

ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА НА СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВОГРУНТАХ

А. И. Митрахович¹, кандидат технических наук
В. М. Макоед¹, ведущий научный сотрудник
И. Ч. Казьмирук², кандидат технических наук

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Изложены результаты исследований формирования динамики поверхностного и дренажного стоков на мелиоративных системах со слабопроницаемыми почвогрунтами. Приведены критические периоды формирования модулей поверхностного и дренажного стоков, раскрываются определяющие их факторы. Отмечается цикличность работы дренажных систем с преимущественно атмосферным водным питанием и продолжительность работы дренажа в различные по водности годы. Указываются распределение дренажного стока по периодам года и среднегодовая продолжительность поверхностного стока. Показано влияние площади дренажных систем на объем и модуль дренажного стока. Предлагается суммировать модули дренажного и поверхностного стоков при проектировании дренажных коллекторов.

Ключевые слова: грунтовые воды, модуль стока, дренаж, осадки, осушение, фильтрация.

Abstract

A. I. Mitrakhovich, V. M. Makaed, I. Ch. Kazmiruk
FORMATION OF RUNOFF ON LOAMY SOILS

The results of research on the formation of surface and drainage runoff dynamics on land reclamation systems with low water permeability soils are presented. Critical periods of formation of surface and drainage drain modules are given, their determining factors are disclosed. There is a cyclical operation of drainage systems with mainly atmospheric water supply and the duration of drainage work in different years of water content. The distribution of drainage runoff by year periods is given and the average annual duration of surface runoff is indicated. The influence of the drainage system area on the volume and drainage drain module is illustrated. When designing drain headers, it is proposed to summarize the drainage and surface runoff modules.

Keywords: groundwater, runoff module, drainage, sediments, land reclamation, filtration.

Введение

Если осушение переувлажненных легких почв сложной проблемой не является, то мелиорация тяжелых почв – тема постоянных дискуссий и споров.

В течение длительного времени во многих странах мира, в том числе и в нашей стране, ведутся работы по совершенствованию дренажных систем на тяжелых почвах для повышения эффективности их действия. Достижение этой цели сводилось к разработке конструкций дренажа, обеспечивающих необходимую интенсивность осушения и высокую надежность систем, к совершенствованию ме-

роприятий по улучшению водно-физических свойств почвогрунтов и почвоуглублению.

В этой связи представляется целесообразным проанализировать и осветить опыт ранее проведенных исследований отечественных и зарубежных ученых по гидрологическому и осушительному действию дренажных систем с целью применения данных, полученных на опытно-производственных системах в современных условиях при проектировании и совершенствовании мелиоративных систем более высокого технического уровня.

Основные результаты

Критерий интенсивности осушения характеризует способность понижения почвенно-грун-

товых вод в течение заданного времени t (сут.), различного суточного слоя осадков повторяемо-

стью N (лет) [1]. Время, необходимое для отвода избыточной влаги, зависит от предполагаемого осушаемого массива и чувствительности культур к переувлажнению. По данным чешских ученых, этот показатель выражается временем, в течение которого пребывание растений в условиях

избыточного увлажнения вызывает снижение урожайности не более чем на 20 % [1]. Требуемая продолжительность отвода избыточной влаги почвенно-грунтовых вод является исходным параметром проектов для определения степени интенсивности осушения (табл. 1) [2].

Таблица 1. Значения допустимого времени осушения t (сут.) при повторяемости осадков N (лет)

Степень интенсивности осушения	Допустимое время осушения, сут.	Повторяемость осадков, лет
очень высокая	2	10
высокая	3–4	5–10
нормальная	5–7	5–2
низкая	8–10	2

В свою очередь, значения t и N зависят от модуля дренажного стока q_n . При неустановившемся режиме интенсивность осушения обеспечивается благодаря понижению уровня грунтовых вод с начального значения h_0 , вызванного максимальными суточными осадками определенной обеспеченности (табл. 2) до минимально допустимого уровня h_{min} , являвшегося нормой осушения: для лугов 0,2–0,5; для пастбищ 0,3–0,4; для пахотных земель 0,5–0,7 (низкие значения относятся к песчаным почвам, высокие к суглинистым, поскольку суглинистые почвы имеют большую высоту капиллярного поднятия).

Значения h_0 рекомендуется определять по следующей формуле:

$$h_0 = H_S(1 - \alpha)\eta,$$

где H_S – максимальный суточный слой осадков;

α – коэффициент стока (изменяется в пределах 0,1–0,75 и зависит от водопроницаемости почв и уклона местности);

η – коэффициент водоотведения почвогрунтовых вод (свободная порозность).

В условиях избыточного увлажнения интенсивность осушения обеспечивается проектным модулем стока.

Таблица 2. Значения суточного максимального слоев осадков H_S (мм/сут.) для различной повторяемости осадков N (лет) [1]

H мм/год	N					
	1	2	3	5	10	100
500	31,9	37,0	40,5	45,3	53,0	87,8
750	37,2	43,2	47,2	51,8	61,8	102,3
1000	42,5	49,3	53,9	60,3	70,5	116,8

Многочисленные исследования модуля дренажного стока показали, что это один из основных показателей эффективности и работоспособности дренажных систем, а также обоснованности их применения. Он зависит как от природно-климатических, так и инженерных факторов. Различают поверхностный и дренажный модули стока и две фазы его форми-

рования: в условиях мерзлого грунта и при отсутствии мерзлоты. Детальное исследование по этой проблеме провел А. И. Сакалаускас [3].

Работы, посвященные дренажному и поверхностному стокам, проводились на объектах площадью от 13 г до 408 га. Изучались способы и конструкции сооружений для отвода поверхностных вод. Опытные дренажные

системы классифицировались по почвогрунтам и видам сельхозугодий на Среднелитовской низменности [4].

Почвообразующей породой на опытных системах являлись различные суглинки от легких до тяжелых. Основные почв – дерновые и дерново-подзолистые глееватые и глеевые. Коэффициент фильтрации суглинистых почв колебался в пределах от 0,018 до 1,12 м/сут. Водное питание опытных дренажных систем преимущественно атмосферное. Дренажный, поверхностный и суммарный стоки измерялись на 12 водомерных постах. Вегетационный период с 11 апреля до 25 октября; с 25 октября до 11 апреля – невегетационный.

Дренажный сток в отдельные годы варьировался в значительных пределах: от 28,5 до 260 мм. Он зависит в основном от количества и распределения атмосферных осадков, температуры воздуха во время снеготаяния, рельефа и сельскохозяйственного водосбора и водонасыщенности почвогрунтов, а также промерзания почвы.

В летнее время при малой влажности почвогрунтов после бессточного периода дренажный сток формируется, если суточное количество атмосферных осадков превышает 20 мм. Системы на осушенных землях с атмосферным водным питанием работают циклично, а системы со смешанным типом водного питания или при наличии грунтово-напорного типа работают непрерывно круглый год.

Формирование поверхностного стока

Поверхностный сток формируется в основном в весенний период во время интенсивного снеготаяния и зависит от запасов воды в снеге и осадков. В отдельные годы он может образовываться как в зимнее время за счет кратковременных оттепелей, так и в летнее за счет ливневых дождей. Максимум поверхностного стока обычно формируется на 1,5–4 часа раньше, чем максимум дренажного.

Внутрисуточное изменение поверхностного стока прямо зависит от температуры воздуха и осадков. Наименьший поверхностный сток образуется на площади зяблевой пахоты. Средняя продолжительность поверхностного стока составляет 24 сут. в году, в том числе за весенний период 18 сут., или 75 %.

В период снеготаяния дренажный сток формируется за счет поверхностного. Это подтверждается результатами измерения температуры дренажной воды, которая в начале снеготаяния при попадании ее в дрены с температурой $+3\div 4$ °С падает до $+1,5\div 2$ °С. Поступление талой воды в дрены происходит через незамерзший грунт в отдельных понижениях рельефа, местах больших снежных заносов, где глубина промерзания почвы незначительная. За весенний период дренаж отводит до 75 % и более годового стока, осенью и зимой дренажный сток составляет около 20 % от годового, а за летний период всего – до 6 %. Наибольший объем дренажного стока наблюдался в апреле: 48, 37 и 50 % в различные по обеспеченности годы.

Максимальные среднесуточные модули дренажного стока на больших системах (70 га и более) меньше, чем на небольших, и не превышают 1,0 л/с-га. Максимальные моментные составляют $1,3\div 1,4$ л/с-га. Амплитуда среднесуточной изменчивости составляет $0,4\div 0,6$ л/с-га.

Величина дренажного стока зависит от величины системы и сельскохозяйственной площади. С уменьшением площади дренажной системы среднесуточные модули дренажного стока увеличиваются. Фактические модули дренажного стока в течение года были незначительно больше расчетных только несколько дней (от 1 суток до 13.)

Анализ обеспеченности среднесуточных модулей поверхностного стока показал, что модули величиной 0,2 л/с-га продолжают 4,1 сут. (обеспеченность 1,1 %), а модули 0,4 л/с-га – 1,5 сут. (обеспеченность 0,4 %).

Апробированы способы отвода поверхностного стока с дренированных сельскохозяйственных земель. Исследованы два способа:

открытый способ – по искусственным ложбинам;

закрытый способ – дренажной сетью с фильтрами- и колодцами-поглотителями.

Ложбины глубиной 0,3–0,4 м с откосами 1:7 были залужены и эксплуатировались как луг.

Закрытый способ отвода поверхностного стока более пригоден в условиях холмистого

рельефа. Поверхностный сток отводился в дренажную сеть через колодцы-поглотители по коллекторам увеличенного диаметра. Данный способ может применяться и на дренированных площадях с более спокойным рельефом, особенно при наличии отдельных, небольших по площади замкнутых понижений. Когда площадь пониженного элемента рельефа составляет 1 га и более, а максимальная глубина понижения – 0,3–0,4 м, то перевод поверхностного стока в дренажный рекомендуется проводить с помощью колодцев-поглотителей различных конструкций. При большей глубине понижения и большой водосборной площадью рекомендуется устраивать водоемы-копани со сбросом воды из них в магистральный канал или непосредственно в водоприемник.

В Литве значения модуля стока принимались для расчета дрен $0,4 \div 0,5$ л/с-га, а поверхностного $0,3 \div 0,7$ л/с-га. При расчете дренажных коллекторов модули дренажного и поверхностного стока суммируются. Их пропускная способность была вполне достаточной для отвода поверхностных вод в летний период [5].

Самым ответственным периодом эксплуатации крупных закрытых мелиоративных систем в Латвии считается весенний, когда наблюдался максимальный объем дренажного и поверхностного стоков [4]. Проведенные наблюдения за действием дренажа показали, что при проектировании закрытых систем площадью свыше 60–70 га в условиях холмистого рельефа особое внимание следует уделять отводу поверхностного склонового стока. Судя по наблюдениям на системах дренажа, интенсивный сток образуется на площадях с уклоном поверхности земли $i > 0,008$. Состав почвы мало влияет на интенсивность поверхностного стока на слабопроницаемых почвогрунтах, поскольку в большинстве случаев сток образуется на замерзшем грунте. В этом случае для перехвата и отвода поверхностных вод из бессточных понижений целесообразно использовать колодцы-поглотители.

В равнинных условиях на дренированных и хорошо окультуренных почвах основная часть образовавшегося при снеготаянии поверхностного стока сразу же инфильтруется в землю и идет на пополнение дренажного стока. Во избежание перегрузки закрытой сети целесообразно применять планировку поверхности и

другие мероприятия, способствующие отводу воды с поверхности.

Пропускная способность коллекторов вполне достаточна для отвода поверхностных вод и в летнее время. Застой воды на поверхности в течение 3–4 дней в пониженных элементах рельефа в весенний период не влияет на урожайность в период вегетации сельскохозяйственных культур.

В исследованиях А. У. Рудого, посвященных осушению лессово-западных земель, указывается, что во время снеготаяния и обильных дождей вода практически не задерживается на повышенных элементах рельефа, имеющих большие уклоны в сторону западин, и стекает в понижения, особенно ранней весной по промерзлой почве [6]. Перехватить ее с помощью нагорно-ловчей открытой сети в условиях мелкозападного рельефа технически сложно и экономически нецелесообразно, так как устройство каналов ведет к увеличению контурности полей (и без того высокой: средний размер контура составляет 0,33–1,1 га). При этом снижается производительность сельскохозяйственных машин на 30–40 % при пахоте, на 10–12 % – при культивации и бороновании, до 15 % – на посевах зерновых. Наиболее приемлемым приемом сокращения притока воды с внешнего водосбора в западины является аккумуляция части поверхностного стока на повышенных элементах рельефа (почва которых в летнее время испытывает недостаток влаги), достигаемая путем глубокого рыхления поперек склона. Это увеличивает влагоемкость почвы и позволяет аккумулировать в верхнем полуметровом слое до $20 \div 25$ мм воды.

Довольно обстоятельные опыты по изучению эффективности дренажа на слабопроницаемых почвах были проведены учеными Белорусской сельскохозяйственной академии [7]. Ими установлен характер работы дренажа в течение года. Летом дренаж может работать при длительных и интенсивных дождях. К осени при снижении транспирации и испарения дренаж снова включается в работу. Основное влияние на характер осеннего стока оказывают осадки и увлажнение почвы предшествующего периода. Сток начинается через 1–1,5 месяца после насыщения почвы влагой. В условиях Горецкого р-на Могилевской обл. средняя годовая продолжительность стока дренированной территории составила 55–58 суток при количестве циклов от 3 до 7.

Формирование дренажного стока

Исследования по формированию дренажного стока проводились учеными РУП «Институт мелиорации». При изучении режима формирования дренажного стока на слабопроницаемых почвогрунтах Витебской и Могилевской областей было отмечено различное распределение влажности почвы по глубине в зависимости от метеоусловий: наибольшие значения наблюдались в верхних горизонтах (0–20 см) после выпадения дождей. Через 5–7 дней после выпадения осадков наблюдалось явление миграции гравитационной влаги в нижние слои почвы. Однако следует отметить, что, имея низкий коэффициент фильтрации, миграция гравитационной воды в нижние слои (40–60 см) происходит медленно, и это сказывается на времени появления дренажного стока.

В сухой период (10 и более дней без осадков) происходит высыхание верхнего слоя почвы. В поры грунта, которые были заполнены водой, входит воздух, и в почве образуются трещины. При выпадении дождей гравитационная влага, попавшая в глубокие слои сухой почвы по крупным трещинам, впитывается и отводится дренажом.

При проектировании мелиоративных систем модули дренажного стока в Беларуси принимаются $0,5 \div 0,7$ л/с·га. По исследованиям, проведенным РУП «Институт мелиорации» на объекте СПК «Мазоловский» Могилевской

обл. на участке с холмистым рельефом, сложенным лессовидными суглинками, установлено, что основной дренажный сток формируется в весенний период – с 4 по 22 апреля [8]. На различных вариантах осушения он колебался в пределах от $0,07$ л/с·га до $0,17$ л/с·га. Максимальный модуль стока $1,12$ л/с·га отмечен на дренажной системе из труб ПВХ «Вавин» с объемным кокосовым фильтром. Применение кокосового фильтра на грунтах с низким коэффициентом фильтрации более эффективно, чем геотекстильных фильтров, толщина которых зачастую не превышает 1 мм. Дрены с кокосовым фильтром были присыпаны песком на высоту $0,1$ м, а не растительным грунтом, как рекомендовано в ТКП 45-3.04-8-2005 (02250) «Мелиоративные системы и сооружения. Нормы проектирования».

Кроме того, следует отметить, что наибольший модуль дренажного стока зафиксирован в 2009 г., отличавшемся многоводностью. Среднее значение модуля дренажного стока на мелиорированных землях объекта с лессовидными суглинками за период наблюдения 2006–2009 гг. находилось в пределах $0,02 \div 0,07$ л/с·га. Годы 2006–2008 были маловодными.

Модуль дренажного стока на опытно-производственных участках Витебской области, в частности на объекте «Васюки», за последние годы наблюдений 2013–2019 гг. не превышал $0,3$ л/с·га.

Заключение

Результаты проведенного обзора гидрологического и осушительного действия дренажных систем на слабопроницаемых почвогрунтах Литвы и Латвии позволяют полагать, что процессы формирования модуля стока характерны и для мелиоративных объектов нашего Поозерья, восточной части Беларуси (Оршанско-Могилевское плато) и других площадей со слабопроницаемыми почвогрунтами.

На основании обзора и полученных авторами результатов исследований можно сделать следующие выводы.

1. При незначительном промерзании почвогрунтов дренажный сток в начале снеготаяния формируется раньше поверхностно-

го, что установлено по падению температуры дренажной воды с $+3,5 \div 4,0$ °С до $1,5 \div 2,0$ °С за счет попадания в дрены поверхностной воды.

2. Дренажем отводится в среднем 20 % от годового количества атмосферных осадков: зимой 11,9 %, весной 70,3 %, летом 4,1 % и осенью 13,7 %.

3. Дренажные системы на мелиорированных землях с преимущественно атмосферным водным питанием работают циклично с количеством циклов от 4 до 7.

4. Среднее значение модуля дренажного стока на объекте с холмистым рельефом на лессовидных суглинках составило $0,02 \div 0,07$ л/с·га, что значительно ниже проектного $0,7$ л/с·га.

5. Водоприемная способность дрен зависит от применяемого фильтра. На слабо- доприницаемых почвах наибольший модуль дренажного стока наблюдался на дренаже с объемными фильтрами.

Библиографический список

1. Фидлер, И. Проектирование дренажа в ЧССР по интенсивности осушения угодий / И. Фидлер // Мелиорация и вод. хоз-во. – 1990. – № 3. – С. 58–59.
2. Фидлер, И. Интенсивность осушения в зависимости от степени использования сельскохозяйственных угодий / И. Фидлер // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – № 12. – С. 76–78.
3. Сакалаускас, А. И. Исследование гидрологического действия и эффективности больших дренажных систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. И. Сакалаускас ; Белорус. науч.-исслед. ин-т мелиорации и вод. хоз-ва. – Минск : [б. и.], 1972. – 48 с.
4. Риекстс, И. А. Опыт строительства крупных дренажных систем в Латвийской ССР / И. А. Риекстс // Гидротехника и мелиорация. – 1968. – № 5. – С. 41–48.
5. Сакалаускас, А. И. Результаты исследований гидрологического действия больших дренажных систем / А. И. Сакалаускас // Сб. тр. Литов. НИИ гидротехники и мелиорации. – 1974. – Т. 9. – С. 25–38.
6. Рудой, А. У. Исследование действия дренажных систем на лесово-западных землях / А. У. Рудой // Осушительно-увлажнительные системы : сб. науч. работ / Белорус. НИИ мелиорации и вод. хоз-ва. – Минск, 1986. – С. 91–99.
7. Равовой, П. У. Некоторые результаты исследований глубокого рыхления суглинистых почв с применением химмелиорантов / П. У. Равовой, В. И. Высокоморный // Тр. БГСХА. – 1981. – Вып. 72. «Мелиорация и гидротехника в БССР». – С. 85–89.
8. Осушение слабопроницаемых почв с западным рельефом / В. И. Желязко [и др.] // Мелиорация. – 2009. – № 1 (61). – С. 100–107.

Поступила 4 июня 2021 г.