить перпендикулярно направлени-

ям полосы.

Средний запас воды в снеге (мм) на каждом виде угодий определяется путем перемножения его средней высоты (мм) и средней плотности (г/см^3). На всем комплексном водосборе запас воды в снеге (X) определяется как средневзвешенная величина через площадь отдельных угодий Si и всю площадь S:

$$X = \frac{\sum X \cdot Si}{S},$$

Осадки, выпавшие в период после проведения снегомерной съемки до конца снеготаяния, добавляют к запасам воды в снеге.

2.3. *Глубина промерзания почвы* определяется в те же сроки, что и снегозапасы. При этом применяется копка шурфов в мерзлой земле, бурение и другие способы. Основным признаком мерзлой почвы является наличие в ней кристалликов льда и механическое сопротивление при разломе и разминании кусочков почвы и ее влажность. Динамику промерзания и оттаивания почвы изучают также при помощи мерзлотомера Данилина МД-2, проводя наблюдения три раза в месяц. Одновременно проводят замеры высоты снежного покрова. Следует иметь в виду, что МД-2 фактически показывает глубину проникновения отрицательных температур и поэтому преувеличивает показатели глубины промерзания почвы, а в весенний период занижает скорость ее оттаивания снизу и сверху. Поэтому указанный метод определения промерзания почвы нужно применять в сочетании с другими методами.

Для оценки глубины промерзания почвы можно использовать данные Гидрометслужбы, но только те, которые определялись по кристалликам льда непосредственным бурением почвы

на различных видах угодий водосборов. Почва бывает талая или глубоко промерзает обычно на больших территориях, охватывающих сотни и тысячи квадратных километров. Важно определить границу между талой и глубоко промерзшей почвой, если она не выходит за пределы исследуемого водосбора.

2.4. *Влажность мерзлой почвы* определяется в 3-кратной повторности до глубины 50 см. Образцы берутся со следующих глубин: 0, 10, 20, 30, 40 и 50 см. Влажность почвы выражается в процентах, а запасы влаги в миллиметрах послойно и суммарно для всей толщи. Запасы влаги вычисляют по формуле Н. А. Качинского:

$$W = \frac{M \cdot V \cdot K}{10},$$

где M – мощность слоя почвы, см; V – общая масса почвы, г/см^3; K – влажность данного слоя почвы, %.

Если почва на водосборе талая или промерзла на глубину до 50 см, то запасы воды в почве можно не определять.

2.5. *Удельная масса почвы* [31]. Удельной массой почвы называется отношение веса твердой фазы почвы в сухом состоянии к весу равного объема воды. Это вес в граммах одного кубического сантиметра твердой фазы сухой почвы. Ее определяют пикнометрическим способом. Знание удельной массы необходимо для вычисления скважности почвы. Для вычисления надо знать объем и вес твердой фазы почвы. При пикнометрическом способе объем твердой фазы определяется путем вытеснения воды, взятой навеской почвы.

Порядок определения следующий:

1. Налить в колбу около 250 мл дистиллированной воды, кипятить примерно полчаса для удаления из нее растворенно-

го воздуха и охладить до комнатной температуры.

2. Взять пикнометр (или мерную колбу) объемом 100 мл, налить в него до метки прокипяченную и охлажденную дистиллированную воду, измерить температуру и взвесить на аналитических весах.

3. Взять среднюю пробу из просеянного через миллиметровое сито образца и отвесить на аналитических весах в стеклянный стаканчик или в какую-либо другую тару воздушно-сухую почву в пределах 9-10 г. Одновременно с этим взять навеску для определения гигроскопической влаги, если ее не определяли.

4. Из взвешенного пикнометра (см. пункт 2) вылить немного больше 1/2 объема воды и всыпать в него взятую навеску почвы. Стаканчик, в котором находилась почва, снова взвесить и по разности между стаканчиком с почвой и пустым стаканчиком определить вес почвы, взятой для определения удельного веса.

5. Почву и воду в пикнометре кипятить в течение получаса для удаления воздуха, доливая дистиллированную воду по мере выкипания до половины его объема.

6. После кипячения пикнометр с содержимым охладить до комнатной температуры и долить прокипяченную и охлажденную воду до метки, вытереть снаружи фильтровальной бумагой взвесить на аналитических весах. При этом нужно следить, чтобы температура пикнометра с водой и почвой была одинаковой с первоначальной температурой пикнометра с водой.

Удельную массу вычисляют по формуле:

$$dv = \frac{A}{(B + A) - C},$$

где d_v – удельная масса (г/см^3); А – навеска сухой почвы; В – вес пикнометра с водой (г); С – вес пикнометра с водой и почвой (г).

$$A = \frac{a \times 100}{100 + Г_{H_2O}},$$

где а – навеска воздушно-сухой почвы, г; $Гн_2о$ – гигроскопическая влага, %.

2.6. *Объемная масса почвы* [31] (плотность грунта) – отношение массы (веса) грунта к его объему, г/см³, определяется путем отбора образцов с ненарушенным сложением с различных глубин (0, 10, 20, 30, 40, 50 см) при помощи прибора Качинского в 3-кратной повторности с последующим высушиванием и взвешиванием.

Для этого пустое кольцо с пластинами-крышками взвешивается, измеряются его размеры (внутренний диаметр и высота) и вычисляется его внутренний объем с точностью до 0,1 см³. Затем в него набирается грунт и кольцо с грунтом опять взвешивается. Вес грунта разделенный на внутренний объем кольца покажет объемную массу грунта (плотность).

Последовательность определения плотности грунта следующая:

1. Кольцо, смазанное изнутри тонким слоем вазелина, заостренной поверхностью установить на предварительно выровненную поверхность грунта и вдавить его на 1-2 мм в грунт. Перекос и забивание кольца не допускаются.

2. Если нужно, то узким шпателем или ножом прорыть вокруг кольца канавку, формируя грунтовый столбик. Аккуратно и постепенно насадить кольцо на столбик. Снова прорывать канавку и снова вдавить кольцо, пока оно полностью

не заполнится исследуемым грунтом и грунт окажется выше кольца на 1-2 мм.

3. Если грунт плотный, подрыть его под кольцом на конус и вынуть кольцо с грунтом. Если грунт рыхлый, срезать кольцо ниже его на 10-15 мм плоской лопаткой или пластиной. Одновременно отобрать пробу грунта для анализа влажности.

4. Срезать грунт сверху кольца, выравнивая его по верхней кромке и накрыть стеклянной металлической или пластмассовой, предварительно взвешенной пластиной. Перевернуть кольцо и сровнять грунт с кромкой кольца. Иными словами, нужно сделать так, чтобы в кольце сохранился грунт естественного сложения, заполняющий весь объем кольца.

5. Протереть кольцо и взвесить его с крышкой-пластинкой и грунтом на весах с точностью до 0,01 г. Требуется проводить не менее трех параллельных испытаний. Результат рассчитывают как среднеарифметическое.

6. Объемная масса грунта естественной влажности ρ вычисляется по формуле:

$$\mathrm{d} = \frac{m - m_1 - m_2}{V},$$

где m – вес образца грунта с кольцом и пластинками г; m_1 – вес кольца, г; m_2 – вес стекол или пластинок, г; V – объем грунта, находящегося в полости кольца (внутренний объем кольца), см^3.

Объемная масса мерзлой почвы меньше, чем талой, и при определении запасов влаги в мерзлой почве, исходя из ее объемного веса, найденного в теплый период, получаются преувеличенные данные, поэтому важно знать объемную массу мерзлой почвы. Для этого рекомендуется пользоваться сле-

дующим методом при определении объемной массы мерзлой почвы. Кусок мерзлой почвы опускают в алюминиевый стакан (бюксу) с известным объемом, куда затем насыпают пшено и заполняют им пустоты. После этого избыток пшена снимают со стакана линейкой, объем пшена в бюксе измеряют мензуркой. При разности объемов алюминиевого стакана и всыпанного пшена определяют объем куска мерзлой земли. Указанная работа проводится в поле при морозной погоде, в тени. Затем этот кусок высушивают до абсолютно сухого состояния и взвешивают, после чего вычисляют его объемную массу при данной влажности.

2.7. Общая порозность почвы [31] (скважность или пористость) почвы показывает суммарный объем пустот, различных по величине и форме. Скважность зависит от механического, агрегатного состава и структуры почвы, формы частиц, плотности их упаковки, пронизанности почвы корнями, червоточинами и т. д. Она изменяется при набухании почвы. Величина общей порозности определяет в основном водный и воздушный режим почвы, полную влагоемкость и воздухоемкость; от нее зависит передвижение воды в почве: водопроницаемость, глубина промачивания, подъем грунтовых вод, испарение. Если известны объемная (ρ) и удельная (УВ) массы почвы, то можно вычислить общую порозность (скважность или пористость в объемных процентах):

$$\mathrm{P}_{\text{общ}} = 100(1 - \frac{d_v}{d}).$$

2.7. Площадь малых водосборов определяется по топографическим планам масштаба 1:10000-1:25000, а бассейнов рек 1:50000-1:1000000.

2.8. Площадь территории, занятой уплотненной пашней и зябью на малых водосборах, определяется на основе статистических данных муниципальных образований, а для бассейнов рек – региональных, а затем они суммируются по водосбору реки.

3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ СТОКОМ И ПРИРОДНЫМИ ФАКТОРАМИ

3.1. Анализ материалов по оценке связи поверхностного стока с природными факторами

Планирование мер борьбы с эрозией почв должно осуществляться на основе знания закономерностей формирования поверхностного стока. Известно, что важнейшими факторами, влияющими на формирование стока, являются увлажнение почвы перед снеготаянием, величина запасов воды в снеге, глубина промерзания почвы, интенсивность и продолжительность снеготаяния и др. Большинство из них влияют на формирование стока комплексно, во взаимодействии. Сейчас в литературе имеется много материалов о роли различных факторов в формировании стока [1, 3, 5-8 10-15, 23-26]. Однако они, как правило, рассматриваются каждый в отдельности без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени различаются и даже бывают противоположными. Г. Ф. Басов и М. Н. Грищенко [5], исследуя этот вопрос в Воронежской обл., пришли к выводу, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока увеличивается. С. И. Небольсин и П. П. Надеев [27], проведя многолетние ис-

следования в Московской обл., пришли к выводу о том, что с увеличением снегозапасов коэффициент стока уменьшается. И. П. Сухарев и Е. М. Сухарева [37] считают, что в ЦЧО с увеличением снегозапасов уменьшается коэффициент стока, а в некоторых случаях и величина стока. Результаты этих исследований относятся к условиям неравномерного распределения снежного покрова под влиянием лесных полос, где в примыкающих к ним зонах откладываются мощные снежные шлейфы. А. И. Чеботарёв и С. И. Харченко [40] пришли к выводу, что снегозапасы прямо влияют на сток весеннего половодья. Г. П. Сурмач [35] отмечает, что не всегда можно выделить в чистом виде влияние снегозапасов на сток, иногда накладывается действие других факторов. Он приводит обобщенные им результаты исследований многих авторов на серых лесных и каштановых почвах, черноземах типичных, выщелоченных, обыкновенных и южных, которые указывают на то, что с увеличением запасов снеговой воды сток, как правило, возрастает. Одновременно с этим во многих случаях повышается и коэффициент стока. Им также на основании результатов исследований для района Тимашево Самарской обл. установлена математическая связь стока $У$ со снегозапасами X, которая выражается уравнением $У = 0{,}36X + 35{,}7$. На основании анализа этих связей Г. П. Сурмач пришел к выводу о том, 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 следующие случаи.

1. Снег ложится на иссушенную или умеренно влажную почву, сильные оттепели отсутствуют. В этих условиях сток с

рыхлой пашни (а в ряде случаев и с уплотненной пашни) отсутствует независимо от глубины промерзания как при малой или нормальной, так и повышенной мощности снежного покрова.

2. Почва уходит в зиму во влажном состоянии, снежный покров устойчивый и сохраняется в течение всей зимы. В этих условиях на рыхлой пашне формируется очень слабый и слабый сток. По мере увеличения мощности снежного покрова в рамках обычных снегозапасов сток повышается, а его коэффициент остается на том же уровне. На уплотненной пашне, а в более северных районах на оподзоленных черноземах и серых лесных почвах и на зяблевой пахоте увеличение мощности снежного покрова в таких условиях сопровождается значительным увеличением объема стока и некоторым повышением его коэффициента.

3. Снег выпал на переувлажненную в предзимний период и замерзшую почву и сохраняется в течение всей зимы. Вследствие этого весной даже на рыхлой пашне формируется умеренный и сильный сток, не говоря уже об уплотненной пашне и выгонах. По мере увеличения снегозапасов объем и коэффициент стока с рыхлой и особенно с уплотненной пашни повышаются.

4. Почва уходит в зиму различно увлажненной, зимой бывают глубокие оттепели с дождями, вызывающие частичное или полное стаивание снега. В дальнейшем почва замерзает в переувлажненном состоянии и теряет способность впитывать талую воду. В этих условиях сток и коэффициент стока с увеличением снегозапасов повышаются. В результате формируются сильные паводки. В местах, где в течение всей

зимы сохраняется снежный покров мощностью не менее 20-25 см (например, в приопушечной зоне лесополос), вся талая вода во время оттепелей просачивается в почву и исключается возможность образования поверхностной ледяной корки. Эти участки и в период завершающего весеннего снеготаяния могут поглощать талую воду, способствуя тем самым сокращению стока. В таких условиях слой и коэффициент стока имеют обратную связь с запасами снеговой воды.

5. Почва уходит в зиму при различном увлажнении, зимний период характеризуется неустойчивой погодой. Периоды умеренного похолодания сменяются оттепелями, осадки выпадают преимущественно в виде снега и дождя, почва слабо замерзает и вновь оттаивает, снежный покров неустойчивый. Весенний сток с зяби в такие годы отсутствует или бывает очень слабый, а с других сельскохозяйственных угодий – очень слабый и слабый до умеренного.

Таким образом, Г. П. Сурмачем проанализирована связь стока и коэффициента стока со снегозапасами в различных гидрометеорологических условиях, что позволило ему разработать схему прогнозирования стока на качественном уровне – слабый, умеренный и т. д. [34].

Е. В. Полуэктов [30] провел подобный анализ для условий североприазовских черноземов Ростовской обл. и сгруппировал различные сочетания факторов следующим образом:

I группа – почва с осени иссушена. В течение зимы несколько раз выпадает снег, который в результате непродолжительных оттепелей тает без образования стока. Почва промерзает на незначительную глубину. К весне снег в основном сосредоточен в ложбинах, лощинах, балках и лесных полосах.

На рыхлой и уплотненной пашне сток отсутствует.

II – почва уходит в зиму различно увлажненной. Умеренно холодная, с частыми снегопадами зима прерывается оттепелями. Происходит частичное или полное стаивание снега с образованием небольшого стока. В дальнейшем почва замерзает в переувлажненном состоянии, водопроницаемость ее резко снижается. Большая часть выпадающих потом осадков стекает со склонов.

III – осенью и в первой половине зимы наблюдаются обильные дожди иногда со снегом, которые сильно увлажняют почву. Похолодание во второй половине зимы сопровождается кратковременными оттепелями. Весной количество осадков ниже нормы. В этих условиях весенний сток небольших объемов формируется на рыхлой и значительно больших – на уплотненной пашне.

IV группа – почва уходит в зиму при различном увлажнении. Зима характеризуется неустойчивой погодой, умеренное похолодание сменяется оттепелями, осадки выпадают в виде снега и дождя. Почва промерзает на небольшую глубину и вновь оттаивает, снежный покров неустойчив. На уплотненной пашне возможно образование ледяной корки. При таком сочетании условий сток талых вод на рыхлой пашне отсутствует или бывает очень слабым, на уплотненной пашне он слабый и умеренный. Группирование природных факторов по влиянию их на сток талых вод также позволило ему предложить метод прогноза стока с рыхлой и уплотненной пашни на качественном уровне. Им удалось глубоко и всесторонне проанализировать связь стока талых вод с природными и антропогенными факторами, но к сожалению прогноз стока не был формализо-

ван. Г. П. Сурмач писал, что "прогнозирование стока талых вод, основанное на учете степени увлажнения почвы и погодных условий осенне-зимнего периода (температура воздуха, осадки, наличие оттепелей), не имеет строгой расчетной основы, и поэтому точность этого способа невысока" [34].

В формализованном виде метод прогноза стока рек за период половодья, который можно использовать с определенными допущениями для прогноза поверхностного стока, предложили Б. А. Аполлов, Г. П. Калинин, В. Д. Комаров [1] на основе анализа связи водопоглотительной способности почвы бассейна перед началом снеготаяния с природными факторами. Ими предложено следующее выражение для определения стока рек за период половодья:

$$У = S - P_o(1 - e^{s/p}), \qquad (1)$$

где $У$ – речной сток в период половодья, мм; S – запасы воды в снеге и ледяной корке, мм; P_o – параметр, характеризующий водопоглотительную способность бассейна перед началом снеготаяния и представляющий собой максимально возможные потери талых вод при таянии снежного покрова с большим, практически бесконечно большим, запасом воды, мм.

Для рек центральной части степной и лесостепной зон европейской территории СССР ими была установлена зависимость параметра P_o от глубины промерзания L и льдистости слоя почвы 0-100 см или влажности ее в мерзлом состоянии W. На основе анализа многолетних наблюдений за стоком, снежным покровом, промерзанием почвы, ее влажностью и другими факторами половодья получена эмпирическая формула

$$P_o = 750e^{-0,051we} - 0,051WL. \qquad (2)$$

Глубина промерзания в этой формуле ограничена 60 см,

т. е. все большие величины приравнены к 60 см. Этот подход обладает следующими недостатками:

1. Его можно использовать для расчета поверхностного стока с некоторыми допущениями, так как он разрабатывался для речного стока.

2. Формула (2) показывает, что водопоглотительная способность почвы зависит от глубины ее промерзания, начиная с любой величины больше нуля. Это не так. Экспериментальные данные свидетельствуют (что будет показано ниже) о том, что при глубине промерзания почвы до 50 см сток талых вод отсутствует при любом уровне снегозапасов и увлажнения почвы.

3. Для установления связи стока с льдистостью достаточно иметь влажность мерзлого слоя почвы 0-50 см, а не 0-100 см, как принято у авторов. Дело в том, что за период снеготаяния впитывание талой воды в почву происходит только до 25-30 см, т. е. в процесс водопоглощения вовлечен небольшой слой почвы и его достаточно для оценки влажности как природного фактора стока. Вовлечение более глубоких слоев почвы в расчеты приводит к увеличению ошибки прогноза.

4. Влажность почвы определяется перед началом зимы и делается поправка на увлажнение во время зимних оттепелей. Это тоже приводит к ошибке. Лучше это делать непосредственно перед снеготаянием.

Комаров В. Д. выявил важную роль теплофизического взаимодействия талой воды с мерзлой почвой [17, 18]. Последующие исследования этого вопроса углубили понимание сути процесса впитывания талой воды в мерзлую почву Наибольший интерес представляют исследования И. Л. Калюжного, К. К. Павловой и С. А. Лаврова [15-16, 38], которые

разработали концепцию формирования в мерзлой почве "запирающего слоя", суть которой заключается в том, что при некотором соотношении влажности и температуры мерзлой почвы в ней формируется водонепроницаемый слой. Отмечая большую роль промерзания и влажности почвы в формировании поверхностного стока талых вод и важность концепции "запирающего слоя" для понимания процесса взаимодействия талой воды с мерзлой почвой, следует отметить несогласованность результатов расчетов "запирающего слоя" с данными экспериментов авторов концепции. Выявлены случаи больших различий в стоке при равных мощностях "запирающего слоя", что не позволяет использовать эти результаты при прогнозировании стока.

Гаршинёвым Е. А. [10] выдвинута и обоснована концепция "ледяного экрана", формирующегося на границе талого и мерзлого слоев почвы. Ее суть состоит в том, что при оттаивании верхнего слоя почвы по границе с мерзлым слоем происходит полное перекрытие всех пор почвы льдом и инфильтрация влаги в обычном ее понимании замещается процессом "термоинфильтрации" – протаиванием почвы в результате ее теплообмена за счет притока тепла извне. Формирование "ледяного экрана" и обусловливает сток талых вод даже в условиях, когда верхний мерзлый слой почвы не насыщен полностью.

Алексеевский Н. И., Фролова Н. П., Антонова М. М., Игошина М. И. [28], проанализировав очень большой материал, характеризующий связь речного стока Волги с обусловливающими его факторами, пришли к выводу, что в лесной зоне годовой сток почти линейно связан с суммой годовых осадков, в лесостепной зоне эта связь ослабевает, а в южной части

бассейна Волги годовой сток в бóльшей степени зависит от количества осадков за холодный период, т. е. от снегозапасов.

Демидов В. В. выявил связь стока C со снегозапасами S, интенсивностью таяния снега X, временем полного оттаивания мерзлого слоя почвы r_x, параметром, характеризующим долю водонепроницаемого слоя почвы, приходящуюся на единичную высоту снежного покрова K, суммой положительных температур за период стока $\sum t$ и продолжительностью снеготаяния T [13]. Она выражается уравнением

$$C = 3{,}23 \cdot 10^{-2} \cdot S^{0{,}85} \cdot X^{0{,}7} \cdot r^{0{,}58} \cdot K^{1{,}15} \cdot \Sigma t \cdot T^{0{,}25}. \qquad (3)$$

В уравнении (3) придается большое значение факторам, которые не играют существенной роли в формировании стока (интенсивность снеготаяния, время полного оттаивания мерзлого слоя почвы, соотношение мощности водонепроницаемого слоя почвы и высоты снега, сумма положительных температур и продолжительность снеготаяния), малая роль отводится снегозапасам и совсем не учитываются такие мощные природные факторы, как увлажнение почвы и глубина ее промерзания.

Сурмач Г. П., Ломакин М. М., Шестакова А. П. разработали прогноз коэффициентов стока [33]. Они предложили рассчитывать их по уравнению

$$K_{пр} = (\alpha X^n - вX - cH + d)x(1 + 0{,}0000055P^2_{ос}), \qquad (4)$$

где $K_{пр}$ – прогнозируемый коэффициент стока; X – средняя влажность почвы в мерзлом слое, %; H – глубина мерзлого слоя, см; $P_{ос}$ – влагозапасы в снеге и ледяной корке, мм; α, $в$, c, d, n – параметры уравнения, зависящие от типа и уплотненности почв (для зяби черноземов и каштановых почв соответственно 0,000185; 0,0025; 0,0125; 0,03; 1,25; для рыхлой и

уплотненной пашни серых лесных почв, уплотненной пашни черноземов и каштановых почв соответственно 0,000398; 0,0039; 0,0101; 0,075; 1,10).

Исходя из уравнения (4), коэффициент стока талых вод в сильной степени зависит от снегозапасов, влажности мерзлого слоя почвы и его глубины. Это уравнение также имеет ряд недостатков. Во-первых, при отсутствии снега возможен сток, что противоречит здравому смыслу. Во-вторых, по уравнению получается, что чем больше глубина промерзания, тем больше сток. Это не соответствует действительности, на что указывают А. Т. Барабанов, Б. А. Апполов, В. Д. Комаров в своих работах [1, 3]. В-третьих, влажность почвы определяется в слое, равном глубине ее промерзания. В этом нет необходимости, достаточно определить ее до глубины 30-50 см. Вовлечение большей глубины (а глубина промерзания почвы бывает до 150-200 см) приводит к сильному варьированию влажности почвы и к большой ошибке при выявлении связи стока талых вод с природными факторами и его прогнозировании.

Водогрецкий В. Е. с соавторами предлагает оценку изменения поверхностной составляющей речного стока осуществлять на основании зависимости [7]

$$\alpha = f(U_t, I), \qquad (5)$$

где α – коэффициент склонового весеннего стока; U_t – показатель, характеризующий степень увлажненности в метровом слое и промерзаемости почвогрунтов в период, предшествующий стоку; I – уклон склона.

В качестве значения U_t приняты произведения суммарных влагозапасов U в слое 100 см на сумму отрицательных значений температуры воздуха $\sum(-t)$ за период от начала устойчиво-

го перехода температуры воздуха через 0 °С до 1 января.

Зависимость (5) не может правильно отражать связь поверхностного стока с природными факторами по следующим причинам. Во-первых, в уравнении не учитываются снегозапасы, хотя известно, что они сильно влияют на сток и коэффициент стока. Во-вторых, произведение влагозапасов на сумму отрицательных температур (индекс U_t) не может отражать уровень водопроницаемости почв. Известно, что снег хорошо изолирует почву и состояние ее часто не зависит от температуры воздуха, т. е. при большой сумме отрицательных температур воздуха почва может остаться талой и сохранить впитывающую способность на высоком уровне. В-третьих, от уклона поверхностный сток талых вод почти не зависит [10, 22, 34]. Г. П. Сурмач писал, что "в отношении влияния уклона на сток талых вод мы, как и М. И. Львович и др., считаем, что оно весьма незначительно или вовсе отсутствует. Такой вывод обосновывается следующими соображениями: во-первых, интенсивность впитывания талых вод почвой мало зависит от нанорельефа поверхности, наличия травостоя и других вышеуказанных факторов, так как роль основного фактора, обеспечивающего контакт воды с почвой (ее затопление), выполняет снежный покров; во-вторых, при отсутствии снежного покрова вследствие пониженной инфильтрационной способности мерзлой почвы уклон также очень слабо влияет на величину стока" [34].

Шеппель П. А. на основании математической обработки 25-летнего ряда наблюдений получил следующие уравнения расчета притока паводковых вод W_n к каскаду водохранилищ Волжско-Камского бассейна в зависимости от максимальных снегозапасов h [42]:

$$W_n = 14{,}7\sqrt{h}\text{, км}^3; \quad (6)$$

$$W_n = 0{,}94h + 54\text{, км}^3. \quad (7)$$

Из уравнений (6), (7) видно, что поверхностный сток с бассейна Волги находится в прямой связи со снегозапасами, т. е., чем больше снега, тем больше сток. Это противоречит многочисленным данным. Сток зависит не только от снегозапасов, но и от других факторов, которые находятся в сложном взаимодействии.

Бураков Д. А. и Литвинова О. С., анализируя роль факторов в формировании речного стока, отмечают, что в районах с глубоким промерзанием почвы влияние многолетней изменчивости глубины промерзания не сказывается на колебаниях потерь стока весеннего половодья по годам [6]. Важным фактором формирования талого стока в этих районах является осеннее увлажнение бассейнов.

Урбанова О. Н. и Семанов Д. А., разрабатывая прогноз притока воды в пруды Татарии, отмечают, что часто при высоких снегозапасах сток половодья может быть низким и, наоборот, при небольших – очень высоким [39]. Причинами такого несоответствия они считают сложившуюся к началу снеготаяния метеорологическую обстановку и различные по величине потери воды на испарение и фильтрацию. Поэтому при прогнозировании стока, по мнению авторов этого прогноза, кроме данных о снегозапасах на водосборе необходимо для определения потерь на фильтрацию учитывать сведения о ходе среднесуточных температур воздуха, об осеннем и весеннем (перед паводком) увлажнении почвы, об осадках, выпадающих в период снеготаяния, о промерзаемости почвы.

Двинских С. А., Китаев А. Б., Михайлов А. В., изучая многолетнюю динамику изменения климатических факторов, выявили, что наиболее отдаленным признаком высокого половодья является необычно теплая и дождливая осень и запас снеговой воды [12]. Однако, как отмечают авторы, в 1979 г. запас воды в снеге в 1,5 раза превышал норму, а наводнения не произошло. Они считают, что анализ всех факторов, вызывающих наводнения, пока не позволяет построить модель их формирования из-за противоречивости результатов.

Гагаринова О. В. исповедует ландшафтно-гидрологический подход к исследованию природных факторов, оказывающих влияние на формирование речного стока [8]. Она использует целый ряд физико-географических параметров: геологическое строение, экспозицию склонов, средний уклон водосбора, густоту речной сети, лесистость территории, заболоченность и т. д.

На подходах Гидрометцентра России к прогнозам стока остановимся подробнее, так как по этим прогнозам осуществляется попуск весеннего паводка на Волжско-Камском каскаде водохранилищ.

По В. М. Мухину, "объем весеннего половодья (притока воды в водохранилище) определяется по многим постоянным и переменным факторам. В основе методов прогноза объема воды за половодье лежат различные формы его зависимостей от стокоформирующих факторов, одна часть из которых непосредственно измеряется, другая – рассчитывается и еще часть служит лишь косвенными характеристиками первых. К первым относятся запасы воды в снежном покрове и ледяной корке на почве, влажность того или иного слоя почвы и ее

глубина промерзания, осадки, характеристики почвы, прежде всего ее водопроницаемость, температура и дефицит влажности воздуха, которые определяют интенсивность таяния снега и испарение как с его поверхности, так и с поверхности почвы, освободившейся от снега. Ко вторым относятся постоянные характеристики водосборов: размеры, конфигурация бассейна, уклоны его поверхности, рельеф, почвенный состав и растительный покров (залесенность), озерность и заболоченность" [26]. Косвенными показателями стокоформирующих факторов, определяющих объем половодья, могут служить те или иные характеристики циркуляции атмосферы, температура поверхности океанов в энергоактивных районах, временные автокорреляционные функции многолетнего ряда наблюдений за объемами половодий и др.

В основу долгосрочных прогнозов и расчетов стока равнинных рек В. М. Мухиным положены 3 основных метода: водно-балансовый, физико-статистический и метод, основанный на математических моделях формирования талого стока на равнинах. Такие модели включают расчет накопления запасов воды в снежном покрове и процесса его таяния, расчет влажности, глубины промерзания почвы, а также процесса стекания воды по одному или нескольким относительным водоупорам.

Важнейшим фактором весеннего половодья, по его мнению, является снежный покров, характеризуемый величиной запасов воды в нем, величиной покрытой им площади (%) и его распределением по территории.

"Другим важнейшим фактором формирования половодья на реках, – пишет В. М. Мухин, – является водопоглотительная способность почвы, которая зависит от глубины промерзания

почвы, ее влажности и температуры, интенсивности поступления талой воды на поверхность почвы, которая, в свою очередь, зависит от дружности весны. Чем медленнее при прочих равных условиях происходит таяние снега, тем больше почва может впитать и профильтровать талой воды, и наоборот".

Глубина промерзания l_i зависит от зимней температуры воздуха и толщины снежного покрова и выражается через сумму средних декадных значений температуры воздуха и высоту снега по уравнению

$$l_i = f(\sum_{i=1}^{i=n} \alpha i\ (h)\Theta i)\alpha_i(h)\Theta i), \qquad (8)$$

где $\alpha_i = exp(-0{,}39h_i)$; h – толщина снежного покрова, см; Θ – сумма средних декадных значений температуры воздуха; α – коэффициент, зависящий от толщины снежного покрова; i – номер точки бассейна или его части.

Уравнение (8) не может характеризовать глубину промерзания почвы, а тем более нельзя рассчитывать ее. Снег хорошо изолирует почву и состояние ее часто не зависит от температуры воздуха, т. е. при большой сумме отрицательных температур почва может остаться талой и сохранить впитывающую способность на высоком уровне.

Как считает В. И. Мухин, "влажность почвы нередко является более сильным фактором формирования половодья, чем глубина промерзания. На влажность же почвы приходится бóльший процент потерь стока, так как при переувлажненной почве величина глубины промерзания практически теряет свое влияние на формирование объема половодья при одном и том же запасе воды в снежном покрове. Наибольшее значение для точности гидрологических прогнозов имеют запасы

влаги в почве перед началом снеготаяния. Однако наибольшая часть наблюдений за ней проводится на агрометеорологических станциях в зависимости от посевных площадей. В связи с этим гидрологи используют осеннюю влажность почвы и косвенные показатели влагоемкости всего бассейна, приуроченные, как правило, к осеннему периоду".

Учет такого большого количества факторов, одни из которых не играют существенной роли в формировании стока, а другие (глубина промерзания, влажность почвы и т. д.) рассчитываются по косвенным показателям, приводит к большим ошибкам.

Мухин В. М. также отмечает, что "учесть все факторы, определяющие величину влажности почвы в данный момент для точки, практически невозможно". В связи с этим в основном используются методы расчетов косвенных показателей влажности почвы к осени, а затем производятся вычисления прибавки к ней в период оттепелей по уравнению

$$W = X_n + (X - Z)_k + W_o, \qquad (9)$$

где W – увлажнение почвы; X – осадки; Z –испарение; n – количество суток, за которые суммируются осадки до даты наступления морозов; k – количество суток, за которые вычислена разность между осадками и испарением (обычно 2-4 месяца); W_o – начальное значение увлажнения почвы.

Это приводит к значительному снижению точности прогноза, так как расчеты основаны на косвенных показателях, а не непосредственных определениях влажности почвы.

Он пишет, что "известно довольно большое число способов реализации уравнения водного баланса бассейна реки. Выбор способа зависит от ряда обстоятельств, определяемых на-

личием тех или иных данных наблюдений, их количеством, длиной их ряда. На выборе способа также сказываются физико-географические условия в бассейне и, в конечном счете, концептуальные оценки исследователя соотношений между факторами стока и степенью их воздействия на элементы половодья".

Для прогноза стока талых вод В. М. Мухин использует следующее уравнение:

$$Y(j) = S(j) - P(j)th[S(j)/P(j)], \qquad (10)$$

где th – гиперболический тангенс; $S(j)$ – запасы воды в снежном покрове на момент составления прогноза в j-м году, равный $\alpha_i S(j)\alpha_2 X(j, k)exp(-\alpha_3 k)$, $X(j, k)$ – количество осадков в k-м отрезке времени, на который разделен период от даты составления прогноза до конца второго квартала; $P(j)$ – характеристика потерь стока, равная $\alpha_4 exp\{-\alpha_5 W(j)[1 + \alpha_6 L(j)]\}$, $W(j)$ – характеристика влагозапасов в бассейне накануне составления прогноза, $L(j)$ – глубина промерзания почвы, $\alpha_1, \ldots \alpha_6$ – параметры, величины которых определяются путем применения оптимизационных процедур.

В этих подходах применен балансовый метод. Величина стока равна разнице между запасами воды в снеге и потерями ее на впитывание $P(j)$ (объем воды, просочившейся в почву). Самым сложным является определение потерь воды на впитывание. По уравнению (10) они зависят от запасов воды в почве и глубины ее промерзания. При этом, чем больше запасы влаги в почве, тем больше сток, и чем больше глубина промерзания, тем больше сток.

Эта методика не позволяет получить высокоточный прогноз стока по следующим причинам:

используется очень много факторов, часть из которых не

играют существенной роли в формировании стока, но способствуют значительному увеличению ошибки его расчета;

часть факторов стока (глубина промерзания, влажность почвы и др.) рассчитываются по косвенным показателям, а не определяются непосредственно в поле. Например, глубина промерзания определяется по сумме отрицательных температур и высоте снега. Это может приводить к большим ошибкам. Если снежный покров установился на талой почве, то она останется талой, какой бы ни была сумма отрицательных температур. Для расчета стока берется предзимняя влажность почвы и затем делаются расчетным путем поправки на ее изменение в течение зимы за счет оттепелей. Это тоже приводит к большим ошибкам; увлажнение почвы также рассчитывается по косвенным показателям.

Калининым Г. П. и Дарман З. С. (по Гельфану А. Н. [11]) предложено определять величины максимального расхода стока весеннего половодья разной вероятности превышения по уравнению

$$Q_{max} = Q_0 + A\frac{S}{\tau}, \qquad (11)$$

где Q_{max} – максимальный расход стока весеннего половодья, Q_0 – средний расход грунтового питания в весенний период, A – площадь водосбора, S – максимальные запасы воды в снеге, τ – продолжительность половодья.

Из уравнения (11) видно, что максимальный расход стока весеннего половодья прямо пропорционален запасам воды в снеге и обратно пропорционален продолжительности половодья, т. е., чем снегозапасы больше, тем больше сток, и чем больше продолжительность половодья, тем меньше макси-

мальный расход стока весеннего половодья. Это не так. На самом деле связь стока с запасами воды в снеге более сложная, а с продолжительностью половодья ее совсем нет, что будет показано ниже.

Анализ всех уравнений прогноза стока талых вод показал, что при разработке прогноза по применяемым в настоящее время методикам либо используется один фактор (например снегозапасы), либо десяток и более факторов. Ни то, ни другое неприемлемо. Из этих уравнений видно, что сток в основном зависит от снегозапасов, хотя в них и учитывается водопоглотительная способность почвы через глубину промерзания, ее увлажнение и другие факторы, но, судя по коэффициентам, эти показатели либо играют незначительную роль, либо очень большую.

Таким образом, в литературе много данных по влиянию природных факторов на сток талых вод. Однако эти факторы рассматриваются в основном без учета совокупности их влияния. Причем взгляды разных исследователей в значительной степени различаются и даже бывают противоположными. Это объясняется тем, что ими использовались разные подходы, концепции и, главное, разные методы исследований. Все имеющиеся в литературе результаты исследований, обобщения и анализа связи стока талых вод с природными факторами, а также методы его прогнозирования в настоящее время не дают возможности однозначно определить роль тех или иных факторов в формировании стока, дать точный его прогноз и выявить пути его регулирования эрозионно-гидрологических процессов. Нужен новый методический подход к анализу имеющегося материала и получению дополнительных данных.

3.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод

3.2.1. Общая характеристика поверхностного стока талых вод с разных сельскохозяйственных угодий

В ФНЦ агроэкологии РАН (бывший ВНИАЛМИ) в результате многолетних (60-68 лет) исследований элементов водного баланса по четырем опытным эрозионным объектам, расположенным в трех географических зонах (лесостепной с серыми почвами, степной с обыкновенными черноземами и каштановыми почвами и сухостепной со светло-каштановыми почвами), получен уникальный материал, позволяющий дать характеристику поверхностного стока талых вод с разных видов пашни и оценку стокорегулирующей роли зяблевой обработки почвы (прилож. А, Б, В, Г, Д).

Полученные многолетние материалы наблюдений и обобщение литературных данных позволили построить теоретические кривые вероятности превышения стока талых вод на рыхлой и уплотненной пашне, которые хорошо аппроксимируют эмпирические точки исследуемых рядов наблюдений, вычислить показатели стока разной вероятности превышения и стокорегулирующий эффект зяби.

Показатели поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни разной вероятности превышения по природным зонам приведены в табл. 1. Они показывают, что на рыхлой пашне поверхностный сток формируется в лесостепи 5-6 лет в десятилетие, а на уплотненной пашне – 7-8 лет из 10-ти и величина его значительно больше. В степной зоне

Таблица 1

Средние и разной вероятности превышения показатели поверхностного стока талых вод с уплотненной и рыхлой пашни, мм

Зона, область, почва	Вид пашни	Среднее	Вероятность превышения, %							C_v	C_s
			1	5	10	50	70	80	90		
Лесостепная, Орловская, серая лесная	1	30	156	101	78	19	5	0	0	1,27	1,68
	2	20	129	81	59	11	0	0	0	1,52	1,96
Лесостепная, Курская:	1	37	169	115	91	28	12	4	0	1,07	1,45
- темно-серая лесная	2	20	118	74	55	11	2	0	0	1,36	2,07
- выщелоченный чернозем	1	37	192	123	93	20	2	0	0	1,44	1,41
	2	15	98	61	44	6	0	0	0	1,76	1,55
Степная, Воронежская, обыкновенный чернозем	1	32	157	102	78	19	5	0	0	1,30	0,95
	2	9	88	53	38	3	0	0	0	2,40	2,11
Степная, Самарская, обыкновенный чернозем	1	36	124	91	75	30	16	9	0	0,87	0,88
	2	7	54	33	24	3	0	0	0	1,79	2,05
Сухостепная, Волгоградская:	1	17	84	55	42	11	5	2	0	1,24	1,72
- темно-каштановая	2	5	37	21	15	2	0	0	0	1,80	2,31
- светло-каштановая	1	15	75	52	41	12	4	0	0	1,19	1,14
	2	3	38	20	12	0	0	0	0	2,43	3,42

Примечание. Вид пашни: 1 – уплотненная, 2 – рыхлая; C_v – коэффициент вариации, C_s – коэффициент асимметрии.

сток формируется на рыхлой пашне 3-4 года в десятилетие, а в сухостепной – 1-2 года. На уплотненной пашне эти показатели были 7-8 лет из десяти. Величины стока разной вероятности превышения уменьшаются при движении с севера на юг и юго-восток, а разница в стоке на рыхлой и уплотненной пашне увеличивается. Такая тенденция наблюдается и при анализе величин стока по годам. Однако в отдельные годы наблюдается инверсия стока, когда в лесостепной зоне он не формируется или бывает меньше, чем в степной и полупустынной зонах, где он значительный. Это указывает на то, что на формирование стока мощное воздействие оказывают при-

родные факторы, особенно глубина промерзания, влажность почвы и снегозапасы, которые формируются в разных зонах под влиянием различных климатических условий, изменяющихся по годам. Анализ этих данных показал, что средние величины стока с уплотненной пашни при движении от серых лесных почв (лесостепь) до светло-каштановых почв (сухая степь) снижаются от 30 до 15 мм. На зяби темпы снижения значительно ниже.

Ход динамики стока в исследуемые периоды показывает, что величины его как на рыхлой, так и на уплотненной пашне колеблются в значительной степени во всех зонах, и отмечается резкое снижение его в последние два десятилетия. Это связано с тем, что почва перед весенним снеготаянием почти все эти годы в лесостепной и степной зонах Русской равнины была талая или промерзала на небольшую (до 50 см) глубину.

Приведенные материалы дают представление и о водопоглощении. Среднемноголетняя величина инфильтрации (впитывания, водопоглощения) в лесостепи составила на рыхлой пашне 76 мм, на уплотненной 73 мм; в степи на рыхлой пашне – 118 мм, на уплотненной – 85 мм, или на 33 мм меньше. В сухой степи эти показатели были соответственно 45 и 40 мм.

Таким образом, в многолетних исследованиях выявлены нормативные величины поверхностного стока с рыхлой и с уплотненной пашни. Полученные научные материалы являются необходимыми для расчетных методов прогнозирования стока, разработки и проектирования противоэрозионных комплексов.

Было также установлено, что почва способна поглотить и удержать определенное количество воды, максимальная ве-

личина которого в мерзлом состоянии может достигать полной влагоемкости верхнего слоя.

3.2.2. Зависимость поверхностного стока талых вод от природных факторов. Закон лимитирующих факторов стока

Анализ многолетних материалов, характеризующих связь поверхностного стока с природными факторами, показал, что прямой зависимости стока от снегозапасов, т. е. больше снега – больше сток, нет. Например, в лесостепи в многоснежные зимы (снегозапасы больше100 мм) стока часто не было или он был очень большим – до 146 мм. В малоснежные зимы (снегозапасы меньше 100 мм) стока в отдельные годы также не было, а в другие он был относительно большим (до 51 мм). Парный корреляционный анализ связи стока со снегозапасами показал отсутствие прямой зависимости его от запасов воды в снеге. Коэффициент корреляции на рыхлой пашне составил 0,13, стандартная ошибка 38,4. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 0,43 и 35,4. Однако это не значит, что от снегозапасов величина стока не зависит. Средняя величина стока в многоснежные и малоснежные годы сильно различается. На рыхлой пашне в многоснежные годы она была 30 мм, а в малоснежные – 11 мм. На уплотненной пашне эти показатели были соответственно 45 и 20 мм, т. е. снегозапасы влияют на сток в значительной степени, но во взаимодействии с другими факторами: влажностью почвы и глубиной ее промерзания. Подобная закономерность прослеживается и по другим зонам.

Зависимость поверхностного стока от промерзания почвы следующая. Если почва талая или замерзла на небольшую

глубину (не более 50 см), то сток не образуется, При более глубоком промерзании образуется сток разной величины, не зависящий от дальнейшего его увеличения.

Автором [3] были обобщены и проанализированы многолетние собственные и литературные данные, характеризующие связь слоя стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни с запасами воды в снеге и почве (в слое 0-50 см) перед снеготаянием, глубиной ее промерзания и продолжительностью снеготаяния на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье (прилож. Е, Ж, З, И, К). В результате были определены важнейшие природные факторы стока – снегозапасы, увлажнение и глубина промерзания почвы (интенсивность и продолжительность снеготаяния практически не влияют на величину стока талых вод) и открыт **закон лимитирующих факторов поверхностного стока талых вод**.

Суть закона лимитирующих факторов состоит в том, что при некотором (лимитирующем) значении одного из них сток не формируется независимо от уровня других. Определены также максимальные значения факторов, при которых сток не образуется. Например, на юге ЦРНЗ, в ЦЧО и Поволжье, если почва талая или промерзла до глубины не более 50 см, стока не будет независимо от величины ее увлажнения и количества снегозапасов. Дальнейшее увеличение глубины промерзания почвы выше лимитирующей практически не влияет на величину стока, т. е. при любой глубине промерзания выше лимитирующей он формируется одинаково при одинаковых уровнях других факторов. Решающее воздействие на него в этом случае оказывают влагозапасы в почве и снеге. При увлажнении верхнего (0-50 см) слоя до 123 мм

в ЦРНЗ и 70-95 мм в Нижнем Поволжье сток не формируется независимо от глубины промерзания почвы и снегозапасов (в данном случае лимитирующий фактор – увлажнение почвы). При снегозапасах, не превышающих объем свободных пор в слое почвы 0-30 см, сток также не формируется независимо от уровня увлажнения и глубины промерзания почвы.

При уровнях факторов свыше лимитирующих сток всегда формируется. Величина его в этом случае зависит от сочетания уровней факторов. Роль этих факторов неодинакова в разных природных зонах при различном антропогенном воздействии. На юге ЦРНЗ и севере ЦЧО наиболее мощный фактор формирования стока, как на зяби, так и на уплотненной пашне – увлажнение почвы, а на уплотненной пашне – снегозапасы. Такая закономерность объясняется особенностями почвенно-климатических условий формирования стока. На основе математического анализа результатов исследований разработаны модели формирования стока на разных типах почв (серые лесные, черноземы и каштановые), видах угодий (луг, пашня, залежь) и пашни (зябь, озимые, многолетние травы и др.) (табл. 2). По этим материалам дана методика расчета стока при разных уровнях важнейших лимитирующих его природных факторов с учетом типов почв, видов угодий и пашни.

Было также рассмотрено и оценено влияние хозяйственной деятельности на гидрологические процессы, дана количественная оценка роли антропогенных факторов стока (противоэрозионных мероприятий, обработки почвы, севооборотов, посадки защитных лесных насаждений, создания гидротехнических сооружений, лугомелиорации и др.) на природные факторы и их совместное влияние на формирование стока.

Таблица 2

Уравнения связи стока талых вод на рыхлой $У_р$ и уплотненной $У_п$ пашне с запасами воды в почве $W_п$ и снеге $W_с$, мм

Зона, область, почва	Рыхлая пашня	Уплотненная пашня
Лесостепь, Орловская, серая лесная	$У_р = -141+0{,}08W_п+0{,}38W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}93$; $M_{ух} = 12{,}4$	$У_п = -16{,}4 - 0{,}15W_п+0{,}34W_с$ $R_{УпWпWс} = 0{,}81$; $M_{ух} = 13{,}3$
Лесостепь, Курская, серая лесная	$У_р = -57+0{,}34W_п+0{,}26W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}61$; $M_{ух} = 26{,}8$	Нет данных
типичный чернозем	$У_р = -50+0{,}25W_п+0{,}25W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}92$; $M_{ух} = 4{,}5$	$У_п = -116+0{,}71W_п+0{,}41W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}74$; $M_{ух} = 16{,}0$
Степь, Воронежская, обыкновенный чернозем	$У_р = -40+0{,}19W_п+0{,}38W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}54$; $M_{ух} = 21{,}5$	$У_п = -12+0{,}06W_п+0{,}69W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}91$; $M_{ух} = 6{,}8$
Степь, Самарская, обыкновенный чернозем	$У_р = -53+0{,}51W_п+0{,}04W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}48$; $M_{ух} = 8{,}4$	$У_п = -24+0{,}17W_п+0{,}40W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}92$; $M_{ух} = 7{,}0$
Сухая степь, Волгоградская, каштановая	$У_р = -27+0{,}38W_п+0{,}29W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}96$; $M_{ух} = 7{,}1$	$У_п = -4+0{,}19W_п+1{,}14W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}92$; $M_{ух} = 9{,}2$
светло-каштановая	$У_р = -5{,}2+0{,}04W_п+0{,}44W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}64$; $M_{ух} = 6{,}3$	$У_п = -21{,}9+0{,}26W_п+0{,}22W_с$ $R_{УрWпWс} = 0{,}84$; $M_{ух} = 13{,}1$

Таким образом, факт отсутствия стока талых вод при уровнях природных факторов ниже лимитирующих установлен нами экспериментально и теоретически на уровне фундаментального закона, т. е. выявлен генезис процесса и создана теория его формирования. Это послужило основой для создания методики высокоточного прогноза стока при этих условиях его формирования, а также для разработки высокоэффективных стокорегулирующих и противоэрозионных приемов путем воздействия на эти факторы.

При уровнях же факторов, превышающих лимитирующие, сток формируется на всех угодьях при любых условиях. Объем его связан только с влажностью верхнего слоя почвы и запасов воды в снеге. Генезис этого процесса недостаточно

изучен и в литературе можно встретить разные подходы к его толкованию. Мы на основе регрессионного анализа результатов исследований в годы, когда сток формировался, разработали статистические модели расчета его величины на разных типах почв и агрофонов [3]. В общем виде связь стока с этими природными факторами выражается уравнением

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2,$$

где x_1 – запасы воды в почве, x_2 – снегозапасы.

По уравнению связи процесс формирования стока двухфакторный, а по сути процесса – однофакторный, так как водопоглощение мерзлой почвой обусловливается запасами влаги в ней. Зная то, что объем стока является разницей между снегозапасами и величиной впитывания талой воды в мерзлую почву, можно утверждать, что впитывающая способность почвы полностью обусловливается ее влажностью, вернее дефицитом влажности. В зональном плане эта связь проявляется по-разному. Эти уравнения при расчетах стока дают относительно хорошую сходимость, но репрезентативность их недостаточна.

Статистический подход не полностью подходит для решения задачи прогнозирования стока. Нужна теоретическая основа его формирования при уровнях природных факторов выше лимитирующих на базе знания генезиса гидрологического процесса. Для этого необходимо знать процесс впитывания талой воды в мерзлую почву с точки зрения обмена теплом между впитывающей водой и почвой, т. е. выявить закономерности взаимодействия талой воды с мерзлой почвой.

Этот процесс исследовался с позиций теплофизического взаимодействия талой воды с мерзлой почвой многими уче-

ными [15-18, 20, 21, 23 и др.]. Наибольший интерес в этом плане представляет разработка Е. А. Гаршинёва [10]. Исследуя процесс взаимодействия талой воды и мерзлой почвы, он сформулировал концепцию "ледяного экрана", по который на границе между оттаявшим и мерзлым слоем создается ледяная прослойка и просачивание воды в почву осуществляется путем "термоинфильтрации".

Нами сформулировано положение: мерзлая почва способна впитать и удерживать талую воду, количество которой потенциально может быть равно объему свободных пор оттаявшего сверху слоя, т. е. свободная порозность обусловливает объем поглощения талой воды в почву [3]. Нами экспериментально установлено, что почва за весь период снеготаяния в разных природных зонах и по годам успевает оттаивать за весь период паводка на небольшую глубину – от 3 до 30 см. Таким образом, водопоглощение в мерзлую почву определяется самым верхним слоем. Это означает, что количество впитавшейся талой воды максимально может быть равно объему свободных пор этого слоя почвы небольшой мощности.

Таким образом, при уровнях природных факторов выше лимитирующих всегда создаются условия для формирования весеннего стока и количество его зависит от запасов воды в снеге и верхнем слое (0-30 см) почвы. Этот слой при оттаивании увлажняется до полной влагоемкости. В нем может поглотиться количество талой воды, равное объему свободных пор (разницы между полной влагоемкостью и фактическими запасами воды), который в свою очередь зависит от запасов влаги в нем. Объем стока зависит от снегозапасов и объема свободных пор.

Общая схема взаимодействия талой воды с мерзлой почвой иллюстрируется на рис. 1. В исходном состоянии перед снеготаянием часть пор в мерзлой почве занята влагой, а остальные свободны. Когда начинается процесс снеготаяния, талая вода, имея положительную температуру, поступает на поверхность почвы, которая оттаивает за счет ее тепла, при этом заполняются свободные поры. Между оттаявшим и мерзлым слоями образуется ледяной экран. По мере дополнительного поступления воды и тепла, протаивания почвы и опускания ледяного экрана свободные поры над ним заполняются до уровня полной влагоемкости, т. е. этот процесс продолжается в виде термоинфильтрации. На каждом этапе количество впитавшейся воды в оттаявшем слое выше ледяного экрана, равно объему свободных пор или дефициту влажности – разно-

Рис. 1. Схема поглощения (термоинфильтрации) талой воды в мерзлую почву

разности между полной влагоемкостью и фактическими влагозапасами. Как указывалось выше [3], к концу снеготаяния максимальная глубина оттаивания почвы бывает не более 30 см.

Общий объем водопоглощения за период снеготаяния равен объему свободных пор этого слоя. Если запасы снеговой воды больше этого объема, то излишки ее стекают, т. е. из них формируется поверхностный сток талых вод. На основе изложенного автором предложен новый способ расчета стока (У, мм) для условий, когда природные факторы стока выше лимитирующего уровня: глубина промерзания больше 50 см, запасы влаги в почве больше 70-120 см (по природным зонам).

На этой основе нами разработан новый способ расчета поверхностного стока талых вод при глубине промерзания почвы глубже 50 см. Величина его определяется объемом свободных пор в слое почвы 0-30 см $V_{сп}$ и снегозапасами $W_с$, и может быть рассчитана по уравнению $У = W_с - V_{сп}$. Объем свободных пор равен разнице между общей порозностью $V_{оп}$ и запасами воды в почве $W_ф$: $V_{сп} = V_{оп} - W_ф$. Таким образом, величина стока рассчитывается по уравнению: $У = W_с - (V_{оп} - W_ф)$.

4. МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ВЕЛИЧИНЫ (ОБЪЕМА) ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД НА ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНАХ

4.1. Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод в зависимости от уровня природных факторов приведен в табл. 3.

Таблица 3

Алгоритм прогноза поверхностного стока талых вод в зависимости от уровня природных факторов

<table>
<tr><th colspan="3">Уровень факторов</th><th rowspan="2">Характер формирования стока</th></tr>
<tr><th>глубина промерзания почвы, см</th><th>запас воды в почве (слой 0-50 см), мм</th><th>снегозапасы, мм</th></tr>
<tr><td>Меньше 50</td><td>Любой</td><td>Любой</td><td>Сток не формируется</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Больше 50</td><td>Меньше 70-120 (по зонам)</td><td>Любой</td><td>Сток не формируется</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Больше 70-120 (по зонам)</td><td rowspan="2">Меньше объема свободных пор в слое почвы 0-30 см</td><td>Сток не формируется</td></tr>
<tr><td>Сток формируется, величина его зависит от уровня запасов воды в снеге и почве</td></tr>
</table>

4.2. Сначала анализируются данные по глубине промерзания почвы на водосборе. Если почва талая или промерзла на глубину до 50 см, то поверхностный сток талых вод на сельскохозяйственных и лесных угодьях не сформируется. Если почва промерзла на глубину свыше 50 см, то сток сформируется обязательно и величина его будет зависеть от запасов воды в снеге и почве (в слое 0-30 см). Уровень глубины промерзания

почвы свыше лимитирующего на величину стока не влияет.

4.3. При глубине промерзания почвы свыше 50 см анализируются данные по запасам влаги в верхнем (0-50 см) слое почвы. Если они в лесостепной зоне ниже 120 мм, а в степной и полупустынной зонах ниже 70 мм, то сток не формируется. Затем анализируются запасы воды в снеге. Если они меньше объема свободных пор в слое почвы 0-30 см, то сток не формируется.

4.4. При уровнях факторов выше лимитирующих, т. е. при глубине промерзания почвы свыше 50 см, запасах влаги в слое почвы 0-50 см выше 70-120 мм (по зонам), а в снеге – выше объема свободных пор в слое почвы 0 –30 см сток сформируется и величина (объем) его будет зависеть только от запасов воды в снеге и почве. При этих условиях величина поверхностного стока талых вод с водосбора ($У$, мм) рассчитывается по выражению

$$У = (\sum_{1}^{n} У_i \cdot S_i / \sum_{1}^{n} S_i) - У_{пэм}, \qquad (17)$$

где $У_i$ – сток с i-того агрофона, мм, рассчитывается по уравнениям (см. таблицу 2); S_i – площадь i-того агрофона, га; $У_{пэм}$ – стокорегулирующий эффект от применения системы противоэрозионных мероприятий: противоэрозионная организация территории, лесомелиоративные, агротехнические и гидротехнические приемы, мм. Этот параметр применяется только в том случае, если на водосборе осуществлена полная система мероприятий.

4.5. В связи с тем, что в настоящее время нет многолетних экспериментальных данных, характеризующих влияние природных факторов на формирование поверхностного стока

в лесной зоне на дерново-подзолистых и других почвах, для расчета стока в бассейнах верхней Волги, Вятки и Камы можно использовать уравнения, рекомендованные для серых лесных почв лесостепной зоны. Это допущение приведет к снижению точности, но не в сильной степени. В будущем необходимо провести экспериментальные исследования в этой зоне и получить научно обоснованные уравнения.

4.6. Статистический подход не всегда позволяет получить высокоточный прогноз поверхностного стока талых вод. Для этого предлагается способ прогноза стока на теоретической (генетической) основе по следующему уравнению:

$$Y = W_c - \left[\left(1 - \frac{d_v}{d}\right) * 100\right] * h * 10 - W_{\text{п}},$$

где W_c – запасы воды в снеге, мм; W_n – запасы воды в почве, мм; h – мощность почвенного слоя, м; d_v– объемная масса почвы, г/см^3; d – удельная масса почвы, г/см^3

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ

Для практической реализации методики прогноза поверхностного стока в бассейнах Волги и Дона необходимо проводить мониторинг за природными факторами, влияющими на формирование стока. В настоящее время проводятся наблюдения за снегозапасами, глубиной промерзания и влажностью почвы на метеостанциях и постах гидрометслужбы, в ряде научно-исследовательских институтов. Они работают по разным методикам и получают разные по качеству материалы. Необходимо скоординировать их работу и выработать единую методику сбора материала.

Необходимо проводить мониторинг за природными факторами, влияющими на формирование стока: запасами воды в снеге, глубиной промерзания, влажностью, удельной и объемной массой, порозностью почвы и гидрометеорологическими условиями погоды.

В ФНЦ агроэкологии РАН проводится подробный мониторинг указанных природных факторов только в трех пунктах бассейна Волги: в Орловской обл. (серая лесная почва лесостепи), в Самарской обл. (обыкновенный чернозем степи) и в Волгоградской обл. (светло-каштановая почва сухой степи). На перспективу для более широкого охвата территории бассейнов Волги и Камы наблюдениями за природными факторами стока необходимо создать дополнительно к имеющимся в опытной

сети ФНЦ агроэкологии РАН 9 новых пунктов мониторинга за природными факторами стока (рис. 2, прилож. Л). Места размещения пунктов мониторинга природных факторов стока определялись на основе классификации условий формирования стока по природным зонам с учетом типов почв, характера растительного покрова, гидрометеорологических и климатических условий, характера снегоотложения и др. Регионы обслуживания сгруппированы по близким условиям форми-

Рис. 2. Схема размещения пунктов мониторинга за природными факторами весеннего стока в Волжско-Камском бассейне

рования поверхностного стока талых вод. Кроме того, в Камском бассейне и в верховьях Волги (лесная зона) необходимо проводить исследования по оценке влияния природных факторов на формирование поверхностного стока с целью выявления закономерностей.

Для более широкого охвата территории бассейнов Волги и Дона наблюдениями за природными факторами стока потребуется дополнительно проводить их в следующих пунктах:

- в Волжско-Камском бассейне – Саратов, Казань, Нижний Новгород, Рыбинск, Ижевск, Пермь, Уфа, Киров;

- в Донском бассейне – Ростов, Ст. Оскол, Воронеж (можно в Каменной степи), Липецк, Тула.

Кроме того, в Камском бассейне и в верховьях Волги (лесная зона) необходимо проводить исследования по оценке влияния природных факторов на формирование поверхностного стока с целью выявления закономерностей.

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Барабанов А.Т. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод, его прогноз и регулирование // Известия Оренбург. аграр. ун-та. – 2012. – № 1(33). – С. 65-68.

3. Барабанов А. Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. – 188 с.

4. Барабанов А. Т. Петелько А. И. Прогнозирование поверхностного стока талых вод с сельскохозяйственных угодий в лесостепной части бассейна Волги // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование, 2018. – № 4(52). – С 1-7 DOI 10.32786/2071-9485-2018-04-5.

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

6. Бураков Д. А., Литвинова О. С. Водно-балансовые зависимости для прогноза стока талых вод на юге Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 111-120.

7. Водогрецкий В. Е., Зайцева Э. А., Елфимова Л. В. Склоновый сток и его изменение под влиянием агротехнических и лесомелиоративных мероприятий // Вопросы влияния хозяйственной деятельности на водные ресурсы и водный режим: тр. ГГИ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – Вып. 206. – С. 53-60.

8. Гагаринова О. В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // География и при-

родные ресурсы. – 2012. – № 3. – С. 55-60.

9. Гаршинёв Е. А. О влиянии уклона на поверхностный сток // Науч. тр. ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1977. – С. 56-65.

10. Гаршинёв Е. А. Эрозионно-гидрологический процесс и лесомелиорация: Теория и модели. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 1999. – 196 с.

11. Гельфан А. Н. Динамико-статистическое моделирование формирования талого стока. – М.: Наука, 2007. – 280 с.

12. Двинских С. А., Китаев А. Б., Михайлов А. В. Наводнения на реках бассейна Камы и организация защиты от них // География и природные ресурсы. – 2010. – № 4. – С. 74-79.

13. Демидов В. В. Закономерности эрозии почв лесостепной зоны при снеготаянии как научная основа системы почвозащитных и природоохранных мероприятий: автореф. дис. … д. б. н. – М., 2000. – 47 с.

14. Долгов С. В., Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А. Современные изменения поверхностного стока и инфильтрации талых вод на сельскохозяйственных угодьях в лесостепной и степной зонах Русской равнины и их последствия // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2018. – № 4. – С. 78-91.

15. Калюжный И. Л., Павлова К. К., Лавров С. А. Физическое моделирование процессов миграции влаги при промерзании почв // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 1. – С. 71-85.

16. 12 Калюжный И. Л., Лавров С. А. Гидрофизические процессы на водосборе: Экспериментальные исследования и моделирование. – СПб.: Нестор-История, 2012. – 616 с.

17. Комаров В. Д. Весенний сток равнинных рек европейской части СССР, условия его формирования и методы прогнозов. – М: Гидрометеоиздат, 1959. – 295 с.

18. Комаров В. Д., Макарова Т. Т. Исследование влияния глубины промерзания почвы и других факторов на талый сток рек степной и лесостепной зон // Метеорология и гидрология. – 1972. – № 8. – С. 67-74.

19. Комплексные исследования состояния и почвозащитные мероприятия на агроландшафтах / Е. В. Полуэктов [и др.] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 4(12). – С. 1-14.

20 Коронкевич Н. И., Георгиади А. Г., Ясинский С. В. О гидрологических изменениях // Вопросы географии. – 2018.– № 145. – С. 739-744.

21. Кучмент Л. С. Модели процессов формирования речного стока. – Л: Гидрометеоиздат, 1980. – 143 с.

22. Львович М. И. Человек и воды. – М.: Географиздат, 1963. – 567 с.

23. Мотовилов Ю. Г. Численное моделирование процесса инфильтрации воды в мерзлую почву // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 9. – С. 67-75.

24. Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. –130 с.

25. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений ГГИ. – СПб., 2005. – 103 с.

26. Мухин В. М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Гидрометеорологические прогнозы. – 2014. – Вып. 351. – С. 108-140.

27. Небольсин С. И., Надев П. А. Элементарный поверхностный сток. – М. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1937. – 64 с.

28. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги / Н. И. Алексеевский [и др.] // Вода: химия и экология. – 2013. – № 4. – С. 3-12.

29. Петелько А. И., Панов В. И. Характеристика поверхностного стока талых вод с разных угодий за 50 лет // Вестник АПК Ставрополья. – 2014. – № 4(16). – С. 155-162.

30. Полуэктов Е. В. Эрозия почв на Дону и меры борьбы с ней. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1984. – 161 с.

31. Пьянков С. А., Азизов З. К. Механика грунтов // Методические указания к лабораторным работам. – Ульяновск, 2003. – 31 с.

32. Пат. № 2347222 A01B13/16, G01N33/24 Способ прогнозирования поверхностного стока талых вод / Барабанов А. Т. (РФ), Гаршинёв Е. А. (РФ), Кулик К. Н. (РФ); заявитель ГНУ ВНИАЛМИ. – № 2009126879/12; заявл. 24.07.2006; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5. – 3 с.

33. Сурмач Г. П. Прогнозирование стока талых вод с черноземных и каштановых почв // Вестник с.-х. науки. – 1969. – № 12. – С. 53-56.

34. Сурмач Г. П. Водная эрозия и борьба с ней. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 254 с.

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

36. Сухановский Ю. П. Вероятностный подход к расчету эрозионных потерь почвы // Почвоведение. – 2013.– № 4.– С. 474.

37. Сухарев И. П., Сухарева Е. М. Пруды Центрально-Черноземной полосы. – Воронеж: Воронежское кн. изд-во, 1957. – 213 с.

38. Теплофизический метод расчета потерь талых вод на инфильтрацию в мерзлую почву / И. Л. Калюжный [и др.] // Метеорология и гидрология. – 1981. – № 1. – С. 76-82.

39. Урбанова О. Н., Семанов Д. А. Методика расчета наполнения прудов для прогнозирования безопасного пропуска весеннего половодья // Там же. – № 4. – С. 144-148.

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

41. Шабаев А. И. Избранные труды. Эрозия почв и адаптивно-ландшафтное земледелие. – Саратов: ФГБНУ "НИИСХЮВ", 2017. – 648 с.

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

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Средние показатели поверхностного стока талых вод и запасов снеговой воды на серых лесных почвах лесостепи, Орловская обл.

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1959	108	146	0,74	106	135	0,78
1960	81	136	0,60	117	150	0,78
1961	7	32	0,22	12	22	0,54
1962	13	22	0,59	21	23	0,91
1963	61	116	0,53	71	115	0,62
1964	58	121	0,48	91	113	0,80
1965	51	70	0,73	46	60	0,77
1966	4	77	0,05	3	105	0,03
1967	146	186	0,78	186	186	1,00
1968	0	169	0	26	145	0,18
1969	24	66	0,36	51	80	0,64
1970	83	192	0,43	94	221	0,42
1971	79	129	0,61	39	81	0,48
1972	15	56	0,27	15	56	0,27
1973	29	62	0,47	31	53	0,59
1974	29	50	0,58	44	49	0,89
1975	0	86	0	0	89	0
1976	0	137	0	3	160	0,02
1977	12	138	0,09	20	149	0,41
1978	0	91	0	20	177	0,11
1979	37	128	0,29	45	135	0,33
1980	29	135	0,21	42	153	0,27
1981	0	162	0	15	132	0,11
1982	2	100	0,02	5	100	0,05
1983	2	97	0,02	27	91	0,29
1984	12	41	0,29	18	67	0,27
1985	0	128	0	2	119	0,02
1986	33	77	0,43	36	175	0,48
1987	27	149	0,18	40	160	0,25
1988	21	118	0,18	42	123	0,34
1989	0	55	0	0	52	0
1990	23	44	0,51	25	49	0,51
1991	34	84	0,40	52	89	0,58
1992	0	88	0	0	85	0
1993	17	42	0,40	14	45	0,31

1	2	3	4	5	6	7
1994	40	139	0,29	50	142	0,35
1995	0	114	0	4	118	0,03
1996	29	81	0,36	26	89	0,29
1997	1	56	0,02	26	71	0,37
1998	0	48	0	-	-	-
1999	0	144	0	-	-	-
2000	0	57	0	-	-	-
2001	0	81	0	-	-	-
2002	0	58	0	-	-	-
2003	46	96	0,48	71	152	0,47
2004	0	86	0	0	97	0
2005	0	115	0	0	115	0
2006	0	137	0	0	111	0
2007	0	79	0	0	62	0
2008	0	76	0	0	83	0
2009	0	97	0	0	102	0
2010	0	106	0	0	100	0
2011	0	122	0	0	107	0
2012	0	86	0	0	78	0
2013	0	122	0	0	144	0
2014	0	26	0	0	25	0
2015	0	43	0	0	42	0
2016	0	53	0	0	65	0
Среднее	20	96	0,21	30	103	0,29

Примечание. При обобщении использовались данные, приведенные в работах Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршинёва, А. Т. Барабанова, Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, Е. Я. Тубольцева, В. А. Ивановой, О. В. Богачёвой, В. П. Борца.

Приложение Б

Средние показатели поверхностного стока и запасов снеговой воды на обыкновенных черноземах в степи Воронежской обл.

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1948	22	71	0,31	-	-	-
1949	2	85	0,02	38	88	0,29
1950	2	57	0,04	9	53	0,17
1951	3	62	0,05	31	109	0,28
1952	48	103	0,47	76	104	0,73
1953	68	106	0,64	92	108	0,85
1954	1	21	0,05	13	47	0,28
1955	73	162	0,45	109	162	0,67
1956	4	74	0,05	100	154	0,65
1957	97	119	0,82	97	119	0,82
1958	6	90	0,07	74	106	0,70
1959	1	43	0,02	54	111	0,49
1960	5	16	0,31	29	60	0,48
1961	0	(63)	0	40	63	0,64
1962	2	48	0,04	25	74	0,34
1963	60	137	0,44	101	120	0,84
1964	1	134	0,01	85	151	0,56
1965	6	57	0,11	14	39	0,36
1966	0	67	0	51	-	-
1967	0	147	0	21	-	-
1968	13	32	0,41	84	133	0,63
1969	0	0	0	36	89	0,40
1970	3	43	0,08	(95)	-	-
1971	14	26	0,53	19	34	0,56
1972	0	46	0	(0)	-	-
1973	0	26	0	(10)	-	-
1974	24	45	0,53	-	-	-
1975	0	58	0	(7)	-	-
1976	0	-	-	(10)	-	-
1977	2	-	-	(41)	-	-
1978	-	-	-	(40)	-	-
1979	-	-	-	37	-	-
1980	-	-	-	117	-	-
1981	-	-	-	11	-	-

1	2	3	4	5	6	7
1989	0	-	0	0	-	0
1992	0	-	0	0	-	0
1995	0	-	0	0	-	0
1998	0	-	0	-	-	-
1999	0	-	0	-	-	-
2000	0	-	0	-	-	-
2001	0	-	0	-	-	-
2002	0	-	0	-	-	-
2004	0	-	0	0	-	0
2005	0	-	0	0	-	0
2006	0	-	0	0	-	0
2007	0	-	0	0	-	0
2008	0	-	0	0	-	0
2009	0	-	0	0	-	0
2010	0	-	0	0	-	0
2011	0	-	0	0	-	0
2012	0	-	0	0	-	0
2013	0	-	0	0	-	0
2014	0	-	0	0	-	0
2015	0	-	0	0	-	0
2016	0	-	0	0	-	0
Среднее	9	70	0,13	32	96	0,33

Примечание. В таблице приведены материалы наблюдений научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории Каменная степь (вып. 1-23 за 1951-1986 гг.) В остальные годы указаны показатели, полученные путем установления корреляционных связей.

Приложение В

Средние показатели поверхностного стока и запасов снеговой воды на обыкновенных черноземах в степи Самарской обл.

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
1959	0	65	0	32	278	0,12
1960	0	78	0	53	137	0,39
1961	0	68	0	27	120	0,23
1962	0	51	0	11	65	0,17
1963	0	104	0	12	138	0,09
1964	34	170	0,20	58	140	0,41
1965	2	93	0,02	49	135	0,36
1966	27	136	0,20	50	188	0,27
1967	0	51	0	18	110	0,16
1968	24	109	0,22	81	189	0,43
1969	0	58	0	6	74	0,08
1970	16	98	0,16	86	117	0,74
1971	5	45	0,11	44	74	0,59
1972	1	123	0,01	26	98	0,27
1973	8	52	0,15	54	111	0,49
1974	12	106	0,11	65	103	0,60
1975	0	66	0	37	81	0,46
1976	0	114	0	15	79	0,19
1977	1	70	0,01	43	139	0,31
1978	11	112	0,10	30	145	0,21
1979	32	199	0,16	127	164	0,77
1980	17	165	0,10	56	142	0,39
1981	9	154	0,06	50	123	0,41
1982	3	57	0,05	65	87	0,75
1983	8	110	0,08	55	103	0,53
1984	0	114	0	26	97	0,27
1985	52	167	0,31	88	123	0,72
1986	13	154	0,08	75	112	0,67
1987	3	228	0,01	42	214	0,20
1988	54	181	0,30	98	116	0,84
1989	0	192	0	17	185	0,09
1990	14	131	0,11	54	137	0,39
1991	12	113	0,11	60	118	0,54
1992	0	141	0	23	137	0,17

1	2	3	4	5	6	7
1993	0	118	0	7	110	0,06
1994	4	115	0,03	27	138	0,20
1995	0	128	0	-	-	-
1996	0	131	0	-	-	-
1997	40	195	0,20	-	-	-
1998	0	207	0	-	-	-
1999	0	157	0	-	-	-
2000	0	154	0	-	-	-
2001	0	134	0	30	142	0,21
2002	0	128	0	0	117	0
2003	0	134	0	0	154	0
2004	0	124	0	0	102	0
2005	12	112	0,10	41	154	0,27
2006	0	78	0	19	84	0,23
2007	0	91	0	0	109	0
2008	0	121	0	0	139	0
2009	0	50	0	0	63	0
2010	0	112	0	-	-	-
2011	0	128	0	0	126	0
2012	0	148	0	0	137	0
2013	0	129	0	0	138	0
2014	0	115	0	0	182	0
2015	0	98	0	0	162	0
2016	0	105	0	0	174	0
Среднее	7	117	0,06	36	128	0,28

Примечание. При обобщении использованы материалы исследований Г. С. Боброва, В. И. Панова. И. И. Гункина, Ф. А. Абдульманова, А. В. Лапчук.

Приложение Г

Средние показатели поверхностного стока талых вод и запасов снеговой воды на каштановых и темно-каштановых почвах в степи Волгоградской обл.

Год	Сток, мм	Запас снего-вой воды, мм	Коэффици-ент стока	Сток, мм	Запас снего-вой воды, мм	Коэффици-ент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	2	3	4	5	6	7
Камышинский р-н, каштановая почва						
1946	7	-	-	32	60	0,53
1947	2	77	0,03	38	79	0,48
1948	13	50	0,26	38	62	0,61
1949	0	31	0	5	57	0,07
1950	0	-	0	14	-	-
1951	3	-	-	30	-	-
1952	0	-	0	20	-	-
1953	0	-	0	20	-	-
1954	0	-	0	14	-	-
1955	5	-	-	30	-	-
1956	12	-	-	30	-	-
1957	27	-	-	75	-	-
1958	7	-	-	28	-	-
1959	0	-	0	20	-	-
1960	4	90	0,04	47	80	0,59
1961	2	46	0,04	23	50	0,46
1962	4	37	0,11	19	47	0,40
1963	4	85	0,05	88	107	0,82
1964	1	61	0,02	12	71	0,17
1965	10	-	-	30	-	-
1966	0	-	-	9	-	-
1967	0	108	0	0	99	0
1968	0	122	0	1	109	0,01
1969	17	52	0,33	30	50	0,60
1970	21	115	0,18	70	108	0,65
1971	30	52	0,58	45	62	0,73
1972	0	14	0	0	21	0
1973	0	-	0	0	-	0
1974	4	47	0,09	2	67	0,03
1975	1	92	0,01	2	92	0,02
1976	0	-	0	50	-	-
1977	1	51	0,02	-	-	-
1978	5	49	0,10	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7
1979	11	106	0,10	-	-	-
1980	2	64	0,03	-	-	-
1981	6	23	0,26	-	-	-
1982	3	49	0,06	8	47	0,17
1983	29	52	0,56	45	54	0,82
1984	0	18	0	2	28	0,11
1985	0	(65)	0	19	65	0,29
1986	38	54	0,71	45	71	0,63
1987	0	159	0	17	152	0,11
1988	21	47	0,45	32	81	0,40
1989	4	87	0,09	12	49	0,24
1990	19	40	0,48	33	40	0,83
1991	-	-	-	11	48	0,21
1992	0	44	0	0	42	0
1993	0	22	0	0	26	0
Клетский р-н, темно-каштановая почва						
1996	0	48	0	0	48	0
1997	0	19	0	0	19	0
1998	0	35	0	0	35	0
1999	-	-	-	10	27	0,37
2000	0	31	0	0	31	0
2001	0	17	0	0	17	0
2002	0	29	0	0	29	0
2003	-	-	-	26	80	0,30
2004	0	-	0	0	-	0
2005	0	28	0	0	(28)	0
2006	0	43	0	0	(43)	0
2007	0	51	0	0	(51)	0
2008	0	22	0	0	(22)	0
2009	0	(23)	0	0	23	0
2010	0	14	0	0	(14)	0
2011	0	10	0	0	(10)	0
2012	0	55	0	0	(55)	0
2013	0	14	0	0	(14)	0
2014	0	25	0	0	(25)	0
2015	0	21	0	0	(21)	0
2016	0	(10)	0	0	(10)	0
Среднее	5	50	0,10	17	52	0,33

Примечание. При обобщении использованы материалы А. Т. Барабанова, В. И. Антонова, А. И. Узолина, В. П. Борца, Н. М. Пынзаря. В скобках указаны показатели, полученные путем установления корреляционных связей.

Приложение Д

Средние показатели снегозапасов и поверхностного стока талых вод на светло-каштановой почве Волгоградской обл.

Год	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запас снеговой воды, мм	Коэффициент стока
	рыхлая пашня			уплотненная пашня		
1	3	2	4	6	5	7
1950	0	35	0	12	45	0,27
1951	22	31	0,70	-	-	-
1952	4	101	0,04	-	-	-
1953	0	28	0	-	-	-
1954	0	55	0	-	-	-
1955	0	22	0	-	-	-
1956	26	55	0,47	-	-	-
1957	4	26	0,15	25	40	0,63
1958	8	47	0,16	25	40	0,63
1959	0	93	0	51	92	0,55
1960	0	16	0	10	16	0,62
1961	0	21	0	13	18	0,73
1962	1	74	0,02	34	77	0,44
1963	36	92	0,39	76	137	0,55
1964	2	61	0,03	27	74	0,36
1965	4	31	0,14	25	41	0,61
1966	0	15	0	7	15	0,47
1967	0	143	0	0	189	0
1968	16	44	0,36	30	150	0,20
1969	0	11	0	3	17	0,18
1970	7	129	0,05	36	136	0,26
1971	1	75	0,01	33	85	0,39
1972	0	22	0	0	23	0
1973	0	89	0	2	96	0,02
1974	0	41	0	5	49	0,10
1975	1	20	0,05	7	27	0,26
1976	0	26	0	7	36	0,19
1977	5	54	0,09	43	124	0,35
1978	13	17	0,76	35	73	0,48
1979	45	147	0,31	58	164	0,35
1980	0	41	0	10	63	0,16
1981	0	0	0	0	0	0
1982	0	17	0	-	-	-
1983	0	0	0	0	0	0

1	3	2	4	6	5	7
1984	0	0	0	0	0	0
1985	0	39	0	-	-	-
1986	6	30	0,20	7	32	0,22
1987	0	99	0	0	98	0
1988	5	44	0,11	21	27	0,84
1989	3	25	0,12	39	45	0,87
1990	0	38	0	5	47	0,11
1991	0	22	0	0	17	0
1992	0	39	0	0	42	0
1993	0	17	0	0	14	0
1994	13	55	0,23	58	64	0,90
1995	0	52	0	0	58	0
1996	0	79	0	0	70	0
1997	0	60	0	0	60	0
1998	0	10	0	0	37	0
1999	-	-	-	10	27	0,37
2000	0	21	0	0	24	0
2001	0	14	0	-	-	-
2002	0	219	0	-	-	-
2003	3	50	0,06	11	35	0,31
2004	1	26	0,04	12	32	0,37
2005	0	18	0	0	19	0
2006	0	78	0	-	-	-
2007	0	5	0	-	-	-
2008	0	31	0	-	-	-
2009	0	44	0	0	31	0
2010	0	89	0	2	58	0,03
2011	0	15	0	-	-	-
2012	0	70	0	-	-	-
2013	0	41	0	-	-	-
2014	0	88	0	-	-	-
2015	0	43	0	0	78	0
2016	0	8	0	0	10	0
Среднее	3	47	0,06	15	55	0,27

Примечание. При обобщении были использованы материалы Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, В. П. Борца, И. Г. Зыкова, Ю. В. Бондаренко, В. М. Ивонина.

Приложение Е

Показатели стока талых вод и факторов, обусловливающих его формирование на серых лесных почвах лесостепи, Орловская обл.

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве	в снеге				в почве	в снеге		
	рыхлая пашня					уплотненная пашня				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Годы без стока										
1966	0	157	108	0	18	1	189	101	10	20
1968	0	123	150	29	11	0	124	161	8	11
1975	0	154	86	30	14	-	-	-	-	14
1976	0	123	113	130	8	-	-	-	-	-
1977	2	132	114	30	22	0	172	174	45	22
1978	0	201	177	45	29	0	163	194	50	29
1980	0	153	158	30	13	0	152	153	35	13
1981	0	172	104	38	18	0	233	122	0	18
1982	0	184	101	50	23	-	-	-	-	-
1983	0	166	111	40	13	-	-	-	-	-
1984	3	129	51	120	18	-	-	-	-	-
1985	0	173	120	10	10	2	166	113	10	10
1989	0	168	41	0	11	-	-	-	-	
1992	0	169	88	17	14	0	167	85	17	14
1995	0	240	114	25	20	0	165	121	25	20
1997	1	247	55	45	8	-	-	-	-	-
1998	0	197	48	20	10	-	-	-	-	-
1999	0	178	144	0	28	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2000	0	166	57	20	21	-	-	-	-	-
2001	0	210	80	0-5	24	-	-	-	-	-
2002	0	185	58	8	26	-	-	-	-	-
2004	0	220	86	5-20	6	0	258	97	20	6
2005	0	166	115	1-12	15	0	196	115	26	15
2006	0	205	137	51	8	-	-	-	-	-
2007	0	201	79	0	15	-	-	-	-	-
2008	0	184	76	25	9	-	-	-	-	-
2009	0	209	97	22	-	-	-	-	-	-
2010	0	192	89	35	35	-	-	-	-	-
2011	0	156	122	0	15	-	-	-	-	-
2012	0	160	86	18	9	-	-	-	-	-
2013	0	171	123	22	10	-	-	-	-	-
2014	0	203	35	0-19	5	-	-	-	-	-
2015	0	172	58	18		-	-	-	-	-
Годы со стоком										
1964	52	151	211	60	10	-	-	-	-	-
1967	150	248	196	76	20	55	156	127	80	20
1969	22	175	52	182	23	46	173	77	165	23
1970	82	183	191	137	23	96	171	203	75	23
1971	52	165	154	100	18	42	188	74	100	18
1972	22	166	60	160	22	15	157	37	100	22
1973	31	190	70	97	11	38	168	63	100	11
1974	50	193	64	124	3	44	216	49	104	3
1979	41	174	137	68	23	64	167	132	80	23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1986	32	175	80	110	11	25	180	77	110	11
1987	33	152	153	69	14	42	118	149	69	14
1988	21	137	118	60	10	29	161	132	60	10
1990	21	190	44	68	5	-	-	-	-	-
1991	34	172	84	84	13	52	214	90	84	13
1993	17	174	42	83	12	14	151	45	83	12
1994	37	156	136	68	14	50	269	142	68	14
1996	29	164	81	80	15	25	153	89	80	15
2003	26	208	96	52	17	71	230	152	110	17

Примечание. При обобщении использовались данные, приведенные в работах Г. П. Сурмача, Е. А. Гаршинёва, А. Т. Барабанова, Н. Е. Петелько, А. И. Петелько, Е. Я. Тубольцева, В. А. Ивановой, О. В. Богачёвой, В. П. Борца.

Приложение Ж

Показатели стока с рыхлой и уплотненной пашни и обусловливающих его факторов на обыкновенных черноземах Воронежской обл.

Год	Сток, мм	Фактор			
		запас воды, мм		глубина промерзания почвы, см	продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве (0-50 см)	в снеге		
Рыхлая пашня					
1952	68	166	81	70	21
1953	58	195	109	60	15
1954	4	188	27	100	16
1956	6	111	130	60	16
1968	35	143	120	50	12
1969	9	188	26	100	17
1981	11	188	78	40	7
1982	2	213	34	42	3
1983	9	175	42	46	5
1984	9	218	41	50	12
1985	24	211	101	40	12
Уплотненная пашня					
1953	92	178	112	80	13
1954	3	101	18	50	16
1956	70	94	133	60	20
1959	46	148	56	55	17
1964	84	169	116	64	15
1965	30	168	36	64	11
1969	15	149	23	72	29
1980	44	181	64	70	7

Примечание. В таблице приведены материалы наблюдений научно-исследовательской гидрометеорологической обсерватории Каменная степь (вып. 1-23 за 1951-1986 гг.).

Приложение 3

Показатели стока с рыхлой пашни и факторов, обусловливающих его формирование на обыкновенных черноземах, Самарская обл.

Год	Сток, мм	Фактор		
		запас воды, мм		глубина промерзания почвы, см
		в почве (0-50 см)	в снеге	
Годы без стока				
1960	0	177	57	-
1961	0	124	62	60
1962	0	147	30	70
1969	0	101	49	150
1972	0	96	124	150
1975	0	107	73	87
2000	0	99	154	31
2001	0	108	134	25
2002	0	116	128	15
2003	0	107	134	37
2004	0	-	124	28
2006	0	104	78	75
2007	0	77	91	34
2008	0	105	121	24
2009	0	108	50	48
2010	0	130	112	63
2011	0	152	128	0
2012	0	187	148	29
2013	0	195	129	42
2014	0	170	115	43
2015	0	166	98	27
2016	0	193	105	38
Годы со стоком				
1968	22	111	70	150
1970	8	120	73	150
1971	5	116	48	150
1973	6	113	54	80

Приложение И

Показатели стока талых вод и факторов, обусловливающих его формирование на каштановых почвах степи, Волгоградская обл.

Годы	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве	в снеге				в почве	в снеге		
	рыхлая пашня					уплотненная пашня				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Годы без стока										
1967	0	61	108	0	-	0	49	99	0	-
1968	0	47	124	5	15	0	46	111	5	15
1972	0	77	14	150	-	0	85	21	150	-
1973	0	50	44	83	-	-	-	-	-	-
1984	0	66	17	-	-	-	-	-	-	-
1987	0	70	141	33	15	-	-	-	-	-
2001	0	89	17	26	6	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	0	51	29	20	9
2005	0	75	28	42	15		-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	0	181	43	33	12
2007	0	95	91	30	14					
2008	-	-	-	-	-	0	91	22	24	9
2010	-	-	-	-	-	0	230	14	50	14
2011	0	219	10	37	8	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	0	250	55	15	13
2013	0	216	14	22	10	-	-	-	-	-
2014	-	-	-	-	-	0	219	25	38	17
2015	0	230	21	25	4	-	-	-	-	
2016	-	-	-	-	-	0	224	10	24	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Годы со стоком										
1969	17	74	52	150	-	31	67	48	150	-
1971	31	101	73	110	-	45	128	61	83	-
1982	5	87	55	-	-	-	-		-	-
1983	15	83	40	-	-	-	-	-		-
1985	20	71	66	-	-		-	-		-
1986	36	-	71	-	26	-			-	-
1988	21	88	47	56	31	-		-	-	-
1989	4	-	47	65	12	-	-		-	-
1990	19	92	40	57	3	-	-	-	-	-
2003	25	119	80	65	13	-	-	-	-	-

Примечание. При обобщении использованы материалы А. Т. Барабанова, В. И. Антонова, А. И. Узолина, В. П. Борца, Н. М. Пынзаря.

Приложение К

Показатели стока талых вод и факторов, обусловливающих его формирование на светло-каштановых почвах степи, Волгоградская обл.

Год	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.	Сток, мм	Запас воды, мм		Глубина промерзания почвы, см	Продолжительность снеготаяния, сут.
		в почве	в снеге				в почве	в снеге		
	рыхлая пашня					уплотненная пашня				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Годы без стока										
1966	0	57	7	0	12	-	-	-	-	-
1967	0	119	155	0	20	0	98	189	15	20
1969	0	99	15	189	2	-	-	-	-	-
1971	0	71	76	100	8	-	-	-	-	-
1972	0	94	28	160	3	0	83	23	160	3
1973	0	66	45	0	12	0	74	90	0	12
1974	0	70	48	0	6	-	-	-	-	-
1981	0	-	0	20	0	-	-	-	-	-
1982	0	90	17	0	2	-	-	-	-	-
1983	0	87	0	30	0	-	-	-	-	-
1984	0	64	0	40	0	-	-	-	-	-
1985	0	205	39	20	12	0	-	39	17	12
1986	0	223	31	30	15	0	-	32	30	15
1987	0	73	99	10	2	0	87	96	20	20
1988	0	115	44	40	8	-	-	-	-	-
1989	0	213	25	40	5	-	-	-	-	-
1990	0	64	31	35	8	-	-	-	-	-
1991	0	105	22	42	4	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1992	0	73	39	10	2	0	104	41	20	2
1993	0	120	17	80	5	0	73	14	80	5
1995	0	120	70	10	5	0	91	75	10	5
1996	0	131	54	20	4	0	86	59	20	4
1997	0	111	90	0	7	-	-	-	-	-
1998	0	140	10	55	3	-	-	-	-	-
2000	0	78	21	0	2	0	75	24	0	2
2001	0	86	14	0	2	-	-	-	-	-
2002	0	59	0	0	7	-		-	-	-
2005	0	81	18	12	6	0	85	19	12	6
2006	0	78	78	100	8	-	-	-	-	-
2007	0	98	5	35	2	-	-	-	-	-
2008	0	127	31	15	4	-	-	-	-	-
2009	0	124	44	10	9	0	104	31	15	9
2010	0	150	89	20	12	0	245	72	20	12
2012	0	91	70	12	6	0	105	108	5	6
2013	0	114	41	20	3	0	112	69	10	3
2014	0	168	88	25	3	0	127	101	20	3
Годы со стоком										
1964	1	52	32	70	10	-	-	-	-	-
1965	4	46	31	52	5	-	-	-	-	-
1968	16	122	60	100	8	35	124	151	100	8
1969	-	-	-	-	-	3	72	19	150	2
1971	-	-	-	-	-	33	120	85	115	8
1991	-	-	-	-	-	4	89	17	61	4
1994	13	159	55	60	6	58	159	64	70	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1999						10	115	25	55	7
2003	3	145	50	90	16	11	148	35	95	16
2004	1	160	26	60	4	12	131	32	60	4
2011	15	112	42	112	4	23	77	70	75	4

Примечание. При обобщении были использованы материалы Г. П. Сурмача, А. Т. Барабанова, В. П. Борца, И. Г. Зыкова, Ю. В. Бондаренко, В. М. Ивонина.

Приложение Л

Размещение пунктов мониторинга за природными факторами весеннего стока и регионы обслуживания

Место размещения пунктов	Регион обслуживания (область, республика)	Краткая почвенно-климатическая характеристика			
		природная зона	почвы	осадки, мм	высота снега, см
1	2	3	4	5	6
Существующие пункты мониторинга					
Мценск Орловской обл.	Орловская	Лесостепь	Серые лесные – 28 %, черноземы оподзоленные – 13 %, черноземы выщелоченные – 40 %	500	40-50
Самара	Самарская	Север области находится в лесостепной зоне, юг в степной	Почвенный покров лесостепной зоны представлен в основном выщелоченными и типичными черноземами – 73,3 %, степная зона – обыкновенные и южные черноземы	372	35-75
Волгоград	Волгоградская	Степная	Черноземы – 22 %, каштановые – 44 %	270-400	13-22
Планируемые к созданию пункты мониторинга					
Киров	Кировская	Северная часть области – подзона средней тайги, центральная – подзона южной тайги; южная – зона смешанных хвойно-широколиственных лесов	Подзолистые – 6,4 %, дерново-подзолистые – 52 %, подзолы – 15 %	500-680	40-60
Тверь	Тверская	Область в лесной зоне, в подзоне южной тайги, переходящей в широколиственные леса на северо-западе	Дерново-подзолистые – 70 %	650	23
	Московская	Смешанные и широколиственные леса	Дерново-подзолистые – 70 %, подзолы – 8,6 %, серые лесные – 6,1 %	500-700	45-50

1	2	3	4	5	6
Тверь	Ярославская	В природной зоне тайги, в подзоне южно-таежных еловых лесов	Дерново-подзолистые – 75 %, пойменные кислые – 8 %	500-600	30-50
	Костромская	Таежно-лесная зона, подзона южной тайги	Подзолистые – 6 %, дерново-подзолистые – 80 %, пойменные кислые – 10 %.	550-600	25-40
	Владимирская	Смешанный лес (тайга)	Дерново-подзолистые 60 %, светло-серые лесные 6,1 %, серые лесные 5,5 %, пойменные кислые – 12 %.	550-600	55
Пермь	Пермская	Юг региона занят смешанными лесами с лесостепью, северная часть края занята таежными хвойными лесами	Дерново-подзолистые 38,8 %, подзолистые 22,8 %	410-650	80-90
Нижний Новгород	Нижегородская	Тайга (северная часть), смешанные леса (центр и юго-запад) и лесостепь (центр и юго-восток области)	Дерново-подзолистые – 43 %, серые лесные – 13 %	600-650	70-80
	Удмуртия	Южная тайга/смешанные леса	Дерново-подзолистые – 70 %, серые лесные – 14 %	500-600	70
Казань	Татарстан	Лесная и степная	Серые лесные – 44 %, черноземы выщелоченные – 25 %	460-520	35-45
	Чувашия	Лесостепная и лесная природные зоны	Дерново-подзолистые – 28 %, светло-серые лесные – 8 %, серые лесные – 30 %, черноземы выщелоченные – 15 %	500	30-40
Уфа	Башкортостан	Лесная, лесостепная, степная, горно-лесная и горно-лесостепная	Серые лесные – 27 %, темно- серые лесные – 10 %, черноземы выщелоченные – 15 %, черноземы типичные – 10 %	400-500	60-70

1	2	3	4	5	6
Тула	Тульская	Зона смешанных и широколиственных лесов	Серые лесные 26%, черноземы выщелоченные – 27 %, черноземы оподзоленные – 20 %.	575	30-40
	Рязанская	Северная часть относится к зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов, средняя – к зоне широколиственных лесов, самые южные районы – к лесостепной зоне	Дерново-подзолистые – 21 %, подзолы – 8,5 %, серые лесные – 12 %, темно-серые лесные – 13 %, черноземы оподзоленные – 13 %	550	30-50
	Калужская	Смешанный лес (тайга)	Дерново-подзолистые – 70 %, серые лесные – 12 %	690-800	40
	Орловская	Лесостепь	Серые лесные – 28 %, черноземы оподзоленные – 13 %, черноземы выщелоченные – 40 %	500	40-50
Тамбов	Тамбовская	Лесостепь	Дерново-подзолистые – 9 %, черноземы выщелоченные – 21 %, черноземы типичные – 23 %, лугово-черноземные – 31 %	450-550	17-37
	Пензенская	На стыке лесной, лесостепной и степной природных зон	Дерново-подзолистые – 9 %, черноземы выщелоченные – 21 %, черноземы типичные – 23 %, лугово-черноземные – 31 %	450-550	17-37
Ульяновск	Самарская	Север области находится в лесостепной зоне, юг в степной	Почвенный покров лесостепной зоны представлен в основном выщелоченными и типичными черноземами – 73,3 %, степная зона – обыкновенные и южные черноземы	372	35-75
	Ульяновская	Лесостепь	Выщелоченными и типичными черноземами – 73,3 %, остальные степная зона – обыкновенные и южные черноземы	372	35-75

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……... 3
1. **Общие положения**…… 10
1.1. Назначение методики……... 10
1.2. Область применения……. 12
1.3. Нормативные ссылки…… 12
1.4, Термины и определения……... 14
1.5. Принятые условные обозначения…… 17
2. Исходные данные……..... 18
3. Закономерности формирования поверхностного стока. Количественная связь между стоком и природными факторами……. 27
3.1. Анализ материалов по оценке связи поверхностного стока с природными факторами…… 27
3.2. Закономерности формирования поверхностного стока талых вод… 46
3.2.1. Общая характеристика поверхностного стока талых вод с разных сельскохозяйственных угодий……. 46
3.2.2. Зависимость поверхностного стока талых вод от природных факторов. Закон лимитирующих факторов стока…..... 49
4. Методика прогноза поверхностного стока талых вод в бассейнах Волги и Дона…….. 57
5. Практическая реализация методики……. 60
Литература…….. 63
Приложения…… 67

Барабанов Анатолий Тимофеевич

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ТАЛЫХ ВОД
НА ВОДОСБОРАХ БАССЕЙНОВ РЕК ВОЛГИ И ДОНА
(переработанное и дополненное издание)

Редактор В. Г. Гирявенко
Компьютерная верстка В. Г. Гирявенко
Ответственный за выпуск В. С. Млечко

Подписано в печать 26.10.2021.
Объем 3,73 уч.-изд. л. Заказ 12.
Тираж 300 экз. (второй завод 70 экз.)

400062, Волгоград, Университетский проспект, 97.
Копировально-множительный сектор ФНЦ агроэкологии РАН