Н. К. З. — У. С. С. Р.

УКРАИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ

Год XIX Выпуск 70

А. М. ЯНГОЛЬ

СТЕПЕНЬ ОСУШЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ И ЕЕ РАСЧЕТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

ИЗДАНИЕ
УКРАИНСКОГО Н.-И. ИНСТИТУТА
ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ
Одесса 1940

Тип. зн. в 1 печ. л. 48 т. Тираж 300 экз.
Шестая полиграффабрика им. К. Маркса

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из исторических заданий, поставленных XVIII съездом ВКП(б) перед мелиоративной наукой, является максимальное усиление работ по осушению болот и заболоченных земель с превращением их в высокопродуктивные угодья.

Опытные мелиоративные учреждения УССР на протяжении ряда лет занимаются изучением вопросов осушения болот, однако, опубликованных результатов по этому вопросу не имеется.

Предлагаемая работа инж. Янголя А. М. „Степень осушения торфяных почв и ее расчетные элементы", пополняя вышеуказанный пробел, является первой попыткой дать систематизированный материал по вопросам осушения, полученный на основании многолетних опытов и наблюдений в условиях УССР.

Выпуском в свет работы инж. Янголя А. М. Украинский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации надеется оказать помощь проектным и производственным организациям в деле осушения и освоения болот и заболоченных земель не только теоретическими обобщениями, но и представлением некоторых материалов, полевых наблюдений, могущих быть использованными при реальном проектировании.

Институт обращается с просьбой ко всем читателям направлять свои критические замечания по данной работе в адрес УНИИГиМ'а—г. Одесса, бульв. Фельдмана № 7.

Дирекция УНИИГиМ'а

ОТ АВТОРА

Приведенные в этой книге материалы — результат работы Сектора осушения УНИИГиМ'а и его болотных опытных полей и опорных пунктов, а именно: Буровского опытного поля (Черниговская обл.), Панфиловского опорного пункта (Киевская обл.), Сульского опорного пункта (Сумская обл.), Подставского опорного пункта (Полтавская обл.), а также быв. Рудня-Радовельской болотной опытной станции. Кроме того, частично использованы материалы Козаровичской луговой опытной станции, которая не входит в систему УНИИГиМ'а.

Опыты и наблюдения, материалы которых использованы в этой работе, производились по сектору осушения под руководством автора, а на опытных пунктах—под руководством научных руководителей: на Буровском опытном поле Н. Н. Масютина, на Панфиловском опорном пункте С. А. Паляничко и инж. Н. И. Тимошенко, на Сульском опорном пункте С. А. Паляничко и А. П. Доценко, на Подставском опорном пункте А. Ф. Колода, на быв. Рудня-Радовельской болотной опытной станции Н. А. Тюленева и на Козаровичской опытной станции И. Г. Келля и П. П. Кубышкина.

В обработке материалов по этой работе принимал участие инженер-гидротехник Н. И. Тимошенко; чертежные работы выполнила техник И. П. Петрова.

Отмечаю с благодарностью кандидата технических наук В. С. Козлова и рецензентов стар. научного сотрудника С. В. Соколовского и проф. А. М. Ярошевского, давших мне ценные указания по отдельным вопросам этой работы.

А. ЯНГОЛЬ

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ВВЕДЕНИЕ

1. Общие замечания

XVIII съезд ВКП(б) поставил перед социалистическим сельским хозяйством величайшие задачи, выполнение которых обеспечивает дальнейший рост зажиточности и культуры нашего народа, дальнейшее укрепление могущества нашей родины. В утвержденном съездом плане Третьей Пятилетки предусмотрено—ежегодный сбор зерна в 8 миллиардов пудов, дальнейший огромный прирост технических культур, поголовья скота и его продуктивности, в размерах, полностью разрешающих животноводческую проблему в СССР.

Постановлением Совнаркома Союза ССР о введении правильных севооборотов в колхозах и совхозах Украинской ССР намечены большие работы по осушению и освоению болот с целью организации кормовой базы для скота на протяжении ближайших 2—3 лет.

Выполнение этих задач немыслимо без широкого применения в колхозах и совхозах всех новейших достижений науки и техники. Одним из решающих условий для сельскохозяйственного использования болотных земель, увеличения плодородия почвы, повышения урожайности всех культур и создания прочной кормовой базы для животноводства на болотах является правильное их осушение.

Осушительная мелиорация, являясь единственным мероприятием для превращения болот и заболоченных земель в разряд высокопродуктивных угодий, имеет громадное значение в сельском хозяйстве. Правильно мелиорированные болота уже теперь дают средние урожаи с 1 га: 100 центнеров сена культурных трав, 850 центнеров кормовой свеклы, 400 центнеров картофеля, 500 центнеров сахарной свеклы, 110 центнеров конопли (соломки), 90 центнеров махорки, а также высокие урожаи целого ряда других кормовых, овощных и технических культур. Решение XVIII

съезда ВКП(б) и постановление Совнаркома обязывают нас еще более рационально и высококачественно использовать болотные земли.

Площадь болот и заболоченных земель в УССР исчисляется цифрой порядка 1,5 миллиона га. Превращение этой площади земель в культурные угодья связано, в первую очередь, с правильным осушением. Правильно осушить болото—весьма серьезная и ответственная задача. Создание такой осушительной сети, которая обеспечивала бы наиболее выгодные условия водного режима болота для выращивания определенных культур, зависит от правильности расчетов, произведенных при ее проектировании. К главнейшим вопросам проектирования осушительных сетей,—к вопросам, от правильности решения которых зависит водный режим осушенных площадей,—принадлежат и вопросы степени осушения.

Однако, несмотря на это, вопросы степени осушения болот в условиях УССР еще очень слабо разработаны.

Следует сказать, что осушение болот в УССР приблизительно до начала первой пятилетки производилось исключительно с целью освоения их как естественных сенокосов. Поэтому осушительные системы выполнялись только с целью отвода поверхностных вод. Площадь такой осушки составляет свыше 100 тыс. га. В последние годы, в связи с быстрым ростом производительности сельскохозяйственного производства, получившего возможности этого роста на базе коллективизации, к осушению предъявляются более высокие требования, а именно—требования интенсивной осушки под различные с.-х. культуры.

На протяжении 1940—1942 г.г. в УССР по постановлению Совнаркома СССР нужно осушить не менее 75 тысяч гектаров болот, распахать не менее 160 тысяч гектаров и провести залужение 60 тысяч гектаров.

Отсюда следует, что актуальность в разработке вопросов степени осушения в настоящее время диктуется жизненной потребностью производства сегодняшнего дня.

При разработке настоящей темы мы руководствовались исключительно практическими целями—помочь проектным и производственным организациям в деле осушения болот. Для этой цели нами разработаны все имеющиеся местные материалы, могущие быть использованными по данному вопросу, а также даны некоторые теоретические обоснования.

Все разработанные нами материалы получены в результате специальных опытов и наблюдений, производившихся на болотных опытных полях и опорных пунктах системы Украинского н.-и. института гидротехники и мелиорации на протяжении 7—5 лет, начиная с 1924 по 1939 год. Эти

опыты и наблюдения производились как опытными полями и опорными пунктами, так и нами специально по этой теме.

Вот перечень разработанных нами материалов:

1. Данные наблюдения за уровнями грунтовых вод, уровнями воды в осушительной сети и расходами при различном расстоянии между осушителями и при различной их глубине.

2. Материалы по агротехническим опытам (сроки посева, норма осушения, урожаи различных культур в зависимости от расстояния канав).

3. Данные по определению водных и физических свойств торфа (водопроницаемость, водоотдача, влажность, аэрация, ботанический состав, степень разложения, зольность, объемный и удельный вес и влагоемкость).

4. Данные метеорологических наблюдений.

5. Отчетные материалы по теме Сектора осушения н.-и. института гидротехники и мелиорации „Модуль стока для расчета осушительных систем", разработанные на основании водомерных наблюдений по водпостам на реках УССР.

Все эти материалы разрабатывались нами с различной степенью детализации и под различным углом зрения, исходя из поставленной цели по каждому в отдельности разделу. Методика обработки материалов указывается нами в каждом разделе.

2. Литературные данные о степени осушения болот

В специальной литературе принято называть степенью осушения такое соотношение между расстоянием и глубиной регулирующих канав или дрен, которое обеспечивает определенные пределы колебания режима грунтовых вод, наиболее благоприятных для определенных с.-х. культур, возделываемых на данной осушаемой площади.

Так как глубина регулирующих канав или дрен колеблется в небольших пределах, то степень осушения определяется главным образом расстоянием между осушителями при данной их глубине.

В практике проектирования осушительных систем при определении расстояний между регулирующими канавами или дренами пользуются формулами или опытными данными местных опытных учреждений.

а) Опытные данные.

Ввиду неодинаковых почвенно-гидрологических и климатических условий районов распространения болот, цифровые значения расстояний между осушителями, принятых

в СССР, колеблются в широких пределах. Так, например, для осушения низинных болот под луга нормы расстояний между регулирующими канавами, рекомендуемые местными опытными учреждениями, систематизированные Б. Оношко в зональном разрезе, выражаются следующими цифрами.

Мелиоративные районы	Расстояние между канавами в метрах
Северный	20—30
Северо-восточный	30—50
Северо-западный	40—60
Центрально-промышленный	50—75
Западный	60—100
Юго-западный	80—120

Для технических культур нормы расстояний между осушителями принимаются приблизительно в 1,5—2 раза меньше. По данным доктора с.-х. наук М. В. Докукина для болот БССР низинного типа, грунтово-напорного питания расстояние между осушителями для полевых культур равно 32—60 *м*. На Маринских болотах БССР безнапорного питания для технических культур расстояние между канавами по данным Кожанова равно 65 *м*.

Всесоюзный научно-исследовательский институт болотного хозяйства для БССР рекомендует следующие расстояния между канавами для полевых культур и пастбищ: низинные болота грунтово-напорного питания—30—50 *м*, прочие низинные болота—60—80 *м*. По материалам ЗАПОМО проф. Эйхе рекомендует расстояния между канавами для зерновых культур—60—80 *м*, для технических—50—60 *м*.

Таким образом для западного района нормы расстояний между канавами колеблются: 1) для полевых культур на низинных болотах грунтово-напорного питания—30—60 *м*, на прочих низинных болотах—60—80 *м*; 2) для технических культур на болотах низинного типа—50—65 *м*.

Для центрально-промышленного, северо-западного, северо-восточного и северного районов нормы расстояний между регулирующими канавами сокращаются в указанном порядке. Так, например, по данным Яхромской опытной станции, Новгородской опытной станции, Архангельского и Хибиногорского опорных пунктов расстояние между ка-

навами для полевых и технических культур колеблется от 50 до 20 *м* в убывающем порядке к северу.

Из вышеприведенных данных видно, что нормы расстояний между регулирующими канавами, полученные опытным путем, являются справедливыми только для данных местных условий и применять их в других естественно-исторических условиях будет грубейшей ошибкой. Поэтому для каждого района и более или менее значительных объектов должны быть разработаны местные нормы расстояний между осушителями.

б) Формулы для определения расстояний между осушителями.

Известные в нашей литературе формулы для определения расстояний между регулирующими канавами или дренами можно разбить на несколько групп в зависимости от метода их получения и учитываемых факторов.

Метод получения новейших формул можно схематически свести к следующему: 1) определяется выражение грунтового стока q за время dt при снижении уровня грунтовых вод на величину dh, или выражение суммарного стока q за расчетный период t_p при снижении уровня грунтовых вод на величину $h_1 - h_2$, т. е. от первоначального до заданного уровня; 2) определяется выражение для количества воды W_β, которая заключается в осушаемом слое грунта и подлежит удалению за тот же промежуток времени в дрены или канавы; 3) приравняв эти выражения друг другу, получают формулу для определения расстояния между регулирующими канавами или дренами.

Чтобы получить выражение для определения расхода q, пользуются законом движения грунтового потока (Дарси)

$$v = k\frac{dy}{dx},$$

где k—коэфициент фильтрации, $\frac{dy}{dx}$—градиент фильтрации.

Градиент фильтрации определяется из уравнения кривой депрессии уровня грунтовых вод между двумя канавами или дренами. В зависимости от условий, обуславливающих движение воды, депрессионная кривая может иметь форму эллипса, параболы или гиперболы, благодаря чему получаются разные выражения для определения расхода, а это в свою очередь приводит к различным выражениям для расстояния между осушителями. Выражение для определения расстояния между регулирующими канавами или дренами зависит от характера снижения уровня грунтовых вод и

от времени t, в течение которого произойдет понижение уровня.

Выражение для определения количества воды в осушаемом слое грунта, подлежащей удалению при осушении, зависит от депрессионной кривой, а также условий отвода воды с осушаемой площади и водоотдачи грунта. Оно также обуславливает собою формулу для определения расстояния между регулирующими канавами или дренами.

По характеру учитываемых факторов формулы можно разбить на две основные группы: 1) учитывающие время, за которое необходимо понизить грунтовые воды на осушаемой территории до заданного уровня, а также учитывающие физические свойства грунта; 2) не учитывающие времени осушения и учитывающие модуль дренажного стока или количество атмосферных осадков, просочившихся на единицу площади в единицу времени.

К первой группе относятся формулы Костякова, Козлова, Эркина, Ивицкого, Кожанова, Лембке. Ко второй группе относятся формулы Брудастова, Роте, Кольдинга, Рихерта, Кожени, Остроменского, Сен-Венана.

Указанные две группы формул подразделяются в свою очередь на следующие подгруппы в зависимости от учета глубины до водоупора и инфильтрации:

1) дрены или канавы расположены на водоупоре: а) при наличии инфильтрации (Брудастов, Роте, Кольдинг, Сен-Венан, Кожени, Остроменский, Рихерт); б) при отсутствии инфильтрации (Костяков, Козлов, Эркин, Лембке, Ивицкий);

2) дрены или канавы расположены в водоносном горизонте: а) при наличии инфильтрации (Костяков, Ковлов, Эркин, Ивицкий, Кожанов);

б) при отсутствии инфильтрации (Костяков, Козлов, Эркин, Ивицкий).

Подробный анализ и критика упомянутых выше формул даны в работах В. С. Козлова[31, 30], поэтому останавливаться на анализе этих формул не будем. Отметим здесь только следующие моменты:

1) Для снижения уровня грунтовых вод при осушении на определенную величину, как показывают опытные данные и практика, требуется время тем большее, чем больше расстояние между канавами или дренами и наоборот. Следовательно, формулы, не учитывающие время осушения, нельзя считать вполне пригодными для расчета понижения уровня между осушителями. Отметим, что величина модуля дренажного стока, входящая в формулы этой группы, является неопределенной, так как она сама зависит от расстояния между дренами или канавами.

2) Пользоваться формулами второй подгруппы, которые

учитывают инфильтрацию воды извне, также затруднительно, так как учесть это количество воды за расчетный период довольно трудно (трудно учесть испарение и просачивание воды за сферу действия дренажа).

3) Формулы для определения расстояний между регулирующими канавами или дренами в случае близкого и глубокого залегания водоупора характеризуют, повидимому, частные случаи; более общими формулами являются те, которые учитывают глубину водоупора и позволяют пользоваться ими как при близком, так и при глубоком залегании водоупора.

4) Исходные зависимости для вывода формул указанных выше авторов и сами формулы в большинстве случаев получены теоретическим путем и в ряде случаев не проверены на опытных материалах, а потому довольно трудно судить о согласованности получаемых по ним результатов с данными практики. Выведенные здесь нами зависимости основаны на изучении факторов, влияющих на дренажный сток, для получения которых были использованы литературные данные и многолетние опытные материалы. Проведенные опытные исследования касались также проверки выведенных формул.

3. Характеристика опытных участков

1) Рудня-Радовельская болотная опытная станция, существовавшая с 1923 по 1932 год, была расположена на территории Киевского Полесья, в бассейне р. Уборть.

Участок болота опытной станции представляет часть обширного массива в 16.000 га, расположенного по Замысловичскому каналу. Болото принадлежит к низинному типу, грунтового питания, травно-осоковое, а местами—переходное.

Средняя глубина торфа колеблется в пределах 1,5—2,0 *м*. Дном торфяника являются водонепроницаемые породы. Зольность торфа составляет в среднем 7—8% и колеблется в пределах 2—20%, а у самого дна доходит до 70—90%.

Степень разложения торфа—средняя, а у самого дна разложенность торфа—70—80%. Влагоемкость торфа колеблется в пределах 1000—1500% по отношению к весу абсолютно сухой массы; удельный вес плотной массы—0,9—1,3.

Осушительная сеть на опытной станции была устроена в период с 1923 по 1925 год, а магистральный канал был проведен еще Западной экспедицией по осушению болот в 1893 году.

Осушительная сеть устроена с целью гидромодульных исследований. Поэтому глубина осушителей и расстояния

между ними—различные: глубина осушителей—0,40 *м*, 0,60 *м*, 0,70 *м*, 0,80 *м* и 1,0 *м*, при одинаковом расстоянии между ними в 60 *м*, повторность 3-кратная: расстояние между осушителями—20 *м*, 30 *м*, 40 *м*, 60 *м*, 80 *м* и 100 *м* при одинаковой глубине их в 0,70 *м*.

Гидромодульный участок оборудован водомерными колодцами для наблюдения за уровнями грунтовых вод и водпостами для наблюдения за уровнями воды в канавах. Створы водомерных колодцев расположены перпендикулярно к осушителям, посредине их длины.

При этом на учетной (средней) карте расположено 5 водомерных колодцев, а на неучетных (крайних)—по одному колодцу на середине полосы.

Наблюдения за уровнями грунтовых вод и уровнями воды в канавах производились систематически один раз в пятидневку, а в зимние месяцы—один раз в декаду с 1929 года по 1932 год. Таким образом, материалы наблюдений здесь обработаны за полные 3 года. По участкам с расстоянием между осушителями 65 *м* и на неосушенном участке болота данные наблюдений обработаны за 8 лет—с 1924 по 1932 год.

Кроме водомерных наблюдений, на гидромодульном участке производились опыты с различными культурами. В этих опытах все факторы уравнивались—и изучался только один из факторов, влияющий на урожай: глубина осушителей или расстояние между ними. Попутно с этим на одном из участков производились опыты со сроками посева различных культур для установления расчетного периода.

2) Козаровичская луговая опытная станция расположена на стыке Киевского и Черниговского Полесья, в бассейне р. Ирпень, при выходе ее в пойму р. Днепра.

Опытный участок расположен на болоте Чайка, которое принадлежит к системе болот поймы р. Ирпеня по р. Козка (левый приток Ирпеня). Этот массив представляет собой травно-моховое, низинного и переходного типа, болото и довольно обильно питается напорными водами с коренного берега.

Глубина торфа колеблется в пределах 3—5 *м*. Подстилается торфяник глеем и оглеенным песком. Зольность торфа колеблется в пределах 30—60%, а удельный вес—1,3—1,5. Влагоемкость торфа по отношению к весу абсолютно сухой массы составляет 400—900%. Степень разложения торфа—ниже средней.

Осушительная сеть устроена в 1923 году в целях определения оптимального расстояния между регулирующими канавами, которые проведены друг от друга на 30 *м*, 50, 60 и 120 *м* при глубине 0,65 *м*, повторность—3-кратная.

Гидромодульный участок оборудован водомерными ко-

лодцами и водомерными постами так, как и на Рудня-Радовельской опытной станции.

Водомерные наблюдения производились один раз в пятидневку с 1924 до 1932 года. Таким образом, материалы водомерных наблюдений по Козаровичской опытной станции обработаны за 8 лет.

3) Буровское опытное поле расположено на территории Черниговского Полесья (40 *км* от Чернигова), в южной части болота Центральный Замглай, общая площадь которого составляет около 6 000 га.

Болото травно-осоковое, низинного типа, местами—переходное, непойменное, грунтового питания.

Средняя глубина торфа—2,5 *м*; торфяник подстилается водонепроницаемыми глинами. Зольность торфа—8—12%. Степень разложения торфа—средняя, а в нижних горизонтах—до 80%.

Осушительная сеть устроена в 1927—1929 году. Регулирующие канавы проведены друг от друга на расстоянии: 30 *м*, 50 *м*, 60 *м*, 80 *м* и 100 *м*; глубина их—0,75—0,80 *м*; повторность 3-кратная. Оборудование гидромодульного поля водомерными колодцами и свайками сделано так же, как и на Рудня-Радовельской болотной станции. Водомерные наблюдения производятся с 1934 года и по настоящее время. До 1936 года водомерные наблюдения производились круглый год, один раз в пятидневку, а с 1936 года они производятся в весенний период и до середины лета ежедневно и после дождей. Таким образом, по Буровскому опытному полю материалы водомерных наблюдений обработаны за 5 лет.

Кроме водомерных и метеорологических наблюдений на гидромодульном участке Буровского опытного поля производились и производятся в настоящее время опыты с культурами. С 1937 года изучаются водные и физические свойства торфа, а также ведутся наблюдения над внутренним стоком.

4) Сульский опорный пункт расположен в Лесостепной части УССР, на болоте Ромен, в 20 *км* на северо-запад от ст. Ромны.

Участок болота опорного пункта представляет часть обширного массива в 12 000 га, расположенного в долине р. Ромен, притока р. Сулы. По своему характеру и месту расположения это болото является характерным для болот лесостепной части УССР.

Болото в основном травно-осоковое и гипново-осоковое, низинного типа, обильного грунтового питания с наличием напорных вод со стороны коренных берегов, высоко поднимающихся над речной долиной. Средняя глубина торфа—2,5—3,0 *м*. Подстилают его глинистые послетретичные отло-

жения, которые являются почти совершенно водонепроницаемыми.

Торфяник на территории опорного пункта содержит следующие виды торфа: древесно-тростниковый, тростниковый, осоково-тростниковый, тростниково-осоковый, бобовниково-осоковый, бобовниковый и гипново-осоковый. Степень разложения торфа колеблется в пределах 15—20%, а в придонных глубинах—45—50%, достигая 75%. Зольность торфа колеблется в пределах 20—40%. Удельный вес плотной массы—1,30—1,40; влагоемкость—600—700% по весу к абсолютно сухой навеске.

Регулирующая сеть канав устроена в 1933—34 году. Расстояния между канавами следующие: 20 *м*, 40 *м*, 60 *м*, 80 *м* и 100 *м* при глубине канав 0,80—1 *м*, глубина канав: 0,75 *м*, 1,0 *м*, 1,25 *м* и 1,50 *м* при одинаковом расстоянии в 60 *м*. Повторность везде 3-кратная.

Водомерные наблюдения на гидромодульном участке начаты в 1935 году и производятся в настоящее время по тем же датам, что и на Буровском опытном поле. Обработаны здесь материалы за 1935—1937 г.г.

Кроме водомерных и метеорологических наблюдений, здесь, как и на Буровском опытном поле, производились и производятся опыты с культурами, а также изучаются водные и физические свойства торфа и внутренний сток.

5) Панфиловский опорный пункт расположен в Лесостепной части УССР, на болоте Супой, в трех километрах от ст. Яготин. Организован этот пункт в 1935 году и начал свою работу в 1936 г.

Общая площадь супойского массива—около 21 тыс. га. Болото—низинного типа, преимущественно гипново-осоковое, осоково-гипновое и осоково-тростниковое. Участок болота опорного пункта представлен торфами осоково-тростниковыми и осоково-гипновыми. Средняя глубина торфа—3,5—4 *м*. Подстилают его водонепроницаемые породы. Степень разложения торфа осоково-гипнового—10—15%, осоково-тростникового—30—35%, а в придонных горизонтах—50—60%. Удельный вес плотной массы торфа—1,5—1,9, полная влагоемкость торфа—600—800%.

Осушительная сеть на участке опорного пункта устроена в 1936 году и состоит из открытых коллекторов через 200 *м* и различных типов дренажа—жердяного, фашинного и кротового. Расстояние между дренами жердяного и фашинного дренажа—20 *м*, а кротового—20, 30, 40, 60, 80 и 100 *м*. Необходимо отметить, что кротовый дренаж на Панфиловском опорном пункте устроен впервые в истории осушения болот на Украине. По простоте устройства и дешевизне кротовый дренаж заслуживает большого внимания.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕПЕНИ ОСУШЕНИЯ БОЛОТ

А. РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ОСУШИТЕЛЯМИ ПО ОПЫТНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Для изучения вопросов степени осушения болот, как уже указывалось в начале настоящей работы, на всех болотных опытных пунктах УССР имеются гидромодульные участки с различными расстояниями между осушителями. На этих участках на протяжении ряда лет систематически производились наблюдения за уровнями грунтовых вод, уровнями воды в осушительной сети и периодически определялись влажность и аэрация почвы, а также производились опыты по изучению влияния различных расстояний между осушителями на урожай целого ряда культур.

Имея осушительную сеть при различных расстояниях между канавами или дренами, при достаточном количестве материалов наблюдений за уровнями грунтовых вод и данных урожая различных культур, можно изучить два основные вопроса: 1) те оптимальные условия водного режима для различных с.-х. культур, которые обеспечивают наиболее высокий урожай, и 2) те расстояния между канавами или дренами, которые обеспечивают эти оптимальные условия.

Результаты проработки первого вопроса приведены в разделе о норме осушения, где с.-х. культуры по отношению их к уровню грунтовых вод разбиваются на три группы: 1) первая группа (главным образом травы), требующая нормы осушения весной к началу посева не меньше 0,3—0,4 *м*, а в вегетационный период, в среднем, 0,5—0,6 *м*; 2) вторая группа культур (главным образом зерновые), требующая нормы осушения весной к началу посева 0,4—0,5 *м*, а в вегетационный период, в среднем, 0,6—0,8 *м*; 3) третья группа культур (главным образом—технические),

требующая нормы осушения весной к началу посева 0,5—0,6 *м*, а в вегетационный период, в среднем, 0,8—1,0 *м*. В том же разделе для этих групп культур приведены допустимая влажность и аэрация почвы.

Ниже приводим вкратце результаты разработки опытных материалов по второму вопросу, т. е. по изучению расстояний между канавами и дренами, которые обеспечивали указанные требования с.-х. культур к условиям грунтовых вод.

1. Расстояние между осушителями по средним уровням грунтовых вод

Для характеристики влияния осушителей при различном расстоянии между ними на глубину стояния уровня грунтовых вод посередине участков приводим рис. 1 и таблицу 1.

Данные этой таблицы показывают, что за весенний период средний уровень грунтовых вод на Козаровичской

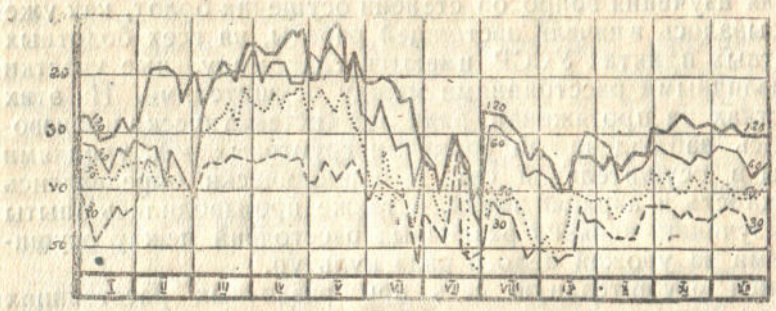

Рис. 1.

Колебания уровней грунтовых вод на осушенном болоте Козаровичской опытной станции при различном расстоянии между канавами.

(По средним данным за 1925—32 гг.).

опытной станции и Сульском опорном пункте снижался на более или менее удовлетворительную глубину только при расстоянии между канавами в 30 *м*, а на Рудня-Радовельской опытной станции и Буровском опытном поле—при расстояниях до 60 *м*.

В летний период уровень грунтовых вод стоял почти на одинаковой глубине независимо от густоты канав, причем по отдельным опытным пунктам картина интенсивности работы осушительной сети в этот период остается такая же, как и для весны.

По осенним уровням можно заключить, что условия для проведения осенней вспашки были обеспечены на Козаро-

Таблица 1

Расстояние между осушителями в *м*	Средние уровни грунтовых вод по периодам			
	1/III—1/IV	1/IV—1/IX	1/IX—1/XII	1/V—1/X
1929—1931	Рудня-Радовельская опытная станция			
20	40	66	54	62
30	38	70	55	65
40	23	54	33	51
60	23	49	41	46
80	26	54	36	38
100	31	70	54	65
1924—1931				
65	54	78	69	75
1934—1937	Буровское опытное поле			
30	40	73	62	69
50	23	68	50	62
60	19	65	46	56
80	24	67	56	58
100	18	64	56	56
1935—1937	Сульский опорный пункт			
20	23	59	48	52
40	—	44	40	45
60	17	42	42	46
80	—	43	32	39
100	11	49	29	40
1925—1932	Козаровичская опытная станция			
30	35	46	45	44
40	19	34	35	39
50	27	41	39	39
60	22	41	38	39
120	15	31	32	29

вичском участке только при расстоянии между канавами в 30 *м*, на Сульском—при расстоянии между канавами до 60 *м*, а на Рудня-Радовельском и Буровском участках эти условия были обеспечены при расстоянии между канавами до 100 *м*.

Рассматривая уровни грунтовых вод за вегетационный период, можно констатировать, что на Козаровичском и Сульском участках осушительная сеть при всех расстояниях между канавами обеспечивала норму осушения только для луговых трав. На Рудня-Радовельской опытной станции и Буровском опытном поле осушительная сеть при расстояниях между осушителями до 60 *м* обеспечивала норму осушения и для более интенсивных культур.

Приведенные ниже табл. 3 и рисунки 2 и 3 довольно наглядно характеризуют влияние осушителей при различном расстоянии между ними на режим грунтовых вод за вегетационный период.

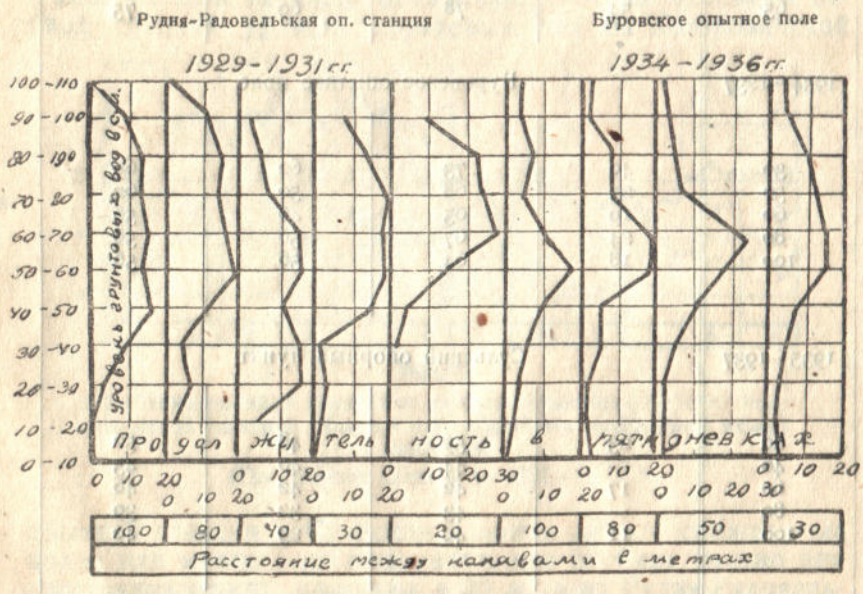

Рис. 2.

Продолжительность стояния уровней грунтовых вод за вегетационный период.

На рисунках 2 и 3 изображены кривые продолжительности стояния уровней грунтовых вод через 10 *см* в пятидневках с 1/V по 1/X за все годы наблюдений. Эти рисунки характеризует таблица 2 (стр. 22—23).

Продолжительность стояния уровней грунтовых вод за

вегетационный период в процентах на участках с различным расстоянием между канавами по всем опытным пунктам приведена в табл. 3 (стр. 24).

Эти таблицы показывают, как различные осушительные системы и при каких расстояниях между осушителями обеспечивали норму осушения по группам культур.

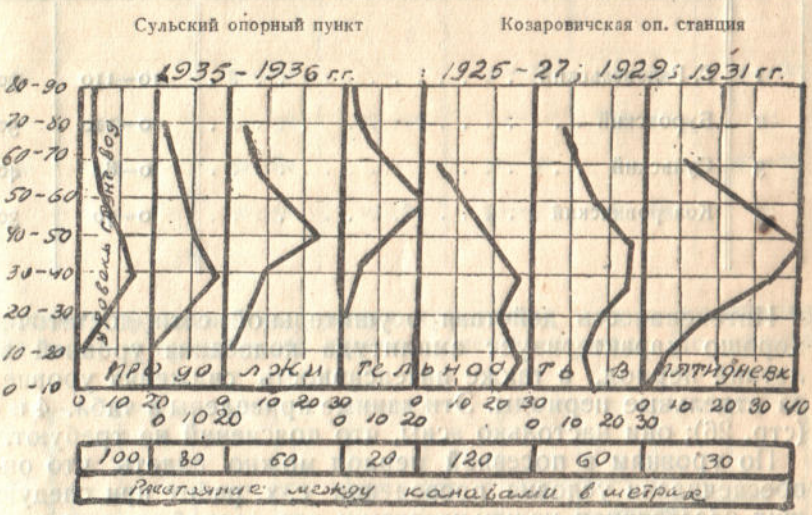

Рис. 3.

Продолжительность стояния уровней грунтовых вод за вегетационный период.

На основании всех приведенных выше материалов можно сделать выводы, что в данных условиях расстояния между канавами должны быть следующие: для первой группы культур—около 100 *м* по всем пунктам, для второй группы культур—около 30 *м* по Козаровичской опытной станции, 40—60 *м* по Сульскому опорному пункту, 50—80 *м* по Буровскому опытному полю и 65—80 *м* по Рудня-Радовельской опытной станции; для третьей группы культур—30—50 *м* по Буровскому опытному полю и 60—65 *м* по Рудня-Радовельской опытной станции. На Козаровичском и Сульском участках—условия водного режима для третьей группы культур осушительная сеть не обеспечивала.

2. Расстояние между осушителями по уровням грунтовых вод в посевной период

Уровни грунтовых вод в весенний период, в зависимости от расстояния между канавами, приведены в табл. 4 (стр. 25).

Рассматривая табл. 4, по уровням и датам можно судить об интенсивности действия осушительных систем.

№№ п/п	Название пункта	Амплитуда колебания уровней в *см*	Уровни, по которым проходят пики продолж.
1	Р.-Радовельский	10—110	50—60
2	Буровский	0—110	50—60
3	Сульский	0—80	40—50
4	Козаровичский	0—70	30—40

Интенсивность действия осушительной сети достаточно хорошо характеризует амплитуда колебания уровней за летний период, а также интенсивность снижения уровней за отдельные периоды. Эти данные приведены в табл. 4 и 5 (стр. 26); они настолько ясны, что пояснений не требуют.

По уровням в посевной период можно видеть, что они обеспечивали условия проведения с.-х. работ при следующих расстояниях между канавами: для первой группы культур—при расстояниях 100 *м* по всем опытным пунктам; для второй группы культур—при 80 *м* по Рудня-Радовельской опытной станции, при 50 *м* по Буровскому опытному полю, при 30 *м* по Козаровичской опытной станции и при 20 *м*—по Сульскому опорному пункту; для третьей группы культур—при 65 *м* по Рудня-Радовельской опытной станции, при 30 *м* по Буровскому опытному полю, а по остальным пунктам эти условия для третьей группы культур не были обеспечены.

3. Зависимость между уровнями грунтовых вод и расстоянием осушителей

Располагая данными водомерных наблюдений на осушительных системах при различном расстоянии между осушителями, пользуясь графо-аналитическим методом, мы можем найти эмпирическую зависимость между расстоянием осушителей и соответствующими уровнями грунтовых вод за определенный период.

Для этой цели нами по каждому опытному пункту строились два типа графиков. Первый тип графиков (см. рис. 4) строился следующим образом: на оси абсцисс откладывались расстояния между осушителями, а на оси ординат—

Таблица 2

Уровни с продожительностью стояния их более 50%						
100	80	60	50	40	30	20
40—90	40—90	20—70	—	20—70	40—90	40—80
40—70	50—70	40—70	40—70	—	50—80	—
20—50	20—50	30—60	—	20—50	—	40—70
—	—	0—50	10—60	10—50	30—60	—

соответствующие им уровни грунтовых вод к посевному периоду и средние за вегетационный период. По точкам

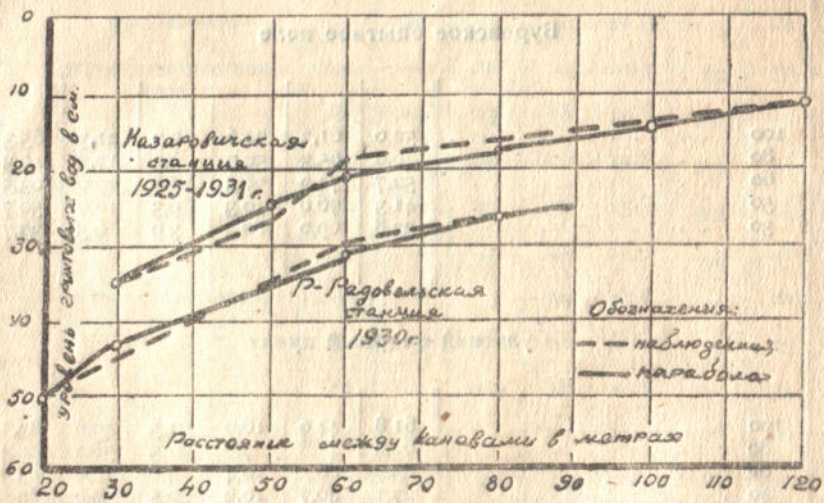

Рис. 4.

Зависимость уровней грунтовых вод от расстояния между осушителями в посевной период.

наносились кривые и подбирался тип уравнения этих кривых. Второй тип графиков (рис. 5) строился в виде депрессионных линий уровня грунтовых вод к посевному периоду. Для депрессионных кривых также подбирался тип уравнения по способу наименьших квадратов.

Таблица 3

Расстояние между канавами в *м*	Продолжительность стояния уровней в %					
	От 30 до 60 *см*	От 40 до 80 *см*	От 60 до 100 *см*	> 30 *см*	> 40 *см*	> 60 *см*
Рудня-Радовельская опытная станция						
100	39,5	61,5	56,2	4,1	12,5	43,7
80	34,6	60,6	52,0	6,7	9,6	41,3
60	56,0	58,3	26,0	17,7	40 6	74,0
40	46,8	52,1	30,2	22,9	39,5	69,7
30	38,5	76,0	58,3	3,1	5,2	41,6
20	46,5	90,6	52,0	1,0	3,1	47,9
Буровское опытное поле						
100	52,0	61,3	34,6	13,3	21,3	65,3
80	40,0	65,3	50,7	9,3	17,3	49,3
60	52,7	74,3	36,5	10,8	19,0	63,5
50	41,3	76,0	49,3	9,3	14,7	50,7
30	33,8	69,0	62,3	3,9	6,5	37,7
Сульский опорный пункт						
100	61,8	44,9	16,0	21,5	49,8	83,1
80	71,2	41,8	7,6	21,5	58,2	92,4
60	85,7	86,5	10,4	4,0	13,6	65,0
40	67,1	40,7	10,2	22,5	59,0	89,5
20	70,6	93,9	26,5	20,0	48,0	73,8
Козаровичская опытная станция						
120	45,4	24,7	1,0	53,8	75,4	99,2
60	51,1	42,1	12,7	36,1	57,1	87,2
50	58,7	41,8	6,2	34,8	57,3	93,8
40	51,1	25,5	1,5	47,4	74,4	98,5
30	77,1	58,8	7,3	14,7	41,2	92,6

Таблица 4

Пункты	Расстояние между канавами	Уровень грунтовых вод по периодам в *см*					
		Начало весеннего периода	Предпосевной период	Посевной период	Даты перехода уровней через 40 *см*	Летний низкий уровень	Летний высокий уровень
Р.-Радовельская опытная станция	100	20	16	35	25.IV	92	46
	80	23	24	41	20.IV	98	55
	65	—	35	55	4.V	90	53
	60	12	22	25	15.VI	62	32
	30	20	22	45	20.IV	94	50
	20	22	32	46	1.IV	87	48
В маг. канале	—	66	31	79	25 IV	113	60
Буровское опытное поле	100	—	20	24	20.V	99	32
	80	—	23	26	20.V	100	45
	60	—	29	26	15.V	107	45
	50	—	35	36	15.V	108	49
	30	—	47	45	10.V	98	46
Сульский опорный пункт	100	8	5	22	28.V	90	22
	80	5	5	20	28.VI	73	25
	60	4	19	28	21.V	77	33
	40	10	7	17	25.VI	76	22
	20	12	34	13	10.V	83	37
В маг. канале	—	1,60	46	59	—	—	—
Козаровичская опытная станция	120	14	15	37	15.VI	61	14
	60	10	16	25	25.VI	70	15
	50	20	22	30	25.VI	63	12
	30	32	30	37	10 VI	65	18

Таблица 5

Пункты	Период	Снижение уровня грунтовых вод в *см* в сутки							
		Расстояние между канавами в *м*							Среднее
		100	80	60	50	40	30	20	
Рудня-Радовельская опытная станция	От весеннего максимума до посевного . .	2,0	2,2	1,4	—	—	2,5	2,6	2,14
	От предпосевного до посевного	1,4	1,3	0,23	—	—	1,0	1,0	1,15
	От уровня 0,40 *м* до уровня 0,50 *м*	—	—	—	—	—	—	—	1,0
Сульский опорный пункт	От весеннего максимума до посевного . .	0,6	0,6	0,8	—	0,5	—	1,2	0,74
	От предпосевного до посевного	0,7	0,6	0,3	—	0,4	—	0,4	0,5
	От уровня 0,40 *м* до уровня 0,50 *м*	—	—	—	—	—	—	—	0,5
Козаровичская опытная станция . .	От весеннего максимума до посевного . .	0,7	—	0,8	0,9	—	1,2	—	0,9
	От предпосевного до посевного	0,7	—	0,3	0,3	—	0,2	—	0,4
	От уровня 0,40 *м* до уровня 0,50 *м*	—	—	—	—	—	—	—	0,5
Буровское опытное поле	От уровня 0,40 *м* до уровня 0,50 *м*	—	—	—	—	—	—	—	2,0

Таблица 6

Пункты	Уровни	Расстояние между канавами							Периоды наблюдений
		20	30	40	50	60	80	100	
Сульский опорный пункт	Наблюденные	42	—	38	—	36	28	29	Посевной
	по параболе	42	—	38	—	34	31	28	1937
	Наблюденные	46	—	44	—	40	32	34	Вегетационный
	по параболе	47	—	43	—	39	35	33	1937
Буровское опытное поле	Наблюденные	—	70	—	70	63	61	55	Вегетационный
	по параболе	—	70	—	67	65	61	55	
	Наблюденные	—	38	—	27	21	21	18	
	по параболе	—	38	—	29	26	20	17	

Таблица 7

Пункты	Периоды	Вид уравнения	Квадратическое отклонение в *м*
Рудня-Радовельская опытная станция . .	Посевной	$y = 0{,}000042x^2 - 0{,}0084x + 0{,}66$	0,010
	Вегетационный	$y = 0{,}000053x^2 - 0{,}0071x + 0{,}79$	0,049
Буровское опытное поле	Посевной	$y = 0{,}00003x^2 + 0{,}0026x + 0{,}30$	0,020
	Вегетационный	$y = 0{,}0000089x^2 - 0{,}0033x + 0{,}646$	0,032
Сульский опорный пункт	Посевной	$y = 0{,}0000159x^2 - 0{,}00506x + 0{,}50$	0,033
	Вегетационный	$y = 0{,}000022x^2 - 0{,}0025x + 0{,}62$	0,020
Козаровичская опытная станция	Посевной	$y = 0{,}0000347x^2 - 0{,}0077x + 0{,}55$	0,015
	Вегетационный	$y = 0{,}0000153x^2 - 0{,}00397x + 0{,}56$	0,0052

Таблица 8

Расстояние между канавами в *м*	Уровень грунтовых вод в *см* по периодам							
	Рудня-Радовельская станция		Буровское опытное поле		Сульский опорный пункт		Козаровичская опытная станция	
	Посевной	Вегетационный	Посевной	Вегетационный	Посевной	Вегетационный	Посевной	Вегетационный
20	51	66	34	63	40	57	41	49
30	45	62	35	60	36	55	35	45
40	49	59	35	57	32	52	28	43
50	35	56	36	55	29	50	24	41
60	31	55	34	52	25	48	21	38
70	29	55	33	50	22	46	18	35
80	26	55	31	48	20	43	16	34
90	25	—	29	45	17	41	13	32
100	22	—	26	44	15	39	12	31
120	—	—	—	—	—	—	12	31

В результате исследований найдено, что кривые первого типа графиков представляют собой уравнение вида параболы:

$$y = ax^2 + bx + c,$$

где x—расстояние между осушителями, y —соответствующий этому расстоянию уровень грунтовых вод, a, b и c—неизвестные, которые отыскивались по способу наименьших квадратов.

В табл. 6 (стр. 27) и 7 (стр. 28) приведены результаты исследования этих кривых относительно посевного и вегетационного периодов.

Если мы зададимся нормой осушения к посевному и за вегетационный период, то по уравнениям табл. 7 можно найти для данных пунктов то расстояние между канавами, которое обеспечивает заданную норму осушения. Зная же расстояния между канавами, можно определить, на какую глубину будет снижен уровень грунтовых вод к посевному или за вегетационный период.

Подставив в уравнения табл. 7 вместо x расстояние между канавами от 20 до 100 *м* с градациями через 10 *м*, получим следующую таблицу уровня грунтовых вод в зависимости от этого расстояния (см. табл. 8, стр. 29).

Если принять норму осушения посередине между канавами к началу посевного периода 30 *см*, а за вегетационный период 50 *см*, то по табл. 8 получим следующие расстояния между канавами:

Таблица 9

Пункты	Расстояния между канавами в *м*	
	Посевной период	Вегетационный период
Рудня-Радовельская опытная станция .	70	70
Буровское опытное поле	70	70
Сульский опорный пункт	50	50
Козаровичская опытная станция	40	—

Исследования графиков второго типа показали, что депрессионные линии грунтовых вод в посевной период достаточно точно характеризует уравнение эллипса:

$$y^2 = ax - bx^2 + h_0^2.$$

Имея материалы наблюдений над уровнем грунтовых вод за посевной период по ряду наблюдательных колодцев между двумя канавами и подставляя в это уравнение вместо y уровень грунтовых вод от линии дна канавы у каждого колодца, а вместо x—расстояние колодца от канавы, мы получим столько уравнений, сколько есть наблюдательных колодцев. Решая систему уравнений способом наименьших квадратов, мы получим уравнение депрессионной кривой уровня грунтовых вод.

Таким способом были найдены значения параметров данного уравнения депрессионной кривой для различных расстояний между осушителями по всем опытным пунктам. При этом данные водомерных наблюдений принимались за период, когда уровень грунтовых вод залегал на глубине от 30 до 50 *см*, т. е. в пределах посевной нормы осушения.

На этот период решено свыше 50 уравнений для различных случаев.

Средние значения параметров получены следующие:

Таблица 10

Опытный пункт	Значения параметров			Примечание
	a	b	h_0^2	
Р.-Радовельская . . .	0,00431	0,000132	0,179	
Буровский	0,0121	0,000226	0,180	
Сульский	0,0089	0,000164	0,195	
Козаровичский . . .	0,0072	0,000144	0,0454	

Квадратическая ошибка, т. е. отклонение вычисленного по уравнению от наблюденного уровня грунтовых вод, колеблется в пределах от 0 до 0,01, а в среднем около 0,005.

На рис. 5 нанесены пунктиром депрессионные кривые по наблюденным уровням грунтовых вод, а сплошными линиями—по уровням, вычисленным по уравнению. Как видно из этих графиков и по квадратическим отклонениям, принятое уравнение довольно точно характеризует депрессионную кривую уровня грунтовых вод.

Для середины полосы между двумя канавами

$$x = \frac{E}{2}, \quad y = h,$$

следовательно, уравнение депрессионной кривой будет иметь следующий вид:

$$h^2 = a\frac{E}{2} - b\left(\frac{E}{2}\right)^2 + h_0^2 .$$

Обозначения указаны на рис. 8. Согласно этому чертежу глубина канавы определится из равенства:

$$T = H + h.$$

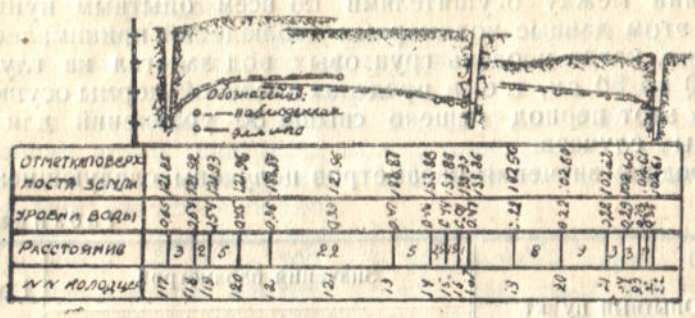

Рис. 5.

Депрессионные кривые в посевной период.

Подставляя в это уравнение вместо h его значение из предыдущего уравнения, получим выражение, связывающее глубину канав с расстоянием между ними и нормой осушения:

$$T = H + \sqrt{a\frac{E}{2} - b\left(\frac{E}{2}\right)^2 + h_0^2} \qquad \text{(а)}$$

На основании выражения (а) и значений a, b и h_0^2, определенных для посевного периода по каждому опытному участку, получены следующие расстояния между осушителями.

Таблица 11

Пункты	Группы культур		
	I	II	III
Рудня-Радовельская опытная станция	115	87	58
Буровское опытное поле	97	82	63
Сульский опорный пункт	91	72	51
Козаровичская опытная станция	100	72	49

Если мы уравнение (а) разрешим относительно E, произведем соответствующие преобразования, пренебрежем h_0^2 и $\frac{a^2}{4b}$ как малыми величинами по сравнению с другими элементами уравнения, а также принимая во внимание, что $T-H$ с физической стороны есть величина существенно положительная, то получим следующее простое выражение для определения расстояния между осушителями

$$E = A + B(T-H), \qquad (б)$$

где E—расстояние между осушителями;

T—глубина осушителя;

H—норма осушения;

$A=\frac{a}{b}$, $B=\frac{2}{\sqrt{b}}$ — постоянные величины для данных условий.

На основании обработки соответствующих материалов в массовом количестве можно построить графики для определения значений A и B в зависимости от физических свойств торфа и других факторов, например, степени разложения, и ботанического состава, влагоемкости, коэфициента фильтрации и водоотдачи торфа.

Ввиду отсутствия достаточного количества соответствующих данных для построения таких графиков, приводим таблицу значений A и B, составленную на основании обработки имеющихся материалов.

	A	B
1. Болото низинного типа, грунтового питания; торф слабо-средней степени разложения, тростниково-осоковый, гипново-осоковый	19	144
2. Болото низинного типа, грунтово-напорного питания; торф слабо-средней степени разложения, осоково-тростниковый, тростниково-осоковый, гипново-осоковый	39	120

Пользуясь этой таблицей при заданной глубине канав и норме осушения, можно определить по формуле (б) расстояние между осушителями.

В табл. (11а) для иллюстрации приведены вычисленные расстояния между осушителями в зависимости от глубины канав, нормы осушения, соответствующей группам культур, и типа болот.

Таблица 11а

Глубина осушителей в *м*	Болото безнапорного грунтового питания			Болото грунтово-напорного питания		
	Расстояние между канавами при норме осушения в *м*					
	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
1,0	125	110	100	120	105	90
0,9	110	100	90	105	90	75
0,8	100	90	75	90	75	60
0,7	90	75	60	75	60	50

Данные этой таблицы хорошо согласуются с выводами, сделанными на основании анализа грунтовых вод в посевной и за вегетационный период при соответствующей глубине канав, а также с выводами, которые получены на основании урожая различных культур. Например, при глубине канав 0,8 *м*, что соответствует средней глубине канав на опытных участках, расстояния между ними получены почти такие же, при которых в опытах получены наиболее высокие урожаи различных культур. Это подтверждает возможность пользования в некоторых случаях этой формулой для определения расстояния между осушителями.

4. Расстояние между осушителями по урожаям различных с.-х. культур

Чтобы изучить влияние расстояний между осушителями на урожай различных с.-х. растений, на протяжении ряда лет производились специальные опыты на болотных опытных пунктах. На всех опытных участках приемы агротехники применялись совершенно одинаковые.

Ниже в табл. 12 приводим урожай различных с.-х. культур в зависимости от расстояния между осушителями.

Рассматривая табл. 12, видим, что наибольший урожай луговых трав был получен при расстоянии между канавами 80—100 *м* по всем пунктам. По другим культурам такой выраженной зависимости урожая от расстояния канав, как по травам, не наблюдается. Например, во второй группе культур наибольшие урожаи были получены при расстоянии между осушителями в пределах 100—60 *м*, а по

третьей группе культур—при расстоянии в пределах 80—50 *м*, причем на Буровском опытном поле наибольший урожай картофеля был получен даже при расстоянии 80—100 *м*.

Анализируя данные табл. 12 по отдельным пунктам, можно сделать выводы, что расстояния между осушителями должны быть не более: для второй группы культур 100—80 *м* по Рудня-Радовельской опытной станции и Буровскому опытному полю, 80—60 *м* по Сульскому опорному пункту; для третьей группы культур 80—60 *м* по Рудня-Радовельской опытной станции, 60—50 *м* по Буровскому опытному полю и 50 *м* по Сульскому опорному пункту.

5. Обобщение

Вышеприведенные расстояния между осушителями получены на основании следующих данных: 1) по нормам осушения за вегетационный период, 2) по нормам осушения за фактический посевной период, 3) по уравнениям депрессионной кривой уровня грунтовых вод к началу посевного периода и 5) по данным урожая различных культур.

Полученные таким образом расстояния и средние из них приведены в табл. 13 (стр. 38).

Как видим, цифры отдельных граф этой таблицы довольно близки между собой, несмотря на то, что они установлены по разным показателям.

Рассматривая по отдельным опытным пунктам данные табл. 13, видим, что они правильно отображают и общую характеристику болот по их водному питанию. Средние же данные сглаживают некоторый разнобой в цифрах, полученных по разным показателям. Поэтому средние данные, можно считать, наиболее правильно характеризуют необходимые расстояния между канавами.

Так как болота Рудня-Радовельской опытной станции и Буровского опытного поля относятся к низинному типу грунтового питания, а болота Козаровичской опытной станции и Сульского опорного пункта относятся к низинному типу грунтово-напорного питания, то, на основании табл. 13, мы считаем возможным составить таблицу средних расстояний между канавами, необходимых для интенсивной осушки в зависимости от направления использования и характера водного питания болот.

Эти расстояния относятся к средней глубине осушителей 0,7—0,8 *м*; при глубине же осушителей 0,9—1,0 *м* расстояния табл. 14 (стр. 38) можно увеличить на 10—15 процентов.

Для сравнения расстояний между осушителями, полученных по разным показателям, приводим табл. 14а (стр. 39).

Культуры	Урожай культур в ц. с 1 га при рас			
	100	80	60	50
1. Сено естественных лугов . . .	23,7	21,3	—	—
2. То же	35,2	22,7	36,8	40,0
3. Сено сеяных лугов	89,6	79,3	85,6	—
4. То же	21,8	23,5	21,9	16,9
5. То же	—	22,8	—	17,3
6. Овес (зерно)	22,7	29,6	18,5	—
(солома)	45,2	58,4	55,0	—
7. То же (зерно)	8,0	7,8	8,7	10,0
8. Кольза (зерно)	15,3	16,3	15,4	16,5
9. Кольза (зерно)	2,2	5,5	4,9	—
10. Кольза (зерно)	23,2	20,5	27,6	28,4
11. Конопля (стебли)	44,1	38,4	—	—
(зерно)	11,4	12,3	—	—
12. Конопля (стебли)	21,7	24,8	48,7	53,8
13. Конопля (стебли)	21,6	22,7	48,6	53,8
14. Картофель	240,2	237,2	226,3	194,3
15. Картофель	—	227	220	269
16. Картофель	226,0	244,0	252,4	193,4
17. Сахарная свекла	276,8	274,8	329,8	270,3
18. Сахарная свекла	—	—	203,3	—
19. Сахарная свекла	—	—	126,8	—

Таблица 12

стоянии между канавами (в м)			Год производства опытов	Место производства опытов
40	30	20		
18,1	18,1	14,5	1929 1930	Р.-Радовельская оп. станция
—	30,8	—	1936 – 1935	Буровское опытное поле
—	83,8	—	1935	» » »
—	13,7	—	1934	» » »
—	—	—	1934	Сульский опорный пункт
22,1	23,2	21,0	1930	Р.-Радовельская оп. станция
39,2	35,8	42,2	1930	» » »
—	—	—	1937	Буровское опытное поле
—	14,0	—	1935—1936	» » »
10,0	—	10,1	1935	Сульский опорный пункт
—	—	—	1937	Буровское опытное поле
54,8	47,5	48,8	1930	Р.-Радовельская оп. станция
10,0	8,4	8,2	1930	
—	—	—	1936	Буровское опытное поле
—	—	—	1937	» » »
—	222,0	—	1936	» » »
—	—	—	1934	Сульский опорный пункт
—	—	—	1937	» » »
—	—	—	1936	Буровское опытное поле
251,3	—	321,2	1936	Сульский опорный пункт
218,9	—	281,9	1937	» » »

Таблица 13

Название опытного участка	Группа культур	Расстояние между осушителями в *м*				
		По средней норме осушения	По норме осушения в посевной период	По уравнению депрессионной кривой	По урожаям культур	Средние
Рудня-Радовельская опытная станция . . .	I	100	100	115	100	104
	II	80	80	87	100—80	85
	III	65	65	58	80—60	65
Буровское опытное поле	I	100	100	97	100	99
	II	80	50	82	100—80	78
	III	50	—	63	60—50	56
Сульский опорный пункт	I	100	100	91	100—80	94
	II	60	—	72	80—60	68
	III	—	—	51	50	50
Козаровичская опытная станция	I	100	100	100	—	100
	II	—	—	72	—	70
	III	—	—	49	—	50

Таблица 14

Характер использования болота	Расстояние между канавами в *м*	
	Болота низинного типа, грунтового питания	Болота низинного типа, грунтово-напорного питания
1. Травопольный севооборот с культивированием растений I группы	100	100
2. Травопольный севооборот с культивированием растений II группы	80	70
3. Травопольный севооборот с культивированием растений III группы	60	50

Таблица 14а

Расстояние между осушителями	Болота безнапорного питания при норме осушения			Болота грунтово-напорного питания при норме осушения		
	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50
1) По табл. 14	100	80	60	100	70	50
2) По уравнению (б) при глуб. канав 0,80 *м* .	100	90	75	90	75	60
3) По урожаям культур	100	100—80	80—50	100—80	80—60	50

Как видим из таблицы, расстояния между осушителями по табл. 14 и по уравнению (б) согласуются с расстояниями, полученными по урожаям культур. Это подтверждает правильность табл. 14 и уравнения (б).

Поэтому данные табл. 14 и уравнение (б) вполне могут служить для предварительных расчетов расстояний между осушителями.

Приведенные в табл. 14 расстояния между осушителями удовлетворяют требованиям различных культур к интенсивности осушки. Но кроме того, расстояния между осушителями должны удовлетворять также требованиям в отношении того, чтобы обеспечить такие размеры карт, которые не стесняли бы механизацию с.-х. работ на осушенных болотах современными машинами.

На основании материалов Сектора осушения Украинского н.-и. института гидротехники и мелиорации, разработанных инж. Кубышкиным П. П., площадь карты при механизации с.-х. работ должна быть не меньше 7,5 га, а по данным акад. А. Н. Костякова—не меньше 10 га.

Допустимая длина осушителей согласно литературным данным должна быть около 1000 *м*. При отсутствии же достаточных уклонов болота по направлению осушителей, т. е. когда уклоны местности (i) меньше, чем нужный уклон дна канавы (I), то, как рекомендует акад. А. Н. Костяков, допустимая длина регулирующих канав должна быть не больше

$$l \leqslant \frac{h}{I - i},$$

где l—длина осушителя, h—искусственное падение дна осушителя равное $h = l(I - i)$, которое не должно допускаться больше 0,3—0,4 *м*.

Принимая

$$i = 0, \quad I = 0{,}0005 \text{ и } h = 0{,}30 \text{ м},$$

получим допустимую длину осушителя в 600 *м*.

Таким образом, допустимая длина осушителей заключается в пределах 600—1000 *м*.

Длина гона при механизации с.-х. работ на основании опытных данных (научно-исследовательский институт организации территории, сектор соцземледелия н.-и. института хлопка, проф. Кондрашов, проф. Поляков и др.) должна быть не меньше 600 *м*. Следовательно, допустимая длина осушителей в 600—1000 *м* является приемлемой также и в отношении допустимой длины гона при механизации с.-х. работ.

Учитывая, что расстояние между собирателями, т. е. длина карты, равно длине осушителя плюс половина расстояния между осушителями, на основании таблицы 14, получаем следующие площади карт при осушении под различные группы с.-х. культур.

Первая группа культур:

1. При безнапорном питании болота . . . 6,5—10,5 га
2. При грунтово-напорном питании болота 5,8— 9,4 га

Вторая группа культур:

1. При безнапорном питании болота . . . 5,1— 8,3 га
2. При грунтово-напорном питании болота 3,8— 6,2 га

Третья группа культур:

1. При безнапорном питании болота . . . 3,8— 6,2 га
2. При грунтово-напорном питании болота 3,1— 5,1 га.

Отсюда можно сделать вывод, что необходимая площадь карты может быть достигнута при расстоянии между осушителями не меньше 80 *м*.

При расстоянии между осушителями меньше 80 *м*, если площадь карты получается меньше 7,5—10 га, необходимо через один осушитель устраивать закрытые выпуски длиной 20—30 *м*, увеличив тем самым площадь карты в два раза, т. е. это позволит вести вспашку и обработку на двух картах одновременно.

Однако, эти мероприятия не разрешают полностью вопрос о создании больших карт, пригодных для беспрепятственной механизации с.-х. работ. Полностью можно разрешить этот вопрос только при осушении закрытым дренажем. Поэтому, где только представляется возможность, регулирующая сеть должна состоять из закрытых дрен.

6. Расстояние между дренами

Для изучения расстояний между дренами на Панфиловском и Буровском опытных полях был заложен кротовый дренаж при следующем расстоянии между дренами: на Панфиловском опорном пункте—20, 30, 40, 50, 60, 80 и 100 *м*; на Буровском опытном поле—20, 30 и 60 *м*. Глубина заложения дрен—0,8—1,0 *м*.

На опытных участках производились наблюдения за уровнями грунтовых вод, влажностью и аэрацией почвы.

Уровни грунтовых вод в зависимости от расстояния между дренами за весенний период по Панфиловскому опорному пункту за 1938 г. приведены в табл. 15, а за 1939 г. представлены графически на рис. 6.

Таблица 15

Даты наблюдения	Расстояние между дренами в *м*		
	20	30	60
1.IV	52	43	31
5.IV	51	43	31
10.IV	54	49	37
15.IV	59	52	39
21.IV	60	53	39
25.IV	58	52	33
30.IV	67	62	40
5.V	63	58	37
10.V	63	58	39
15.V	67	64	46

Учитывая необходимые сроки посева культур и норму осушения в весенний период, на основании таблицы 14 и графика 6 можно сказать, что поставленным выше требованиям удовлетворяет расстояние между дренами 30—40 метров.

Уровень грунтовых вод в 1939 г. к началу весенней обработки почвы (10.IV), средний за посевной период (10.IV—30.IV) и средний за вегетационный период (I.V—I.X) характеризует табл. 16.

Таблица 16

Даты и периоды наблюдения	Уровень грунтовых вод в *см* при расстоянии между дренами в *м*					
	20	30	40	50	60	80
Панфиловский опорный пункт. Начало весенней обработки почвы	60	43	37	24	43	28
Посевной период	62	48	45	42	52	31
Вегетационный период	111	84	101	91	102	85
Буровское опытное поле. Посевной период	43	32	—	—	43	—
Вегетационный период	92	89	—	—	91	—

Эта таблица показывает, что в 1939 г. необходимый уровень грунтовых вод, в среднем за посевной и вегетацион-

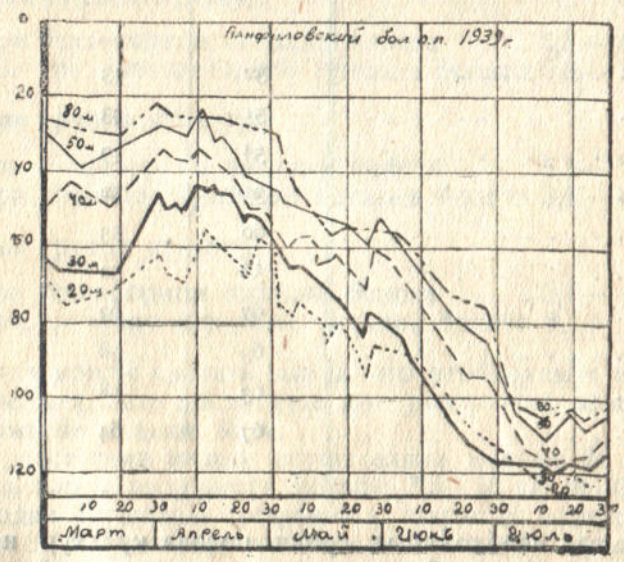

Рис. 6.
График уровней грунтовых вод при различном расстоянии между дренами.

ный периоды, был обеспечен при расстоянии между дренами до 60 *м* даже для технических культур, а к началу обработки почвы—только при расстоянии между дренами 30—40 *м*.

Данные же влажности и аэрации почвы показывают, что как в 1938 г., так и в 1939 г. необходимые условия по этим элементам были обеспечены при расстоянии между дренами до 40 *м* для технических культур и до 60 *м* для сеяных трав, что видно из табл. 17.

Таким образом, наибольшим расстоянием между дренами следует считать 60 *м*. Причем это является справедливым для таких довольно засушливых годов, как 1938 и 1939, и для условий Панфиловского опорного пункта, где открытая сеть каналов довольно густая. Расстояние между коллекторами здесь равно 200 *м*, а между собирателями—400 *м*.

Таблица 17

Название	Год	Расстояние между дренами					
		20	30	40	50	60	80
Панфиловский опорный пункт							
Средняя относительная влажность за вегетационный период . . .	1938	62	69	—	—	70	—
	1939	—	—	66	82	—	83
Аэрация в %	1939	—	—	30	—	—	—
Буровское опытное поле							
Средняя относительная влажность почвы за вегетационный период	1939	64	70	—	—	73	—
Аэрация в %	1939	33	27	—	—	24	—

Учитывая это, следует считать, что расстояние между дренами в обычных условиях должно быть не более 40 *м*. Принимая же во внимание и аэрационное действие дренажа, его можно проводить довольно густо—не менее, чем через 15—20 *м*.

Во всяком случае вопрос о расстоянии между кротовыми дренами в настоящее время уже не является столь важным с экономической точки зрения (по простоте и дешевизне устройства), как при открытых осушителях или других видах дренажа. Густой кротовый дренаж в значительной степени может послужить к уменьшению густоты открытых коллекторов.

На основании наших предварительных опытных данных, длину кротовых дрен можно допускать до 250 *м*. Даже на

безуклонных болотах, при глубине дрен в устье 1 *м* и в верховье не менее 0,60 *м*, т. е. при создании искусственных уклонов дрен не менее 0,002—0,003, длину дрен можно делать 200—225 *м*.

Таким образом при двухстороннем впуске дрен, расстояние между коллекторами будет около 400 *м*, а при одностороннем—250 *м*.

Расстояние же между собирателями, при их необходимости, диктуется допустимой длиной коллектора, которая обычно принимается 800—1000 *м*.

Исходя из этого и топографических условий местности, могут быть намечены схемы расположения осушительной сети для применения кротового дренажа.

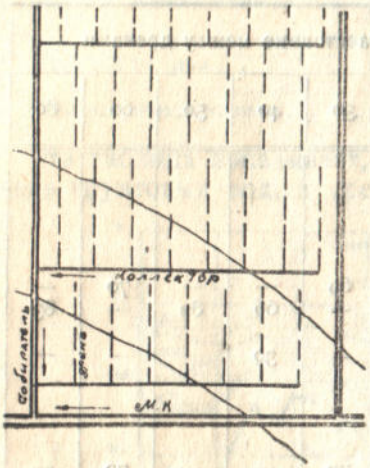

Рис. 7.

Таким образом между открытыми каналами получаются карты для обработки почвы от 20—25 га до 32—40 га, что является вполне приемлемым при механизации с.-х. работ современными с.-х. машинами.

На рис. 7 показана примерная схема расположения осушительной сети при применении кротового дренажа.

Эта схема является практически наиболее приемлемой. При таком расположении сети получается ряд отдельных карт между магистральным каналом и коренным берегом болота. Это позволяет производить вспашку, обработку почвы и посев весной целыми картами сразу, начиная с первой карты—от коренного берега и двигаясь к последней—возле канала, по мере того, как будет спадать вода и просыхать болото. С гидротехнической стороны такая схема также является приемлемой. В этом случае представляется возможность наиболее удобно подавать и распределять воду по осушительной сети при шлюзовании с целью орошения путем подпоров.

Последний момент имеет исключительно важное значение, так как при севооборотном использовании осушенных болот осушительные системы должны строиться с таким расчетом, чтобы они не только отводили излишнюю воду с осушаемой площади, а и подавали ее в нужные периоды как на отдельные участки, так и на всю обслуживаемую ими территорию.

Б. РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОСУШИТЕЛЯМИ НА ОСНОВАНИИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения формулы расстояния между осушителями (регулирующими канавами или дренами) необходимо вначале получить уравнения для определения:

1) депрессионной кривой поверхности грунтовых вод между двумя осушителями, 2) единичного и суммарного (за расчетный период времени) притока воды к осушителю, 3) количества воды в осушаемом слое грунта, подлежащей удалению при осушении.

1. Уравнение кривой депрессии грунтовых вод между осушителями

На основании наблюдений за уровнями грунтовых вод, как уже указывалось, нами построены и исследованы свыше 50 депрессионных кривых линий грунтовых вод при различном расстоянии между осушителями и для различных периодов наблюдения. При этом оказалось, что наблюденные кривые наиболее правильно располагаются по кривым эллипса.

Следовательно, депрессионную линию поверхности грунтовых вод между двумя осушителями можно принять за кривую, имеющую форму эллипса.

Для уровня грунтовых вод можно написать следующее уравнение, которое отвечает началу координат, расположенных посередине между осушителями:

$$\frac{x_1^2}{a^2}+\frac{y_1^2}{b^2}=1. \qquad (1)$$

Обозначения указаны на рис. 8.

При переносе начала координат из середины межканавного расстояния на урез воды в канаве, т. е. при $x_1=s-x$ и $y_1=y$, уравнение эллипса примет вид

$$\frac{(s-x)^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1. \qquad (2)$$

Это уравнение удовлетворяет следующим граничным условиям:

1) при $x=0$, $y=h_0$; 2) при $x=s$, $y=b=h$.

Используем эти условия для исключения параметров a и b.

При $x=0$ уравнение (2) принимает вид:

$$\frac{s^2}{a^2}+\frac{h_0^2}{b^2}=1. \tag{3}$$

Вычитая из выражения (2) выражение (3), получаем:

$$y^2=-\frac{b^2}{a^2}x^2+\frac{2sb^2}{a^2}x+h_0^2 \tag{4}$$

или

$$y^2=-Ax^2+Bx+h_0^2, \tag{5}$$

где

$$A=\frac{b^2}{a^2},\quad B=\frac{2sb^2}{a^2}.$$

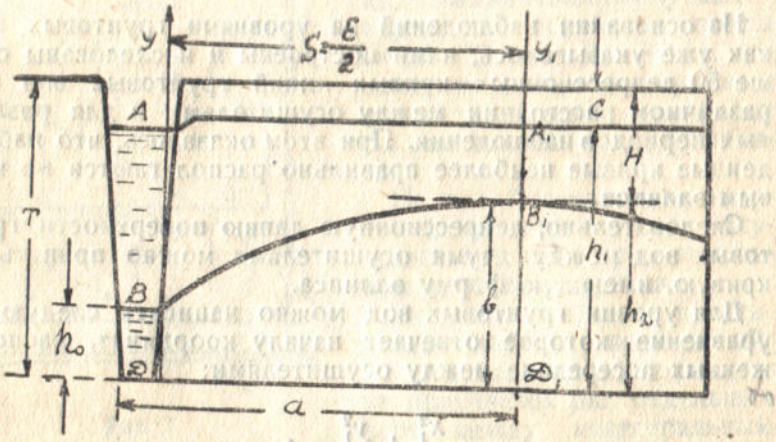

Рис. 8.

В уравнении (5) y—уровень грунтовых вод от дна осушителя на расстоянии x от него, A, B и h_0—параметры, которые можно определить по способу наименьших квадратов.

Имея данные водомерных наблюдений за уровнями грунтовых вод по ряду наблюдательных колодцев между осушителями, мы можем на основании этих материалов определить по способу наименьших квадратов значения A, B и h_0 и вычислить по уравнению (5) кривую уровня грунтовых вод между теми же осушителями.

Уравнение (5) нами проверено на массовом фактическом материале водомерных наблюдений за уровнями грунтовых вод при различном расстоянии между канавами на осушительных системах Буровского опытного поля, Сульского

опорного пункта, Козаровичской и Рудня-Радовельской опытных станций за период 1924—1928 г. г.; при этом оказалось: среднее квадратическое отклонение вычисленных от наблюденных уровней колеблется в пределах от 0 до 0,005 *м*, что в среднем не превышает 2—3%. Для иллюстрации приводим несколько наблюденных и вычисленных по уравнению (5) депрессионных кривых (см. табл. 18 и рис. 5).

В уравнении (5) h_0—высота выклинивания грунтовой воды в откосе канавы над ее дном; она может быть приравнена к известной нам глубине воды в канаве. Параметры A и B также можно заменить известными нам величинами.

Зная, что $b = h$, из уравнения (3) непосредственно получаем:

$$a^2 = \frac{s^2}{1 - \left(\frac{h_0}{h}\right)^2} = \frac{s^2 h^2}{h^2 - h_0^2}.$$

Тогда параметры A и B будут:

$$A = \frac{h^2 - h_0^2}{s^2}, \qquad B = A2s = \frac{2(h^2 - h_0^2)}{s}. \tag{6}$$

Подставляя в уравнение (5) вместо A и B их значения из (6), получаем уравнение депрессионной кривой поверхности грунтовых вод между осушителями, выраженное через известные нам величины:

$$y^2 = -\frac{h^2 - h_0^2}{s^2} x^2 + \frac{2(h^2 - h_0^2)}{s} x + h_0^2. \tag{7}$$

При

$$x = 0, \qquad y = h_0;$$

при

$$x = s, \qquad y = h.$$

Расхождение вычисленных параметров уравнения (5) по способу наименьших квадратов и по уравнению (7) не превышает 2—3%.

Это уравнение депрессионной кривой, как показали результаты нашей проверки по данным массовых водомерных наблюдений, дает удовлетворительную точность, что видно из табл. 18.

2. Уравнение притока воды к осушителю

На основании вышеприведенных уравнений мы можем определить приток воды к осушителю с одной его стороны с единицы длины в единицу времени.

Таблица 18

Дата наблюдения	Напоры грунтовых вод в *см*	Сульский опорный пункт												
		Расстояние между осушителями в *м*												
		40				60				100				
		Расстояние от осушителя в *м*												
		3	5	10	20	3	5	10	20	3	5	10	20	50
1935 Осень	Наблюденные	—	—	—	—	19	22	24	29	40	44	49	52	60
	По уравн. (5)	—	—	—	—	21	21	22	30	41	43	47	53	60
1936 Май	Наблюденные	—	—	—	—	25	29	37	42	17	23	31	35	49
	По уравн. (5)	—	—	—	—	23	28	36	41	19	22	28	36	49
1937 20.V	Наблюденные	53	57	59	63	59	58	62	67	34	37	43	56	64
	По уравн. (5)	53	56	61	65	58	59	61	67	33	37	44	55	65
1937 Посевной период .	Наблюденные	47	47	49	53	44	50	57	61	34	38	43	59	65
	По уравн. (5)	47	48	49	56	45	50	55	61	33	35	46	57	65
	По уравн. (7)	44	45	50	53	47	49	54	61	33	41	47	56	65

		Бурвское опытное поле												
		30				60				100				
		2	5	17	—	2	5	15	30	2	5	25	50	—
1937 Посевной период	Наблюденные	47	48	49	—	96	99	106	109	119	108	117	119	—
	По уравн. (5)	47	48	49	—	92	95	105	116	120	109	117	119	—
	По уравн. (7)	46	42	49	—	89	91	103	109	114	99	113	119	—

		Р.-Радовельская опытная станция							
		170				64			
		14	35	86	1	1,5	2,5	5	22
Посевной период 1925, 1926, 1927, 1928, 1931	Наблюденные	30	43	50	14	16	16	20	22
	По уравн. (5)	32	45	49	14	15	16	19	22

Возьмем какое-либо сечение y на расстоянии x от осушителя, шириной вдоль него равной единице и определим в этом сечении скорость фильтрации воды.

По закону Дарси, как известно, скорость течения равна:

$$v = k\frac{dy}{dx} = ki, \tag{8}$$

где: v—скорость фильтрации,

$\frac{dy}{dx}$—градиент фильтрации, который мы можем определить из уравнения (7).

Диференцируя уравнение (7), получаем:

$$2ydy = -\frac{2(h^2 - h_0^2)}{s^2}xdx + \frac{2(h^2 - h_0^2)}{s}dx,$$

откуда

$$\frac{dy}{dx} = i = -\frac{(h^2 - h_0^2)}{s^2 y}x + \frac{h^2 - h_0^2}{sy}. \tag{9}$$

При

$$x = s, \quad y = h, \quad i = 0;$$

при

$$x = 0, \quad y = h_0, \quad i = \frac{h^2 - h_0^2}{sh_0}.$$

Расход q в том же сечении y будет равен:

$$q = vw = kiy, \tag{10}$$

где $w = y \cdot 1$—площадь фильтрации.

Подставляя в выражение (10) вместо i его значение из выражения (9), получаем уравнение для расхода:

$$q = -\frac{k(h^2 - h_0^2)}{s^2}x + \frac{k(h^2 - h_0^2)}{s}. \tag{11}$$

Это уравнение отвечает следующим граничным условиям:

$$\text{при} \quad x = s, \; q = 0,$$
$$\text{при} \quad x = 0, \; q = \frac{k(h^2 - h_0^2)}{s}. \tag{12}$$

Уравнение (12) выражает собой односторонний приток воды к осушителю в случае, когда дно его расположено на водонепроницаемом основании.

Когда дно осушителя не доходит до водонепроницае-

мого основания, то приток воды будет происходить и через дно канавы. Если предположить, что градиент выхода воды через дно канавы будет таким же, как и через стенки, то приближенно можно написать такое уравнение для определения притока воды в канаву с одной ее стороны:

$$q = v\left(h_0 + \frac{b}{2}\right) = \frac{k\left(h^2 - h_0^2\right)\left(h_0 + \frac{b}{2}\right)}{sh_0}, \qquad (13)$$

где b—ширина осушителя по дну.

Это выражение можно написать в таком виде:

$$q = \frac{k\left(h^2 - h_0^2\right)}{s} + \frac{k\left(h^2 - h_0^2\right)\frac{b}{2}}{sh_0}. \qquad (14)$$

Первый член этого уравнения представляет собой приток воды к осушителю, когда дно его расположено на водоупоре. Второй член выражает дополнительный приток снизу, когда дно осушителя не доходит до водоупора.

Когда водонепроницаемое основание залегает глубоко от дна осушителя, то приток снизу будет больше по сравнению с близким залеганием водоупора. Это дополнительное увеличение притока через дно в зависимости от глубины залегания водонепроницаемого основания можно выразить коэфициентом B_1.

Тогда уравнение (14) будет иметь вид:

$$q = \frac{k\left(h^2 - h_0^2\right)}{s} + \frac{k\left(h^2 - h_0^2\right)\frac{b}{2}B_1}{sh_0}$$

или

$$q = \frac{k\left(h^2 - h_0^2\right)}{s}\left(1 + \frac{b}{2h_0}B_1\right). \qquad (15)$$

Второй множитель правой части уравнения характеризует собой поправку, учитывающую относительное увеличение притока воды к осушителю при водопроницаемом основании по сравнению с притоком при расположении дна осушителя на водоупоре при прочих равных условиях.

Относительное увеличение притока воды к дренам доц. В. С. Козлов[31] выражает следующим уравнением, выведенным на основании обработки ряда имеющихся мате-

риалов и опытных данных:

$$B = 1 + 5{,}5\sqrt{\frac{H_0 - T}{H_0} \cdot \frac{r}{T}}, \qquad (16)$$

где H_0—толщина водоносного слоя грунта,

T—глубина заложения дрен в водоносном слое грунта,

r—радиус дрены.

Для канав величину r мы можем выразить приближенно смоченным периметром через равновеликий радиус:

$$r \cong \frac{2h_0 + b}{2\pi}.$$

В выражении (16) член $\frac{H_0 - T}{H_0}$ учитывает заглубление дрены в водоносный слой; он изменяется от 0 до 1. Член $\frac{r}{T}$ учитывает изменение радиуса дрены; он остается всегда больше 0, но меньше 1.

Таким образом, второй член в правой части уравнения (15) представляет собой ту же поправку, учитывающую дополнительный приток воды снизу при расположении дрен или канав в водоносном горизонте, что и правый член уравнения (16).

Следовательно, для канав можно написать:

$$\frac{b}{2h_0} B_1 = 2{,}2\sqrt{\frac{H_0 - T}{H_0} \cdot \frac{2h_0 + b}{T}},$$

отсюда получаем:

$$B_1 = \frac{4{,}4h_0}{b}\sqrt{\frac{H_0 - T}{H_0} \cdot \frac{2h_0 + b}{T}}. \qquad (17)$$

Подставляя в уравнение (15) значение B_1 из уравнения (17), получим:

$$q = \frac{k(h^2 - h_0^2)}{s} B, \qquad (18)$$

где

$$B = 1 + 2{,}2\sqrt{\frac{H_0 - T}{H_0} \cdot \frac{2h_0 + b}{T}}.$$

Если в выражении (18) h_0 пренебречь, тогда выражение для одностороннего притока воды к осушителю можно написать окончательно:

$$q = \frac{kBh^2}{s}. \qquad (19)$$

Теперь определим суммарный приток воды к осушителю за расчетный период времени при понижении уровня грунтовых вод от h_1 до h_2.

В уравнении (19) h изменяется от h_1 в начале расчетного периода t_p до h_2 в конце этого периода. Следовательно, h можно рассматривать как функцию времени t.

На основании водомерных наблюдений за уровнями грунтовых вод замечено, что в весенний период понижение уровня грунтовых вод посередине между осушителями происходит, в большинстве случаев, неравномерно: в начальный момент времени уровень грунтовых вод понижается более интенсивно, а потом постепенно затухает; иногда наблюдается прямолинейная закономерность снижения грунтовых вод с течением времени.

Для иллюстрации первого случая на рис. 9 и 10 приведены кривые зависимости понижения уровня грунтовых вод h и модуля дренажного стока A_0 от времени t в весенний период.

Принимая, что $h=f(t)$ изменяется по закону гиперболы или типа ее, мы можем эту функцию выразить зависимостью вида:

$$h=\frac{b}{t+a}. \tag{20}$$

Для определения параметров a и b через h подберем их таким образом, чтобы удовлетворить начальным условиям: при $t=0$ получить $h=h_1$, где h_1—начальная глубина стояния уровня грунтовых вод, а при $t=t_p$ получить $h=h_2$, где t_p—расчетный период времени, при котором $h=h_2$.

Очевидно: при $t=0$ из уравнения (20) получим:

$$h=h_1=\frac{b}{a},$$

при $t=t_p$ из уравнения (20) получим:

$$h=h_2=\frac{b}{t_p+a}.$$

Решая совместно эти уравнения, будем иметь:

$$a=\frac{h_2t_p}{h_1-h_2}, \qquad b=\frac{h_1h_2t_p}{h_1-h_2}. \tag{21}$$

Подставляя значения a и b в уравнение (20), определим $h=f(t)$ в таком виде:

$$h=\frac{h_1h_2t_p}{h_2t_p+(h_1-h_2)t}. \tag{22}$$

Совершенно очевидно, что полученное уравнение $h=f(t)$ удовлетворяет поставленным выше условиям. Задаваясь $0 \leqslant t \leqslant t_p$ можно определить $h_2 \leqslant h \leqslant h_1$.

Теперь мы можем определить расход воды как функцию времени и расстояния между осушителями по заданному расчетному периоду времени t_p, за который уровень грунтовых вод h понизится с глубины h_1 до глубины h_2.

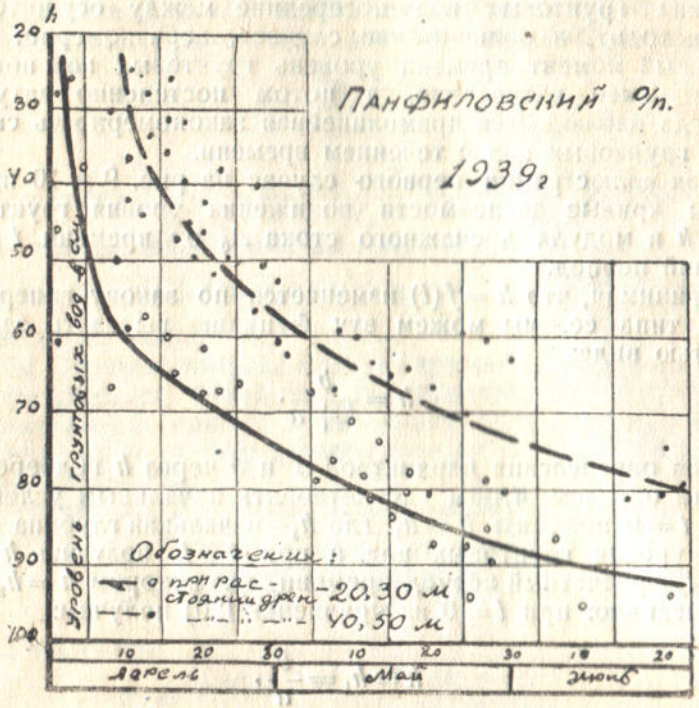

Рис. 9.

Подставляя в выражение (19) вместо h его значение из выражения (22), получим уравнение для определения расхода воды во времени:

$$q=\frac{kB}{s}\left[\frac{h_1h_2t_p}{h_2t_p+(h_1-h_2)\,t}\right]^2, \tag{23}$$

где $0 \leqslant t \leqslant t_p$.

За период времени dt для притока воды мы можем написать выражение:

$$qdt=\frac{kB}{s}\left[\frac{A}{D+Ct}\right]^2dt=\frac{kBA^2}{s}\cdot\frac{dt}{(D+Ct)^2}, \tag{24}$$

где $A=h_1h_2t_p$, $D=h_2t_p$, $C=h_1-h_2$.

Интегрируя это выражение в пределах от 0 до t_p, получим выражение для определения суммарного притока воды к осушителю за расчетный период t_p:

$$\omega = \frac{kBA^2}{s} \int_0^{t_p} \frac{dt}{(D+Ct)^2} = \frac{kBA^2}{s} \cdot \frac{t_p}{D(D+Ct_p)}. \qquad (25)$$

Заменяя A, D и C их значениями, получим:

$$\omega = \frac{kB}{s} \cdot \frac{h_1^2 h^2 t_p^3}{h_2 t_p [h_2 t_p + (h_1 - h_2) t_p]} = \frac{kB}{s} h_1 h_2 t_p. \qquad (26)$$

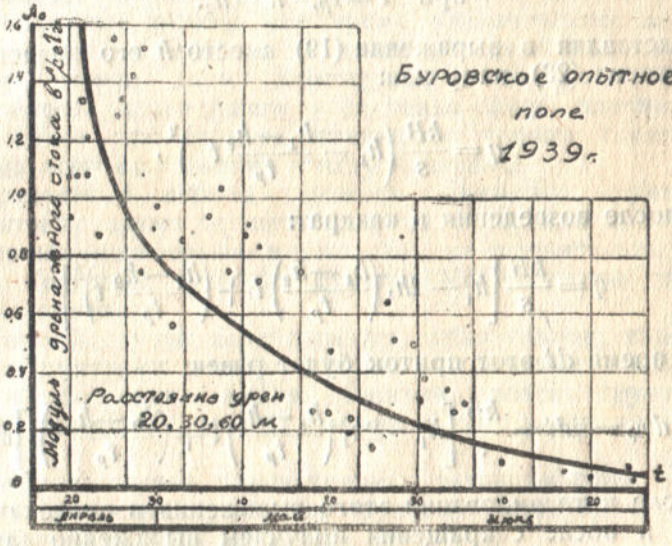

Рис. 10.

При условии, если $h = f(t)$ представляет линейную зависимость, можно написать:

$$h = b + at. \qquad (27)$$

При

$$t = 0, \quad h = h_1;$$

отсюда

$$b = h_1;$$

при

$$t = t_p, \quad h = h_2;$$

тогда

$$h_2 = at_p + h_1.$$

Отсюда находим:

$$a = \frac{h_2 - h_1}{t_p} = -\frac{h_1 - h_2}{t_p}.$$

Подставляя в уравнение (27) вместо a и b их значения, получим:

$$h = h_1 - \frac{h_1 - h_2}{t_p} t. \qquad (28)$$

Здесь $0 < t < t_p$, t_p — расчетный период.

Это выражение удовлетворяет граничным условиям:

$$\text{при} \quad t = 0, \quad h = h_1;$$
$$\text{при} \quad t = t_p, \quad h = h_2.$$

Подставляя в выражение (19) вместо h его значение из выражения (28), получаем:

$$q = \frac{kB}{s}\left(h_1 - \frac{h_1 - h_2}{t_p} t\right)^2,$$

или после возведения в квадрат:

$$q = \frac{kB}{s}\left[h_1^2 - 2h_1\left(\frac{h_1 - h_2}{t_p}\right)t + \left(\frac{h_1 - h_2}{t_p} t\right)^2\right].$$

За время dt этот приток будет равен:

$$d\omega_\beta = q\,dt = \frac{kB}{s}\left[h_1^2 - 2h_1\left(\frac{h_1 - h_2}{t_p}\right)t + \left(\frac{h_1 - h_2}{t_p} t\right)^2\right]dt.$$

После интегрирования этого выражения в пределах от 0 до t_p и после сокращения получаем выражение для суммарного притока воды к осушителю за время t_p.

$$\omega_\beta = \frac{kB}{s}\left[h_1 h_2 + \frac{(h_1 - h_2)^2}{3}\right]t_p. \qquad (29)$$

3. Уравнение количества свободной воды в осушаемом слое грунта

Количество воды, которое должно быть удалено из пор осушаемого слоя грунта, можно определить следующим образом. Допустим, что в начале расчетного периода t_p уровень грунтовой воды залегает на глубине C от поверхности. Обычно начало расчетного периода относится к весеннему промежутку времени, когда уровень грунтовой воды и уровень воды в канавах стоит почти на самой по-

верхности земли. Канавы в этот период переполнены весенними водами и отводят почти исключительно поверхностную воду, а поэтому влияния на понижение грунтовых вод они почти не оказывают.

Вследствие этого линию поверхности грунтовой воды между осушителями в начале расчетного периода t_p можно принять горизонтальной, что подтверждают многолетние данные водомерных наблюдений за грунтовыми водами на осушительных системах болотных опытных пунктов.

По мере того как сходит поверхностная вода, уровень воды в канавах понижается, а одновременно понижается и уровень грунтовой воды. При этом в некоторый промежуток времени уровень грунтовой воды понижается только возле самой канавы, а далее, при отсутствии инфильтрации, сфера влияния канавы все время увеличивается до тех пор, пока такое влияние не достигнет своего предела на середине между двумя действующими канавами. После этого, вместо дальнейшего увеличения сферы влияния канавы, будет происходить понижение уровня грунтовой воды на всем протяжении между канавами.

За расчетный период характер понижения грунтовой воды между двумя осушителями, на основании многолетних данных водомерных наблюдений на осушительных системах болотных опытных пунктов УССР, можно свести к трем случаям:

1) Первый случай характеризует параллельное снижение уровня грунтовых вод, т. е. такое, когда возле самой канавы и посередине между канавами уровень грунтовой воды за расчетный период снижается на одинаковую глубину.

2) Второй случай характеризует такое явление, когда возле самой канавы снижение грунтовой воды происходит быстрее, чем посередине между канавами.

3) Третий случай характеризует явление, противоположное второму случаю.

Как показывают те же данные водомерных наблюдений, эти три случая за расчетный период переплетаются, и ни один из них не имеет установившегося положения. При этом во всех трех случаях линия поверхности грунтовой воды представляет собой форму эллипса.

Для иллюстрации характера понижения грунтовых вод между осушителями на различном удалении от них, а также понижения горизонтов воды в осушителях приводим табл. 19 и 20.

На основании вышеизложенного, при решении плоской задачи объем осушаемого слоя грунта $\omega_1 - \omega_2$ на единицу длины осушителя можно определить, согласно рис. 8, как разность площадей AA_1D_1D и BB_1D_1D.

Таблица 19

Сульский опорный пункт

Интервалы времени	№№ колодцев и расстояние от осушителя										
	101 0	103 3	104 5	105 10	106 20	107 40	108 20	109 10	110 5	111 3	112 0
	Понижение уровня грунтовых вод в *см*										
	Отметка „0" водпоста										
	121508	122195	122123	122132	122043	121820	121820	121826	121846	121811	121191
20-IV—25-IV	+0,7	0,7	26	17	33	0,2	14	0,7	10	10	20
25-IV—30-IV	0,1	+0,1	+0,2	+0,3	+0,1	+0,1	0,1	0,1	00	+0,1	00
30-IV— 5-V	00	0,3	+0,3	+0,3	+24	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,5
5-V—10-V	+0,1	0,2	0,2	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	+12
10-V—15-V	0,2	0,3	0,7	0,7	+0,2	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	19
15-V—20-V	13	+0,3	+0,7	+14	+0,1	+0,5	+0,4	+0,3	+0,1	0,1	10
20-V—25-V	00	10	10	14	11	0,7	0,7	0,8	0,6	0,5	+0,1
25-V—30-V	0,1	92	0,4	0,3	0,7	0,4	0,5	0,4	0,3	0,2	00
30-V— 5-VI	+0,1	+0,6	+0,3	00	0,1	0,2	0,1	10	00	00	0,1
5-VI—10-VI	0,1	0,8	0,6	0,8	0,5	0,3	0,3	+0,7	0,4	0,1	00
20-IV—10-VI	0,9	25	40	35	34	28	32	37	39	44	42

Таблица 20

Рудня-Радовельская опытная станция

Интервалы времени	№№ колодцев и расстояние от осушителя										
	168 0	8 1	9 2,5	10 5	11 10	12 32	13 10	14 5	15 2,5	16 1	167 св 0
	Понижение уровня грунтовых вод в *см*										
	Отметка „0" водпоста										
	18889	18886	18883	18884	18882	18884	18887	18888	18886	18890	18886
15-III—20-III	0,2	0,8	0,4	12	10	0,4	0,8	11	10	0,8	0,1
20-III— 1-IV	00	0,4	0,7	0,9	11	10	10	0,9	10	0,5	0,1
1-IV— 5-IV	00	0,1	0,2	0,3	0,2	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	00
5-IV—15-IV	00	+0,4	+0,7	+0,7	+0,7	+0,6	+0,6	+0,6	+0,5	+0,2	00
15-IV—20-IV	00	0,5	0,6	11	15	10	13	10	0,9	0,3	0,1
20-IV— 1-V	0,1	0,4	0,4	10	10	14	0,9	0,9	0 6	0,6	0,1
1-V—10-V	0,1	0,4	0,4	0,5	0,7	10	0,8	0,5	0,4	0,2	00
10-V—20-V	00	00	0,1	0,2	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,4
20-V—25-V	95	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,5	0,6	0,6	0,4
25-V—10-VI	0,2	0,2	0,3	00	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
10-VI—15-VI	0,5	0,5	0,2	0,3	0,4	0,6	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4
15-III—15-VI	16	34	36	53	63	53	57	55	45	37	18

На единицу длины осушителя объем слоя грунта AA_1D_1D равен:

$$\omega_1 = AA_1 \times D_1D = sh_1,$$

а объем воды, который может быть удален из пор этого слоя грунта, составляет:

$$\omega_{1\beta} = \beta sh_1, \tag{30}$$

где β—водоотдача.

Для определения объема ω_2 при решении плоской задачи необходимо определить площадь BB_1D_1D. Эту площадь можно определить, пользуясь уравнением (5).

$$y^2 = -Ax^2 + Bx + h_0^2,$$

для каковой цели необходимо произвести интегрирование

$$\omega_2 = \int y dx = \int \sqrt{(-Ax^2 + Bx + C)} \cdot dx =$$

$$= \frac{2Ax - B}{4A} \sqrt{-Ax^2 + Bx + C} +$$

$$+ \frac{B^2 + 4AC}{8A^{3/2}} \sin^{-1} \cdot \frac{2Ax - B}{\sqrt{B^2 + 4AC}} + C.$$

Подставляя x в пределах от 0 до s, получаем:

$$\omega_2 = \int_0^s y dx = \frac{2As - B}{4A} \sqrt{-As^2 + Bs + C} +$$

$$+ \frac{B^2 + 4AC}{8A^{3/2}} \sin^{-1} \cdot \frac{2As - B}{\sqrt{B^2 + 4AC}} +$$

$$+ \frac{B}{4A} \sqrt{C} + \frac{B^2 + 4AC}{8A^{3/2}} \sin^{-1} \cdot \frac{-B}{\sqrt{B^2 + 4AC}}.$$

Заменяя здесь A и B их значениями по (5), а $C = h_0^2$, получаем первые два члена равные нулю, и тогда:

$$\omega_2 = \frac{sh_0}{2} + \frac{1}{2} \frac{h_2^2 s}{\sqrt{h_2^2 - h_0^2}} \sin^{-1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h_0^2}{h_2^2 - h_0^2}}}.$$

Если пренебречь членом $\frac{h_0^2}{h_2^2 - h_0^2}$, как малой величиной

по сравнению с единицей под корнем, то получим

$$\sin^{-1} = \frac{\pi}{2}$$

и объем ω_2 будет равен:

$$\omega_2 = \frac{h_0 s}{2} + \frac{\pi s}{4} \frac{h_2^2}{(h_2^2 - h_0^2)^{1/2}},$$

или

$$\omega_2 = s\left(\frac{h_0}{2} + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{h_2^2}{\sqrt{h_2^2 - h_0^2}}\right).$$

Пренебрегая здесь h_0^2 как малой величиной под корнем, получаем окончательное выражение для объема:

$$\omega_2 = s\left(\frac{h_0}{2} + \frac{\pi h_2}{4}\right),$$

а объем воды, находящейся в порах грунта, будет равен:

$$\omega_{2\beta} = \beta s\left(\frac{h_0}{2} + \frac{\pi h_2}{4}\right).$$

Это выражение можно написать в таком виде:

$$\omega_{2\beta} = \beta s h_2 \alpha, \tag{31}$$

где $\alpha = \frac{1}{2}\left(\frac{h_0}{h_2} + \frac{\pi}{2}\right)$ представляет собой коэфициент, учитывающий кривизну поверхности уровня грунтовой воды при h_2. Этот коэфициент для расчетного периода колеблется в средних пределах 1,1—1,3 для открытых осушителей и 0,8—1 для дрен.

Считая, что за расчетный период количество выпавших осадков равно количеству воды, испарившейся из грунта, объем воды, который может быть удален из пор осушаемого слоя грунта при снижении грунтовых вод от h_1 до h_2, будет равен:

$$\omega_{1\beta} - \omega_{2\beta} = \beta s h_1 - \beta s h_2 \alpha = \beta s (h_1 - h_2 \alpha). \tag{32}$$

4. Вывод формулы расстояния между осушителями

Заданная норма осушения будет обеспечена сетью дрен или канав при таком условии: необходимо, чтобы количество воды, притекающее в некоторый промежуток вре-

мени к дренам или канавам, было равно количеству воды, которое должно быть удалено за тот же промежуток времени из пор осушаемого слоя грунта, при снижении грунтовой воды на глубину от первоначального уровня до заданного.

Получив выражения для суммарного притока воды к осушителю и количества воды, которое необходимо удалить из осушаемого слоя грунта, мы можем определить то расстояние между дренами или канавами, при котором произойдет снижение грунтовых вод от первоначального уровня h_1 в начале расчетного периода до заданного уровня h_2 в конце этого периода.

Следовательно, по условию суммарный приток воды к осушителю должен быть равен объему воды, подлежащей удалению из пор осушаемого слоя грунта, т. е. выражения (26) и (32) должны быть равны:

$$\frac{kB}{s} t_p h_1 h_2 = \beta s (h_1 - h_2 \alpha).$$

Решая это уравнение относительно s, получаем:

$$s = \sqrt{\frac{kBt_p h_1 h_2}{\beta (h_1 - h_2 \alpha)}}$$

или

$$E = 2\sqrt{\frac{kBt_p h_1 h_2}{\beta (h_1 - h_2 \alpha)}}. \qquad (33)$$

При условии, если снижение уровня грунтовых вод на протяжении времени t_p происходит по линейному закону, то должны быть равны выражения (29) и (32).

$$kBt_p \left[h_1 h_2 + \frac{(h_1 - h_2)^2}{3} \right] = \beta s (h_1 - h_2 \alpha).$$

Отсюда получаем:

$$s = \sqrt{\frac{kBt_p [h_1 h_2 + 0{,}33 (h_1 - h_2)^2]}{\beta (h_1 - h_2 \alpha)}}$$

или

$$E = 2\sqrt{\frac{kBt_p [h_1 h_2 + 0{,}33 (h_1 - h_2)^2]}{\beta (h_1 - h_2 \alpha)}}. \qquad (34)$$

Пренебрегая здесь членом $0{,}33 (h_1 - h_2)^2$, как практически малой величиной, мы получаем уравнение (33):

$$E = 2\sqrt{\frac{kBt_p h_1 h_2}{\beta (h_1 - h_2 \alpha)}}. \qquad (34')$$

Заменяя h_1 и h_2 через известные нам расчетные элементы согласно рис. 8, получаем окончательно следующую расчетную формулу расстояния между осушителями:

$$E = 2\sqrt{\frac{t_p kB(T-C)(T-H)}{\beta\left[(T-C)-(T-H)\alpha\right]}}. \qquad (35)$$

Выражение для расстояния между осушителями можно получить несколько иным путем.

Секундный приток воды к осушителю, выраженный уравнением (19), за время dt будет:

$$qdt = \frac{kBh^2}{s}\,dt. \qquad (36)$$

За это же время dt уровень грунтовой воды посередине между осушителями опустится на величину dh и количество воды, которое будет удалено из осушаемого слоя грунта, толщиною dh, составит:

$$d\omega_\beta = -\beta s\frac{\pi}{4}\,dh. \qquad (37)$$

По условию выражение (36) должно быть равно выражению (37):

$$\frac{kBh^2}{s}\,dt = -\beta s\frac{\pi}{4}\,dh;$$

отсюда:

$$dt = -\frac{\beta s^2\frac{\pi}{4}\,dh}{kBh^2}.$$

Интегрируя левую часть этого выражения в пределах от 0 до t_p, а правую часть в пределах от h_1 до h_2, будем иметь:

$$\int_0^{t_p} dt = -\int_{h_1}^{h_2}\frac{\beta s^2\frac{\pi}{4}}{kB}\cdot\frac{dh}{h^2} = \frac{\beta s^2\frac{\pi}{4}}{kB}\int_{h_2}^{h_1}\frac{dh}{h^2}.$$

Отсюда получаем время осушения:

$$t_p = -\frac{\beta s^2\frac{\pi}{4}}{kB}\left(\frac{1}{h_1}-\frac{1}{h_2}\right).$$

Откуда

$$s=\sqrt{\frac{t_p k B h_1 h_2}{0{,}79\,\beta\,(h_1-h_2)}}$$

или

$$E=2\sqrt{\frac{t_p k B (T-C)(T-H)}{0{,}79\,\beta\,(H-C)}}. \qquad (38)$$

Приведенные выше расчетные зависимости (35) и (38) связывают десять основных факторов, от которых зависит расстояние между осушителями.

Обозначения букв в приведенных формулах следующие:

$s=\frac{E}{2}$;

E — расстояние между осушителями в метрах;

t_p — расчетное время в секундах, за которое необходимо понизить грунтовые воды до заданной нормы осушения;

k — коэфициент фильтрации в *м/сек*;

$B=1+2{,}2\sqrt{\frac{H_0-T}{H_0}\cdot\frac{2h_0+b}{T}}$, для дрен $2h_0+b\simeq\pi h_0$;

b — ширина осушителя по дну в метрах;

h_0 — глубина воды в осушителе в конце расчетного периода в метрах;

H_0 — глубина до водоупора в метрах;

T — глубина осушителя в метрах;

C — уровень грунтовых вод в начале расчетного периода в метрах;

$h_1=T-C$;

$h_2=T-H$;

H — норма осушения в начале посевного периода (в конце расчетного периода) в метрах;

β — удельная водоотдача данного грунта;

$\alpha=\frac{1}{2}\left(\frac{h_0}{h_2}+\frac{\pi}{2}\right)$;

$\pi=3{,}14$.

5. Проверка формул по опытным данным

Полученные выше формулы проверены нами на основании опытных материалов по трем опытным участкам: Буровскому опытному полю, Панфиловскому опытному полю и Сульскому опорному пункту. На этих участках имеется опытная осушительная сеть при различном расстоянии между осушителями, где систематически производились наблюдения за уровнями грунтовых вод, а также хорошо изучены участки в отношении фильтрационных свойств торфа и водоотдачи. Кроме того, здесь хорошо изучен

вопрос о расстоянии между осушителями по опытным данным.

Проверку формул можно произвести двумя способами. Первый способ заключается в том, что по формуле вычисляется расстояние между дренами или канавами по средним значениям элементов, входящих в формулу, т. е. задаются нормой осушения и средними размерами канав или дрен; расчетный период времени t_p принимают средний для данной местности или данного участка; коэфициент фильтрации k, удельная водоотдача β, глубина до водоупора H_0 и первоначальный уровень воды C принимаются средние для всего участка.

Потом вычисленные расстояния по формуле сравниваются с опытными, полученными на данном участке. Если вычисленные по формуле расстояния между дренами или канавами вкладываются в пределах опытных, то формула считается удовлетворительной для практических целей.

По второму способу проверяется точность самой формулы. Он заключается в следующем: в формулу подставляются все значения ее компонентов натурные, т. е. все величины, полученные в натуре на существующей осушительной сети; имея натурные значения всех элементов формулы, мы должны получить в правой части уравнения известное нам расстояние между дренами или канавами, т. е. должно быть получено тождество.

Формула может считаться точной, если при такой проверке будут получены удовлетворительные результаты, причем проверка должна быть произведена на массовом опытном материале при многократном повторении опытов как во времени, так и в пространстве.

Для проверки формул по первому способу нами приняты размеры канав и дрен такие, как обычно принимаются в практике; первоначальный уровень грунтовых вод и величина расчетного периода приняты средние для данных участков по данным водомерных наблюдений; глубина до водоупора принята средняя для всего участка по данным зондировки; удельная водоотдача была определена по монолитам с ненарушенной структурой обычным методом, по объему вытекшей воды из монолита при насыщении его до полной влагоемкости; величина коэфициента фильтрации принята средняя из многочисленных определений, которые были произведены на данных участках.

Коэфициент фильтрации определялся полевым способом по поднятию уровня воды в скважине (способ Дизеренса) и вычислялся по формуле Эркина, которая имеет вид:

$$k = \frac{3{,}5r^2}{(D+H)} \operatorname{tg} \alpha,$$

где k — коэфициент фильтрации,

r — радиус скважины,

D — диаметр скважины,

H — глубина воды в скважине от дна,

$$\operatorname{tg}\alpha = \lg\frac{y_0}{y} : t,$$

t — время в секундах, в течение которого уровень воды в скважине поднимается с первоначального положения y_0 до следующего положения y, наступающего к концу времени t;

$\operatorname{tg}\alpha$ определяется графическим способом: на оси абсцисс откладывается время t для каждого измерения в отдельности, а на оси ординат значения $\lg\frac{y_0}{y}$.

Вычисленный коэфициент фильтрации по этой формуле оказался наиболее близким к действительному.

Расстояния между осушителями вычислены при заданной норме осушения 0,3—0,4 *м*, 0,4—0,5 *м*, 0,5—0,6 *м*, т. е. при тех нормах осушения, которые рекомендуются к началу весенних полевых работ для разных групп культур и которые обеспечиваются расстояниями между осушителями, полученными по опытным данным на этих участках. Принятые расчетные значения компонентов формул и результаты вычислений по ним приводим в табл. 21.

Таблица 21

Значение компонентов формулы	Сульский пункт. Открытые осушители	Буровское опытное поле. Открытые осушители
Глубина канав или дрен T *м*	1,0	1,0
Ширина канав по дну b или диаметр дрен *м*	0,30	0,30
Глубина до водоупора (H_0) *м*	2,5	2,5
Первоначальный уровень грунтовых вод (c) *м*	0,10	0,20
Расчетный период времени (t_p) *сек*	864000	864000
Коэфициент фильтрации (k) *м сек*	0,000019	0,00031
Удельная водоотдача (β)	0,7	0,0616
Вычисленное расстояние между канавами (E) по формуле (35):		
при $H = 0,3-0,4$ *м*	100	104
при $H = 0,4-0,5$ *м*	67	69
при $H = 0,5-0,6$ *м*	53	50
То же по формуле (38):		
при $H = 0,3-0,4$ *м*	91	93
при $H = 0,4-0,5$ *м*	66	61
при $H = 0,5-0,6$ *м*	53	46

Вычисленные расстояния между осушителями по формулам почти совпадают с расстояниями, полученными на этих участках по многолетним опытным данным (по урожаям с.-х. культур и по данным водомерных наблюдений), что видно из следующей таблицы.

Таблица 22

Группы культур	Норма осушения в *м*		Расстояние между осушителями в *м*					
			По опытным данным		По формулам (35) и (38)			
					Буровское о/п		Сульский о/п	
	Средняя за вегетационный период	В начале посевного периода	Буровское опытное поле	Сульский опорный пункт	(35)	(38)	(35)	(38)
I. Сеяные травы, овес на сено, лен	0,5—0,6	0,3—0,4	100	95	104	93	100	91
II. Зерновые, табак, махорка, капуста	0,6—0,8	0,4—0,5	75	70	70	61	67	66
III. Корнеплоды, клубнеплоды, конопля	0,8—1,0	0,5—0,6	55	50	50	46	53	53
Средние . .	—	—	77	72	75	67	73	70
Отклонение в % . . .	—	—	—	—	—2,6	—13	+1,4	—2,8

Таким образом, для практических целей формулы дают удовлетворительные результаты.

Для проверки формул по второму способу нами были определены на каждом опытном участке при различных расстояниях между осушителями фактические значения всех постоянных компонентов, входящих в формулу, т. е. T, b, H_0, k и β. Потом по данным водомерных наблюдений были вычислены значения h_1, h_2, h_0, C, H и t_p. Причем данные водомерных наблюдений были взяты главным образом за весенний период и с таким расчетом, чтобы получить различную величину времени t_p при различных значениях h_1, h_2, h_0, C и H. Таким образом, проверка формул была произведена в многократном повторении при различ-

Место определения	Фактическое E	Даты наблюдения	t_p сек.	Зна $T-C$ в	$T-H$
1	2	3	4	5	6
Панфиловское опытное поле; кротовый дренаж 1939 г.	20	30-IV—5-V	432000	0,60	0,41
	20	30-IV—15-V	1296000	0,60	0,33
	30	30-IV—1-V	864000	0,65	0,46
	30	30-IV—15-V	1296000	0,65	0,37
	40	20-IV—5-V	1296000	0,38	0,18
	40	20-IV—10-V	1728000	0,38	0,20
	50	10-IV—30-IV	1728000	0,54	0,32
	50	15-IV—30-IV	1296000	0,45	0,32
Буровское опытное поле; кротовый дренаж 1939 г.	20	19-IV—29-IV	864000	0,48	0,40
	20	15-IV—30-IV	1296000	0,46	0,27
	30	20-IV—30-IV	864000	0,41	0,32
	30	17-IV—2-V	1296000	0,43	0,19
Буровское опытное поле; открытые канавы 1939 г.	30	5-V—20-VI	3888000	0,97	0,13
	50	15-V—30-V	1296000	0,96	0,38
	60	15-V—25-V	864000	0,98	0,63
	80	5-V—20-V	1296000	0,97	0,70
	100	10-V—20-V	864000	0,96	0,80
Сульский опорный пункт; открытые канавы 1938 г.	80	30-IV—20-V	1728000	0,90	0,60
	100	30-IV—15-V	1296000	0,73	0,57
	100	30-IV—10-VI	3456000	0,73	0,43

Таблица 23

чение компонентов формулы								E по формуле	
H	C	h_0	T	b	H_0	k м/сек.	β	(35)	(38)
м е т р а х									
7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5,79	0,60	0,05	1,2	—	3,75	0,000012	0,068	22	28
0,87	0,60	0,05	1,2	—	3,75	0,000012	0,068	27	32
0,72	0,53	0,05	1,18	—	3,75	0,000012	0,68	32	32
0,81	0,53	0,05	1,18	—	3,75	0,000012	0,068	32	40
0,62	3,42	0,05	0,80	—	5,0	0,000015	0,068	36	42
0,60	0,42	0,05	0,80	—	5,0	0,000015	0,068	34	38
0,51	0,29	0,05	0,83	—	3,75	0,000016	0,068	44	54
0,51	0,38	0,05	0,83	—	3,75	0,007006	0,068	42	48
0,65	0,57	0,05	1,05	—	3,30	0,000036	0,062	21	32
0,78	0,59	0,05	1,05	—	3,20	0,000006	0,062	17	21
0,64	0,55	0,05	0,96	—	3,20	0,00001	0,062	30	42
0,77	0,53	0,05	0,96	—	3,20	0,00001	0,062	22	23
0,87	0,03	0,12	1,0	0,30	3,0	0,0000135	0,0616	36	38
0,62	0,04	0,22	1,0	0,30	3,0	0,0000142	0,0616	46	40
0,37	0,02	0,38	1,0	0,30	3,0	0,0000142	0,0616	70	72
0,30	0,03	0,21	1,0	0,30	2,80	0,0000116	0,0616	86	88
0,20	0,04	0,41	1,0	0,30	2,80	0,0000116	0,0616	104	110
0,35	0,05	0,32	0,95	0,30	3,0	0,000019	0,139	72	78
0,26	0,10	0,45	0,83	0,30	1,50	0,000033	0,139	106	104
0,40	0,10	0,30	0,83	0,30	1,50	0,000033	0,139	105	105

ных значениях h_1, h_2, h_0, C, H и t_p для разных расстояний между дренами и канавами.

Результаты массовой проверки показали, что вычисленные по формулам расстояния между дренами или канавами и фактические редко совпадают точно.

В табл. 23 приведены для иллюстрации результаты проверки формул в двухкратном повторении, являющиеся типичными для всего материала, по которому произведена проверка.

Как видно из этой таблицы, полученные по формулам значения расстояний между дренами и канавами близки к фактическим, в отдельных случаях расходимость довольно значительна.

Средние отклонения вычисленных от фактических расстояний между дренами и канавами приводим в табл. 24.

Таблица 24

Место определения	Фактическое расстояние в м	Расстояние, вычисленное по формулам		Отклонение в метрах ~~%~~	
		(35)	(38)	(35)	(38)
Панфиловский опорный пункт Дренаж	20	24	30	+ 4	+10
	30	32	36	+ 2	+ 6
	40	35	40	— 5	0
	50	43	51	— 7	+ 1
Буровское опытное поле Дренаж	20	19	26	— 1	+ 6
	30	26	32	— 4	+ 2
Буровское опытное поле Открытые канавы	30	36	38	+ 6	+ 8
	50	46	40	— 4	—10
	60	70	72	+10	+12
	80	86	88	+ 6	+ 8
Сульский опорный пункт Открытые канавы	100	104	110	+ 4	+10
	80	72	78	— 8	— 2
	100	105	105	+ 5	+ 5
Среднее отклонение в процентах				+ 6,0	+13,7

Данные этой таблицы показывают, что формула (38) во всех случаях дала завышенные результаты, среднее отклонение составляет +13,7%. Формула (35) дала в 50 случаях на 100 завышенные и в 50 случаях заниженные результаты, а среднее отклонение составляет +6%. Причем по обеим формулам отклонение получено примерно в 50 случаях из 100 меньше 10 процентов. Отклонение получено по формуле (35) от 4 до 20%, а по формуле (38)— от 2,5 до 50%. Таким образом, формула (38) дает в общем итоге большие отклонения, чем формула (35). Следовательно формула (35) является более точной.

Следует отметить, что точное совпадение фактических и вычисленных по формулам расстояний между дренами или канавами практически достигнуто и не может быть, так как на результатах вычислений всегда сказываются случайные факторы и факторы, которые нельзя учесть, как, например, подпоры в осушительной сети, неточность замеров уровней грунтовых вод и уровней воды в осушительной сети и другие случайные явления. Кроме того, в сильной степени сказывается на результате вычисления расстояния по формуле неоднородность грунта, которая не может быть точно учтена коэфициентом фильтрации, неточность и несовершенство методики определения коэфициента фильтрации и водоотдачи.

Отсюда понятно, что абсолютной точности формулы добиться, вообще говоря, практически невозможно. Относительная же неточность этих формул очевидна.

Результаты проверки формул на основании опытных данных как по первому, так и по второму способу показывают, что формула (35) для практических целей является вполне приемлемой.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТЕПЕНИ ОСУШЕНИЯ ПО ОПЫТНЫМ ДАННЫМ

1. Норма осушения

Расчет осушительной сети при севооборотном использовании болот производится в настоящее время по гидромодулю, устанавливаемому на период предпосевной обработки почвы, а потому и норма осушения должна приниматься на этот же период.

Чтобы получить расчетную величину нормы осушения для целого ряда культур, нами применен следующий метод ее определения. На основании литературных данных все культуры соответственно требованию их к средней норме осушения были разбиты на отдельные группы. Потом из каждой группы было выделено по одной культуре, типичной для данной группы, и на основании опытных данных анализировался водный режим и влияние его на урожай и развитие этой культуры от начала посева до уборки.

На основании такого анализа установлена оптимальная глубина грунтовых вод на период предпосевной обработки и на отдельные периоды вегетации для данной культуры.

Ниже приводим таблицу, составленную нами на основании литературных данных, характеризующую требования различных культур к среднему уровню грунтовых вод за вегетацию.

На основании этой таблицы все представленные в ней культуры можно разбить на следующие три группы:

1) группа культур с нормой осушения от 0,40 до 0,60 *м*,
2) группа культур с нормой осушения от 0,60 до 0,80 *м*,
3) группа культур с нормой осушения от 0,80 до 1,0 *м*.

Из каждой группы выделяем по одной такой культуре, которая является типичной для данной группы в смысле требования к уровню грунтовых вод и по которой можно

Таблица 25

№№ по пор.	Название культур	Норма осушения в *см*	Место производства опытов
1	Сеяные и искусственные луга	50	Новгородская опытная станция, Минская опытная станция
2	Вико-овсяная смесь	50	Яхромский опорный пункт
3	Овес на сено	45	Хибиногорский опорный пункт
4	Лен	40—60	Яхрома, Михнево, Болхов
5	Репа	45	Хибиногорск
6	Земляника	56	Минск
7	Смородина	55—60	—
8	Овес	50—70	—
9	Ячмень	Больше овса	Новгородский, Архангельский опорные пункты
10	Озимая рожь	Не меньше 75	Новгородский опорный пункт
11	Подсолнух	Не меньше 70	Михнево
12	Табак, махорка	75—90	Болотный институт
13	Капуста белокачанная	60—90	Заболотье
14	Картофель	70—80	Михнево
15	Малина	70	—
16	Зерновые вообще	70—80	Болотный институт
17	Конопля	75—90	Минск
18	Овощи вообще	80—100	—
19	Томаты	90—100	—
20	Огурцы	90—100	Заболотье
21	Корнеплоды	80—100	Болотный институт
22	Лук	90	Мичиган
23	Свекла кормовая	Больше 70	Козаровичи
24	Свекла столовая	90—100	Минск
25	Свекла сахарная	97	Заболотье
26	Арбузы	90—100	БССР
27	Яблони, груши	100	—
28	Картофель	80—100	Болотный институт
29	Турнепс	80—100	„ „
30	Кормовая морковь	80—100	„ „
31	Брюква, кормовая свекла	80—100	„ „

определять норму осушения почти для всех возможных севооборотов на болотах.

Эти культуры следующие: для севооборота с первой группой культур—сеяные травы, для севооборота со второй группой культур—овес, для севооборота, включающего в себя культуры третьей группы,—конопля, сахарная свекла.

По этим культурам на протяжении ряда лет производились опыты по изучению нормы осушения на болотных опорных пунктах УССР. Опыты были заложены на участках с различной глубиной стояния уровня грунтовых вод, которая достигалась различной степенью осушения; повторность опытов была принята 3-х и 4-кратная; приемы агротехники в опыте были одинаковые.

На опытных делянках на протяжении всего вегетационного периода производились наблюдения за уровнями грунтовых вод, фенологические наблюдения по расширенной программе, а также определялись влажность и воздухоемкость почвы.

Все опытные материалы разработаны нами по Рудня-Радовельской опытной станции за 5 лет (1927—31), по Буровскому опытному полю и Сульскому опорному пункту за 4 года (1934—37), по Панфиловскому опорному пункту за 1 год (1937).

Методика обработки опытных материалов была принята следующая.

По каждой опытной делянке составлялись таблицы роста и урожая культур, а также вычислялись средние значения уровня грунтовых вод, влажности почвы и содержания воздуха в пахотном горизонте за фактический вегетационный период. По табличным данным вычислялся коэфициент корреляции и составлялись сводные графики, на которых по оси абсцисс откладывались номера делянок с различными нормами осушения, а на оси ординат в разных масштабах откладывались все данные опыта по этим делянкам.

Так как почвенные условия и агротехника на всех делянках одинаковые, то выделяющийся на графике пик урожая на одной из делянок по данной культуре считали показателем наиболее благоприятных условий водно-воздушного режима для данной культуры в данном опыте. Средние, за вегетационный период, показатели уровня грунтовых вод, влажности почвы и содержания воздуха в пахотном горизонте на делянке с наибольшим урожаем данной культуры принимались за норму. Эти нормы, а также соседние, большие и меньшие в сравнении с нормой, показатели уровня грунтовых вод, влажности почвы и содержания воздуха, расшифровывались на графиках, на кото-

рых на оси абсцисс откладывались даты, а по оси ординат все данные наблюдений—и по фактически наблюденным величинам изучалось влияние на рост и развитие культур элементов водно-воздушного режима. На основании такого анализа устанавливались продолжительность стояния уровней через 10 *см* в пятидневках и соотношение этих уровней в процентах за вегетационный период, а также отыскивались те уровни вод, которые были на данной делянке в период предпосевной обработки, и анализировались условия обработки почвы на этой делянке. Такой тщательный анализ материалов дал возможность установить норму осушения к периоду предпосевной обработки и за период вегетации.

Ниже приводим краткие результаты опытов по нормам осушения перечисленных 4 культур.

1) Норма осушения трав

Результаты опытов по сеяным травам на Буровском опытном поле приводим в табл. 26.

Таблица 26

Год производства опытов	1934			1935			1937		
Уровень грунтов. вод в *см* .	52	55	61	45	48	54	76	83	86
Урожай сена в цн. с 1 га .	22	17	14	79,3	83,8	85,6	18,0	15,0	16,5

На Рудня-Радовельской опытной станции зависимость урожая сеяных и естественных трав от уровня грунтовых вод показана на рис. 11.

Из приведенных данных видно, что средняя норма осушения трав лежит в пределах 50—60 *см*. Расшифровка этой средней величины, т. е. подробный анализ уровня грунтовых вод по фактическим наблюдениям за весь период вегетации, показал, что в начале посевного периода уровень грунтовых вод должен быть на глубине не менее 30 *см* посередине между осушителями или около 40 *см* в среднем для всего участка; продолжительность стояния уровней от 30 до 60 *см* посередине между осушителями должна быть около 50% всего периода вегетации.

2) *Норма осушения овса*

Результаты опытов по норме осушения овса представлены на рис. 12.

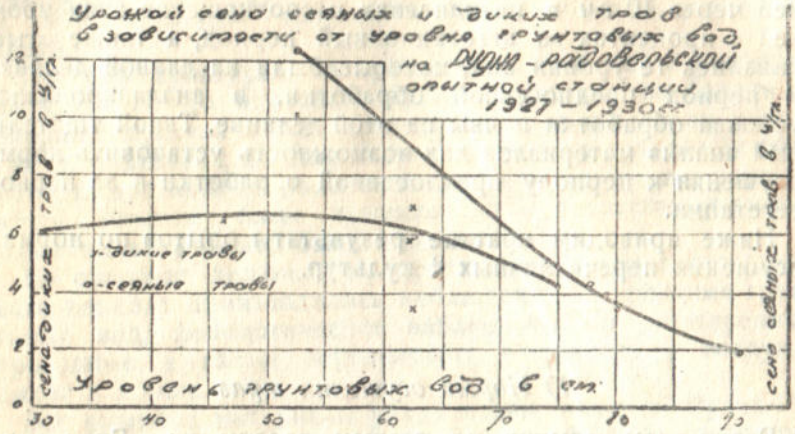

Рис. 11.

На основании этих данных и подробного анализа уровней грунтовых вод от начала предпосевной обработки до

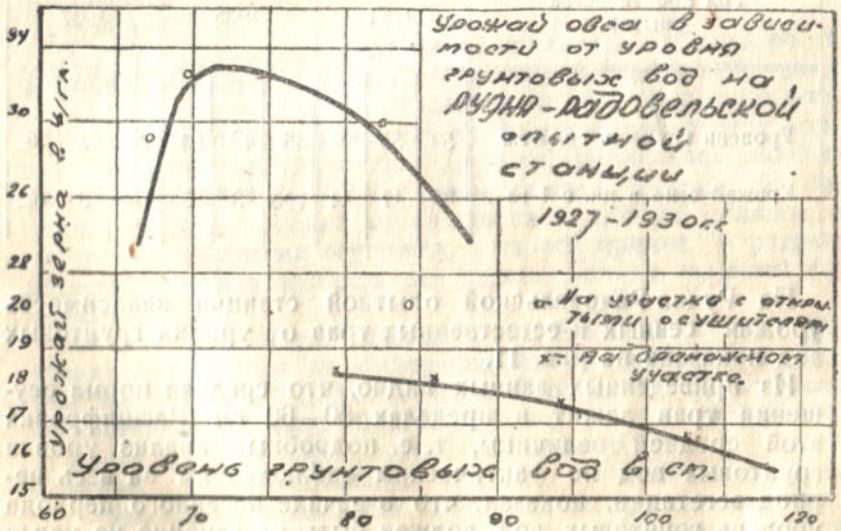

Рис. 12.

уборки и сопоставления их с данными фенологических наблюдений и урожаями можно сделать следующий вы-

вод. Средняя норма осушения овса лежит в пределах 75—80 *см*; в начале посевного периода уровень грунтовых вод должен быть на глубине около 40 *см* посередине между осушителями или около 50 *см* в среднем для всего участка; продолжительность стояния уровней в пределах 40—80 *см* должна составлять не менее 50% всего периода вегетации.

3) *Норма осушения конопли*

Результаты опытов по норме осушения конопли представлены по Буровскому опытному полю и Сульскому опорному пункту в табл. 27, а по Рудня-Радовельской опытной станции на рис. 13.

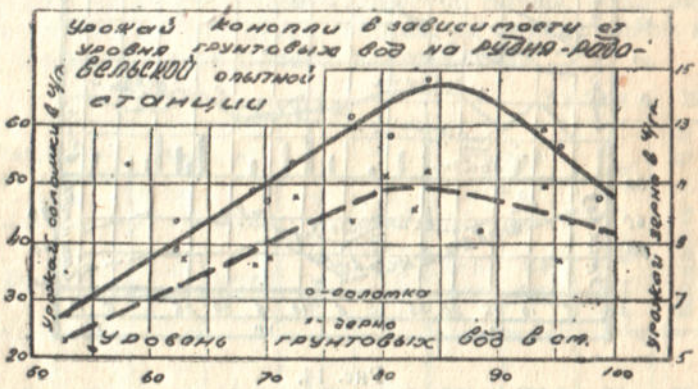

Рис. 13.

Таблица 27

Наименование опыта	Буровское опытное поле				Сульский опорный пункт		
Уровень грунтовых вод в *см*	86	83	76	75	50	45	46
Урожай соломки в цн. с 1 га	53,8	48,6	22,7	21,6	75,8	51,5	38,7
Высота конопли в *см*	95	100	70	60	168	127	106

Для иллюстрации на рис. 14 представлены все элементы водно-воздушного режима по датам наблюдений за вегетационный период, влияющие на рост культур.

Таблица и графики показывают, что норма осушения конопли должна быть в пределах 80—90 *см*. Подробный анализ материалов водомерных и фенологических наблюдений показал, что к началу посевного периода уровень грунтовых вод должен быть на глубине около 50 *см* по-

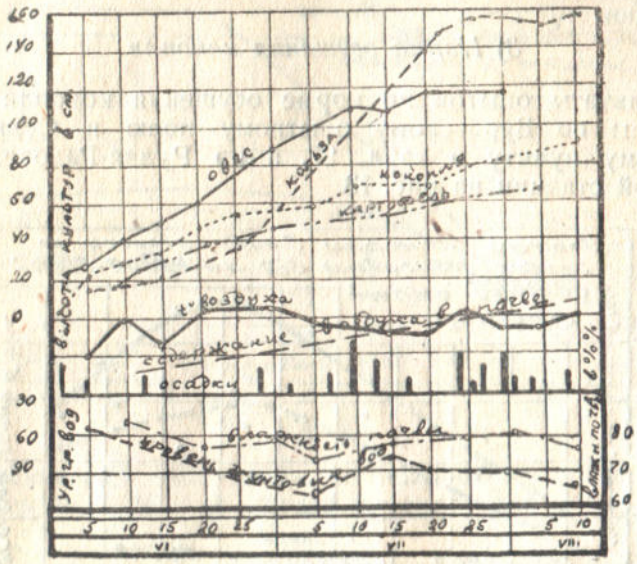

Рис. 14.

середине между осушителями или около 60 *см* в среднем для всей полосы; продолжительность стояния уровней в пределах от 60 до 100 *см* должна составлять не менее 50% всего периода вегетации.

4) *Норма осушения сахарной свеклы*

Опыты по изучению нормы осушения сахарной свеклы производились на Буровском опытном поле, Сульском и Панфиловском опорных пунктах.

Средний уровень грунтовых вод и урожай свеклы по Буровскому опытному полю и Сульскому опорному пункту приводим в табл. 28.

На Панфиловском опорном пункте опыты производились с сахарной свеклой в полевых условиях и в лизиметрах. Полевой опыт был заложен на делянках, расположенных на различном отдалении от канала в сторону неосушенного болота. В лизиметрах были заложены два опыта. В одной серии лизиметров была предусмотрена различная глубина стояния уровня грунтовых вод от поверхности,

Таблица 28

Наименование опытов	Буровское опытное поле				Сульский опорный пункт				
	1934				1935			1937	
Уровень грунтов. вод в *см*	71	72	75	77	42	49	54	50	45
Урожай корней в цн. с 1 га	277	275	270	280	251	203	321	282	219

а в другой серии—различная влажность почвы, поддерживавшаяся искусственно, путем полива, на определенной величине в процентах от полной влагоемкости.

Таблица 29

№№	Расстояние от канавы в *м*		Урожай в цн. с 1 га		% % сахара	Урожай сахара в цн. с 1 га	Урожай в %%		Уровень грунтовых вод в *см*	Влажность в %%
	От	До	Корней	Ботвы			Корней	Сахара		
1	5	15	454,3	464,7	16,77	76,19	100,0	100,0	94	37,7
2	15	25	441,0	414,0	17,00	74,97	97,2	98,4	89	50,4
3	25	35	438,3	402,0	16,51	72,36	96,5	94,9	82	51,5
4	35	45	429,3	323,7	15,33	65,31	94,6	86,4	82	54,5
5	45	55	427,3	324,7	12,85	54,95	94,1	72,1	81	60,2
6	55	65	395,0	336,7	14,06	55,54	87,0	72,9	78	68,3

Результаты полевых опытов в табл. 29 и на рис. 15, а результаты опытов приводим в лизиметрах — в табл. 30 и на рис. 16.

Рассматривая эти данные, видим, что в полевом опыте наибольший урожай получен на делянке, где средний уровень грунтовых вод стоял на глубине около 90 *см* при влажности почвы около 50—60% от полной влагоемкости. По опыту в лизиметрах наибольший урожай получен при глубине уровня грунтовых вод 98 *см*, т. е. близкой к глубине в предыдущем опыте.

Таблица 30

№№ сосудов	Уровни грунтовых вод (средние за вегетацион. период)	Урожай в цн. с 1 га		% сахара	Урожай сахара с 1 га
		Корней	Ботвы		
1	98	403	1029	12,91	52,03
2	118	362	888	13,17	47,68
3	138	298	676	16,50	46,19
4	158	201	596	15,24	30,63

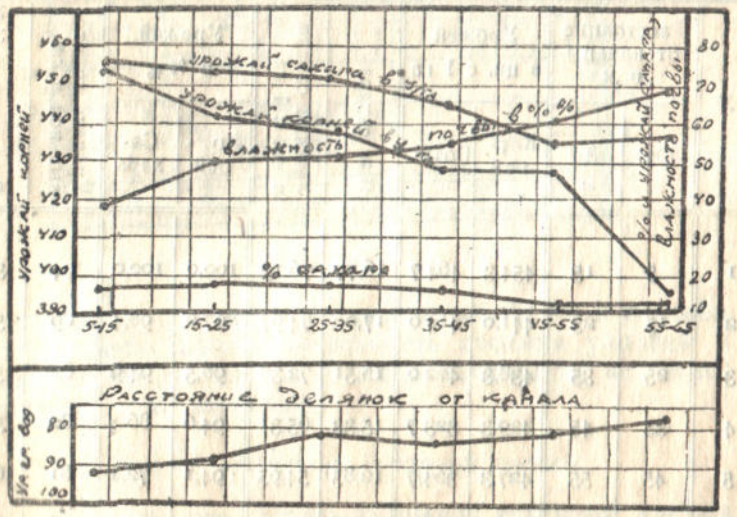

Рис. 15.

Как увеличение, так и уменьшение глубины уровня грунтовых вод против указанной повлекло снижение урожая.

Специальный, произведенный в лизиметрах, опыт по изучению влияния влажности почвы на урожай сахарной свеклы дополняет предыдущий полевой опыт в отношении зависимости урожая сахарной свеклы от влажности почвы. Данные по этому опыту приведены на рис. 17. Этот график подтверждает предыдущий вывод, что лучшим запасом влаги в почве для сахарной свеклы является 50—60% от полной влагоемкости.

В результате анализа режима грунтовых вод за вегетационный период на делянках, где получен наибольший урожай, установлено, что величина нормы осушения на

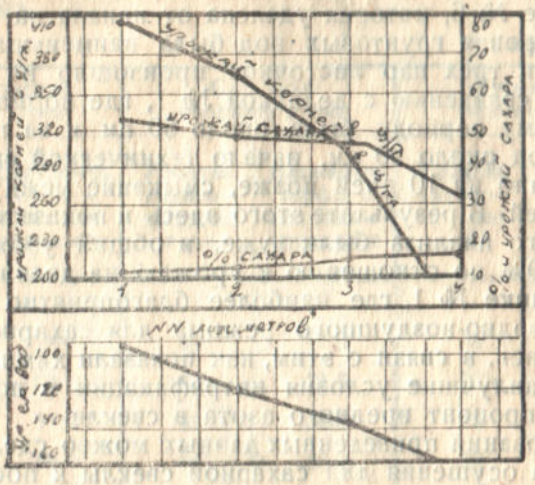

Рис. 16.

период предпосевной обработки должна быть около 50 *см*. На других делянках, где уровень грунтовых вод на посев-

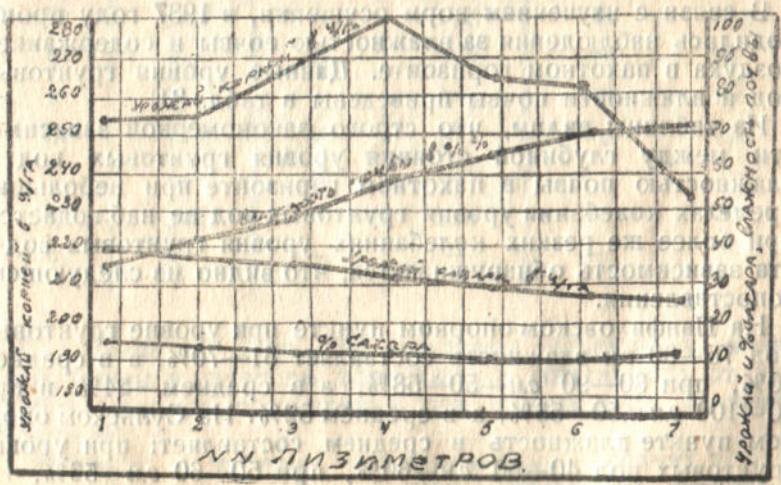

Рис. 17.

ной период стоял ближе к поверхности, там и на протяжении всего вегетационного периода он стоял выше, причем, чем дальше удалена делянка от канала, тем большей была разница в уровнях грунтовых вод и большей была отно-

сительная влажность почвы. Соответственно этому, и развитие сахарной свеклы на этих делянках шло хуже на протяжении всего вегетационного периода. Так, например, на делянке № 6, которая удалена от канала на 65 *м* и где глубина уровня грунтовых вод была наименьшая, появление двух и трех пар листочков произошло на 7—8 дней позже по сравнению с делянкой № 1, где норма осушения к посевному периоду была около 50 *см* и за вегетационный период около 90 *см*, начало технической спелости зафиксировано на 10 дней позже, смыкание междурядей—на 21—30 дней. В результате этого здесь и показатели морфологического анализа были хуже, и общий урожай свеклы ниже (72,9% по отношению к урожаю на делянке № 1).

На делянке № 1, где наиболее благоприятно сложились условия водно-воздушного режима для сахарной свеклы, наблюдались, в связи с этим, как показали химические анализы, и наилучшие условия нитрификации и получен наименьший процент вредного азота в свекле.

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что норма осушения для сахарной свеклы к посевному периоду должна быть около 50 *см*, а за вегетационный период—около 90 *см*, при влажности почвы около 50—60% от полной влагоемкости. Эти выводы полностью подтвердили выводы по опытам предыдущих лет.

В связи с изучением норм осушения, в 1937 году производились наблюдения за влажностью почвы и содержанием воздуха в пахотном горизонте. Данные уровня грунтовых вод и влажности почвы приведены в табл. 31.

Из таблицы видим, что строго закономерной зависимости между глубиной стояния уровня грунтовых вод и влажностью почвы в пахотном горизонте при небольших пределах колебания уровня грунтовых вод не наблюдается; при более же резких колебаниях уровня грунтовых вод—эта зависимость обнаруживается, что видно из следующего сопоставления.

На Панфиловском опорном пункте при уровне грунтовых вод 75—80 *см* влажность составляет 51—70%, а в среднем 60%, при 80—90 *см*—50—58%, а в среднем—54% и при 90—100 *см*—50—55%, а в среднем 52%. На Сульском опорном пункте влажность в среднем составляет: при уровне грунтовых вод 40—50 *см*—60%, при 50—60 *см*—56%. На Буровском опытном поле—соответственно: 60—70 *см*—85%, 90—100 *см*—79%.

В табл. 32 (стр. 84) приведены для сопоставления уровень грунтовых вод, влажность и аэрация.

Отсюда следует, что чем сильнее осушка, тем меньше влажность почвы и больше аэрация при прочих равных условиях. Однако, водно-воздушный режим в пахотном

слое почвы зависит не только от интенсивности осушения, а также и от уровня агротехники. Чем выше агротехника, тем более благоприятные создаются условия водно-воздушного режима.

Таблица 31

Панфиловский опорный пункт		Сульский опорный пункт		Буровское опытное поле	
Уровень грунтовых вод в *см*	Влажность торфа в пахотном горизонте	Уровень грунтовых вод в *см*	Влажность торфа в пахотном горизонте	Уровень грунтовых вод в *см*	Влажность торфа в пахотном горизонте
75	70,0	40	61,5	59	89,9
77	64,7	42	61,5	61	83,7
77	51,6	43	55,8	69	82,0
78	59,1	44	55,8	90	83,9
80	54,6	44	58,1	91	81,3
81	58,5	44	55,2	95	82,5
82	54,9	45	54,8	96	78,5
82	54,5	47	57,5	99	76,2
82	51,5	50	51,8	100	78,8
91	50,4	55	60,6	103	74,9
92	50,7	58	58,7	105	73,3
94	54,9	58	56,6	—	—
96	52,7	61	53,5	—	—
105	63	—	—	—	—

В таблице 33 (стр. 85) показаны аэрация и влажность почвы в пахотном горизонте в зависимости от различных приемов агротехники при одинаковых условиях осушения.

Как видим из таблицы, при одинаковых условиях осушения, но при различных приемах агротехники аэрация и влажность почвы также различны. Наибольший урожай сахарной свеклы получен при средней аэрации 26,1—28,6% по опыту с различными удобрениями и при 22,7% по опыту с глубиной пахоты, т. е. при наименьшей влажности и при наибольшей аэрации почвы в данных опытах. Здесь же была применена и наиболее высокая агротехника.

Таблица 32

Опытный пункт	Уровень грунтовых вод в *см*	Влажность в % %	Аэрация в % %	Дата	Примечание
Панфиловский	12	96,1	6,3	26.IV	Неосушенное болото
	37	85,2	12,7	20.X	
	60	87,4	10,7	26.IV	Распаханное болото, осушенное в 1936 г.
	80	56,0	31,5	20.IX	
Буровский	59	89,9	11,7		
	61	83,7	10,8	Среднее за вегетационный период	Осушенное болото
	85	79,1	12,6		
	95	75,8	15,3		
	96	78,5	17,3		
	100	78,8	22,9		
	103	74,9	28,4		
Сульский	42	67,5	8,6	То же	Слабо осушенное болото
	43	55,8	7,6		
	45	54,8	15,0		
	44	55,2	15,9		
	46	—	11,1		
	47	—	23,0		
	54	—	14,5		

Таблица 33

Наименование опытов	№№ делянок	Глубина пахоты в *см*	Влажность в %%	Аэрация в %%	Урожай в цн. с 1 га	% сахара
Влияние глубины пахоты . .	1	30	81,2	22,7	226	14,61
	2	25	81,4	17,1	213,4	13,90
	3	20	84,5	13,7	223,8	14,53
Влияние различн. удобрений .	1	25	75,6	25,2	186,0	12,64
	2	—	82,9	16,4	335,7	14,63
	3	—	75,0	26,1	522,8	16,29
	4	25	73,9	28,6	522,8	15,26
	5	—	72,5	27,0	500,0	15,08

Из приведенных данных следует, что улучшения водно-воздушного режима почвы необходимо добиваться не путем одного осушения, а обязательно и путем последующих агротехнических приемов. При одной и той же норме осушения возможны различные условия водно-воздушного режима почвы и различные урожаи в зависимости от агротехники. Поэтому приведенные выше нормы осушения необходимо рассматривать лишь как фон, на который должна накладываться высокая агротехника для дальнейшего улучшения условий водно-воздушного режима почвы и для получения высоких урожаев.

Приведенных данных за один год—недостаточно, чтобы установить наиболее благоприятную влажность и аэрацию почвы для различных культур. На основании этих данных можно сказать только приближенно, что для первой группы культур, при средней норме осушения 50—60 *см*, влажность почвы должна составить около 80%, а аэрация—около 15%; для второй группы культур, при средней норме осушения 60—80 *см*, влажность почвы должна составлять около 70%, а аэрация—около 20—25%; для третьей группы культур, при средней норме осушения 80—100 *см*, влажность почвы должна составлять около 60—70%, а аэрация—около 30%.

По данным Всесоюзного н.-и. института болотного хозяйства, наиболее благоприятные условия под луга на болотах БССР создаются при содержании воздуха в почве

18—25%, но не менее 10%. Для овса лучшая влажность—75% по зерну и 85% по соломе. Это свидетельствует о том, что одногодичные данные, полученные в условиях УССР, близки к данным, полученным в БССР при более продолжительных наблюдениях.

Выводы

1. Все с.-х. культуры, по отношению к средней норме осушения, можно разбить на три основных группы. К первой группе можно отнести культуры, требующие снижения грунтовых вод, в среднем за период вегетации, на глубину 0,40—0,60 *м*. Ко второй группе можно отнести культуры, требующие снижения грунтовых вод, в среднем за вегетационный период, на глубину 0,60—0,80 *м*. К третьей группе можно отнести культуры, требующие снижения грунтовых вод, в среднем за вегетационный период, на глубину 0,80—1,00 *м*.

2. Основными представителями каждой из этих трех групп культур являются следующие. Для первой группы: луговые травы, вико-овсяная смесь, лен. Для второй группы: зерновые, силосные, табак-махорка и некоторые огородные (капуста, морковь и др.). К третьей группе относятся: технические (конопля, корне-клубнеплоды) и большинство огородных.

3. Корреляционная зависимость между урожаем культур и уровнем грунтовых вод выражается высокой и весьма тесной степенью, например, для трав эта зависимость характеризуется величиной коэфициента корреляции—0,936; для овса—0,916; для конопли—около +0,70.

4. Величина нормы осушения для луговых трав должна быть следующая: в период предпосевной обработки почвы—не менее 0,30 *м*, посередине между канавами, или около 0,40 *м* в среднем для всей полосы междуканавья; средняя величина за вегетационный период должна быть около 0,50 *м*, посередине между канавами, или 0,60 *м* для всей полосы междуканавья; продолжительность стояния уровней от 0,30 до 0,60 *м* посередине между канавами должна быть не менее 50%.

5. Для овса величина нормы осушения должна быть: в период предпосевной обработки почвы—около 0,40 *м* посередине между канавами или около 0,50 *м* для всей полосы междуканавья; средняя за вегетационный период норма осушения должна быть 0,75—0,80 *м*; продолжительность стояния уровней в пределах 0,40—0,80 *м* должна быть не менее 50% периода вегетации.

6. Для конопли и сахарной свеклы величина нормы осушения должна быть: в период предпосевной обработки

почвы—около 0,50 *м* посередине между канавами или около 0,60 *м* для всей полосы междуканавья; средняя за период вегетации—0,80—0,90 *м*; продолжительность стояния уровней от 0,60 до 1,00 *м* должна быть не менее 50% всего вегетационного периода.

7. Так как эти культуры в смысле требования к норме осушения являются характерными для приведенных в п. 2—3 групп, то установленные нормы осушения можно распространить на все культуры этих групп. Таким образом, все наши выводы можно свести в следующую таблицу.

Таблица 34

Группа культур	Расчетная норма осушения в *м*	Средние значения за вегетац. период		
		Уровень грунтовых вод в *м*	Влажность пахотн. слоя в % от полной влагоемкости	Аэрация в %%
I	0,30—0,40	0,50 - 0,60	80	15
II	0,40—0,50	0,60—0,80	70	20—25
III	0,50—0,60	0,80—1,00	60	30

8. Так как в севообороте могут участвовать культуры первой и второй группы, второй и третьей или всех трех групп вместе, то при расчете осушительной сети необходимо принимать норму осушения наиболее требовательной группы культур. В этом случае для культур с меньшей нормой осушения необходимо, очевидно, применять шлюзование с целью регулирования уровня грунтовых вод на болоте.

2. Глубина осушителей

Как было указано вначале, глубина осушителей изучалась на Рудня-Радовельской болотной станции и на Сульском болотном опорном пункте.

Систематизированные по сезонам года материалы наблюдений над уровнем грунтовых вод по этим пунктам приводим в таблицах 35 и 36.

Таблица 35

Пункты	Сезоны	Уровень грунтовых вод в *см* при глубине канав (в *м*)						
		0,40	0,60	0,75	0,80	1,00	1,25	1,50
Рудня-Радовельская опытная станция	Весна	7	20	—	22	37	—	—
	Лето	33	52	—	49	57	—	—
	Осень	14	25	—	30	41	—	—
	Вегетацион. период . .	27	44	—	42	51	—	—
Сульский опорный пункт	Весна	—	—	22	—	17	28	26
	Лето	—	—	50	—	55	58	70
	Осень	—	—	25	—	36	33	36
	Вегетацион. период . .	—	—	44	—	49	52	60

Расстояние между канавами—везде 60 *м*.

Таблица 36

Пункты	Глубина канав в *м*	Уровень грунтовых вод в *см*				Даты перехода уровня после весен. максим. через 0,40 *м*
		Предпосевной	Посевной	Летний низкий	Летний высокий	
Рудня-Радовельск. опытная станция	0,40	19	16	55	25	20 VI
	0,60	34	33	56	39	1 VI
	0,80	36	36	70	43	1 VI
	1,00	56	51	70	44	10 III
Сульский опорный пункт	0,75	21	37	75	24	13 V
	1,00	19	28	73	33	24 V
	1,25	24	42	83	36	9 V
	1,50	19	27	107	21	6 V

Рассматривая эти таблицы, видим, что мелкие канавы в условиях интенсивного использования осушенных болот не обеспечивают снижения уровня грунтовых вод на необ-

ходимую глубину, а также, что при интенсивном осушении глубина регулирующих канав должна быть не менее 0,80—1,0 *м*.

На рис. 18 изображены линиями колебания уровней грунтовых вод при различной глубине канав, а на рис. 19— продолжительность стояния уровней грунтовых вод через 10 *см* в пятидневках за вегетационный период.

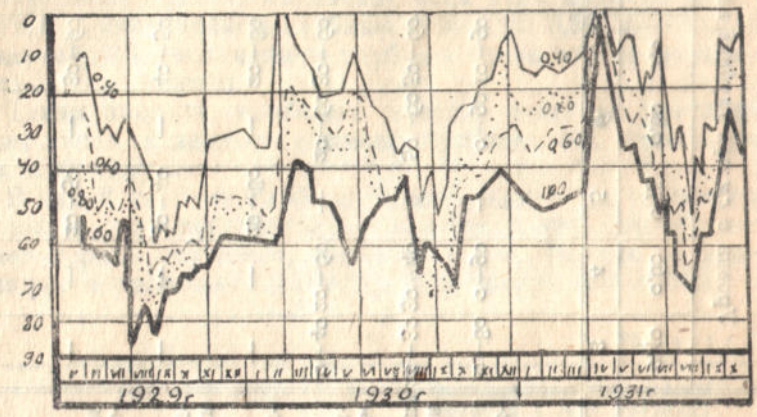

Рис. 18.

Колебание уровня грунтовых вод на болоте, осушенном различной глубиной осушителей на Рудня-Радовельской опытной станции.

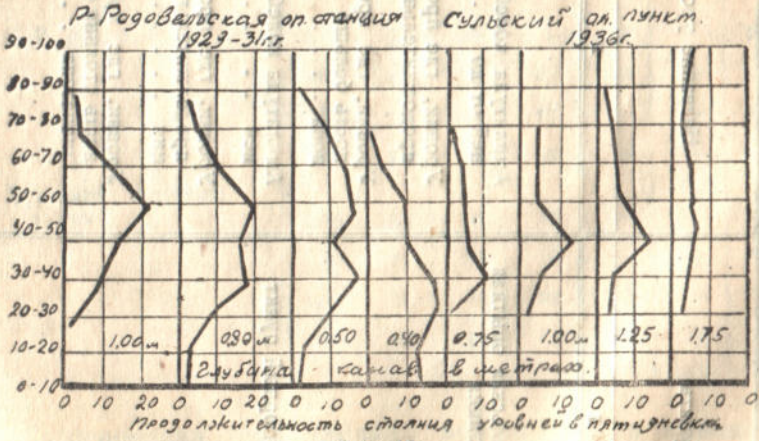

Рис. 19.

Продолжительность стояния уровней грунтовых вод за вегетационный период.

Приведенные графики наглядно изображают режим грунтовых вод на участках, осушенных канавами различной

Таблица 37

Пункты	Название уровней	Уровни в *см* при глубине канав в метрах						
		0,40	0,60	0,75	0,80	1,0	1,25	1,50
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Рудня-Радовельская опытная станция	Амплитуда колебания уровней от до	0—80	0—90	—	0—90	10—90	—	—
	Уровни, где проходят пики продолжительности стояния	20—30	30—40	—	50—60	50—60	—	—
	Уровни, где продолжительность больше 50% диапазона	0—40	20—60	—	20—60	30—60	—	—
Сульский опорный пункт	Амплитуда колебания уровней	—	—	20—80	—	20—80	20—90	20—110
	Уровни, где проходят пики продолжительности стояния	—	—	30—40	—	40—50	40—50	40—50
	Уровни, где продолжительность стояния больше 50% диапазона	—	—	20—50	—	30—60	30—60	30—70

глубины. Дополнительную характеристику этих графиков дает таблица 37 (стр. 90).

Рассматривая таблицу 37 и графики, можно констатировать, что с увеличением глубины канав: 1) переходит к более низким уровням амплитуда их колебания; 2) пики продолжительности проходят по более низким уровням; 3) к более низким уровням переходит средняя линия продолжительности; 4) изменение всех этих величин идет заметно с увеличением глубины канав до 0,80 *м*—1,0 *м*, а с дальнейшим увеличением глубины канав эти величины почти не изменяются.

Таким образом, наиболее сильное действие регулирующих канав в данных условиях проявлялось при глубине их 0,80—1,0 *м*.

В какой степени глубина канав влияет на режим грунтовых вод за вегетационный период и как она обеспечивает нормы осушения, видно из табл. 38, где приведены данные о продолжительности стояния уровней в %:

Таблица 38

Пункт	Глубина канав в *м*	Продолжительность стояния уровней в % в пределах:					
		До 40 *см*	40—60	60—80	80—100	> 100	Всего
Р.-Р. оп. ст.	0,40	73	23	4	0	—	100
	0,60	40	33	25	2	—	100
	0,80	39	44	17	0	—	100
	1,00	14	49	31	6	—	100
Сульский опорный пункт	0,75	53	32	15	—	—	100
	1,00	21	60	18	—	—	100
	1,25	14	63	22	1	—	100
	1,50	23	34	17	17	9	100

На основании этой таблицы можно сделать вывод, что при глубине осушителей от 0,40 до 0,80 *м* и при расстоянии между ними 60 *м* норма осушения за вегетационный период была обеспечена только для первой группы культур, а при глубине от 0,80 до 1,50 *м* норма осушения была обеспечена и для более интенсивных культур.

Принимая это во внимание, а также учитывая посевную

норму осушения и остальные данные таблиц, можно сделать следующие выводы:

1. Глубина регулирующих канав при интенсивном использовании осушенных болот должна быть не менее 0,80 *м*.

2. Глубина канав меньше 0,80 *м* может быть допущена только при использовании осушенных болот под естественные сенокосы, а глубина 0,60 *м* вообще является нецелесообразной.

Зависимость между глубиной канав и расстоянием между ними, а также между последними и нормой осушения, как известно уже из предыдущего, выражается уравнением:

$$T = H + \sqrt{a\frac{E}{2} - b\left(\frac{E}{2}\right)^2 + h_0^2}$$

Приняв к посевному периоду норму осушения, соответствующую группам культур, а также значения a, b и h_0^2 из таблицы 10, получим по этому уравнению следующую глубину канав:

Таблица 39

Пункты	Глубина канав в *м* при норме осушения к посевному периоду			Примечание
	0,30	0,40	0,50	
Р.-Радовельская опытная станция	0,75	0,85	0,95	Болото безнапорного питания
Буровское опытное поле .	0,75	0,85	0,95	
Сульский опорный пункт	0,80	0,90	1,00	Болото напорного питания
Козаровичская опытная станция	0,80	0,90	1,00	

Эта таблица показывает, что для различных групп культур глубина канав может быть различная, и чем более требовательны культуры к понижению уровня грунтовых вод, тем глубина канав должна быть больше, причем глубина канав должна быть больше также и при грунтово-напорном питании болота. Так как норма осушения для различных групп культур достигается соответствующим расстоянием между каналами, то глубина их должна быть одинакова и приурочена к наиболее требовательной группе культур. Отсюда—глубина осушителей должна быть около 0,80—1,00 *м*.

3. Проектные горизонты воды в осушительной сети

В настоящее время при проектировании осушительных систем пользуются нормами стока, которые устанавливаются на посевной или так наз. предпосевной период. Это диктуется необходимостью создания благоприятных условий водного режима на осушаемом болоте для своевременной обработки почвы и посева с.-х. культур весной.

Рассчитывая размеры проводящей сети на пропуск весеннего посевного гидромодуля, необходимо знать, на какой же глубине от бровки канала должны быть запроектированы расчетные горизонты воды в осушительной сети, чтобы к моменту весенних с.-х. работ эти горизонты обеспечили снижение уровня грунтовых вод на требуемую глубину на всей осушаемой площади болота.

В настоящее время этот вопрос в достаточной степени не разработан.

Вопрос о величине запаса от бровки до проектного горизонта воды в осушительной сети может быть правильно решен при том условии, что будет установлена определенная связь между уровнями воды в осушительной сети и уровнями грунтовых вод. Последняя может быть установлена либо на основании опытных данных, либо теоретическим путем.

В настоящем разделе приводим краткие результаты, которые получены нами по данному вопросу на основании обработки опытных данных.

Для выяснения зависимости между уровнями грунтовых вод и уровнями воды в осушительной сети нами обработаны материалы водомерных наблюдений по Рудня-Радовельской болотной опытной станции и по Сульскому болотному опорному пункту.

По Рудня-Радовельской болотной опытной станции обработаны материалы за 5 лет наблюдений: по створу водомерных колодцев на неканализированном боковой сетью канав участке болота при наличии одного магистрального канала; по створу водомерных колодцев, расположенному на участке с расстоянием между осушителями 64 *м* при глубине канав 0,75 *м*; на участке с расстоянием между осушителями 20 и 100 *м* при глубине канав 0,70 *м*.

По Сульскому опорному пункту обработаны материалы водомерных наблюдений по створу водомерных колодцев на участке с расстоянием между осушителями 20, 40, 80 и 100 *м* при глубине канав 1,0 *м*, а также на участках с расстоянием между осушителями 60 *м* при глубине канав 1,0 и 0,75 *м*.

Наиболее ответственным периодом работы осушительной сети является весенний период. Как показывают многолет-

ние наблюдения за уровнями воды в канавах и на болоте, осушительная сеть главным образом работает только в этот период. В летний период, благодаря интенсивному испарению, депресионная кривая уровня грунтовых вод между канавами выравнивается и нередко опускается ниже дна канав. Поэтому для исследования данного вопроса нами обработаны материалы водомерных наблюдений по участкам с осушительной сетью только за весенний период, а для участка неканализированного—за весь вегетационный период.

Количество водомерных пунктов по указанным створам Рудня-Радовельской опытной станции и Сульского опорного пункта равняется 26. По этим 26 водомерным пунктам обработано около 4000 наблюденных уровней.

По характеру исследованного вопроса, при таком большом количестве наблюденных величин, наиболее подходящим методом обработки подобных материалов является метод корреляции.

По вычисленным коэфициентам корреляции между одновременно замеренными уровнями воды в канаве и по ряду точек на определенном расстоянии от канавы в торфе, можно судить о степени действия этой канавы и о предельной длине распространения этого действия.

На неканализированном боковой сетью канав болоте Рудня-Радовельской болотной опытной станции за 5-летний период наблюдений, проводившихся ежегодно на протяжении 5 месяцев вегетационного периода (1/V—1/X), получены такие коэфициенты корреляции между уровнем воды в магистральном канале и уровнем грунтовых вод на различном расстоянии от этого канала (приводим их в таблице 40).

Таблица 40

№№ водомерных постов	Расстояние от канала в *м*	Количество наблюдений	Коэфициент корреляции	Примечание
28—174	21	150	0,71 ± 0,07	Водомерный пост № 174 установлен в магканале, остальные №№—28—33—расположены на болоте по створу, перпендикулярному к магканалу
30—174	65	„	0,66 ± 0,07	
31—174	85	„	0,61 ± 0,08	
32—174	105	„	0,60 ± 0,08	
33—174	213	„	0,60 ± 0,09	

Рассматривая данные этой таблицы, видим, что с удалением от магистрального канала коэфициент корреляции уменьшается, причем на расстоянии 105 *м* и далее он остается постоянным. Из этого можно заключить, что, во-первых, с удалением от канала влияние последняго затухает и, во-вторых, существенное влияние канала распространяется на длину 105 *м*, а дальше 105 *м* влияние его практически прекращается.

В таблице 41 приведены средние сезонные уровни грунтовых вод за 5 лет наблюдений и превышение уровня грунтовых вод над уровнем воды в осушителях.

С удалением от магистрального канала относительное превышение уровня грунтовых вод над уровнем воды в канале уменьшается. Например, для среднего годового уровня относительная величина превышения выражается такими цифрами: на расстоянии 21 *м*—0,013, на расстоянии 42 *м*—0,0085, на расстоянии 65 *м*—0,006, на расстоянии 85 *м*—0,0055, на расстоянии 105 *м*—0,0052, на расстоянии 213 *м*—0,0025. В абсолютных цифрах величина превышения в *см* для того же среднего годового уровня, соответственно указанным расстояниям от канавы, выражается так: 27 *см*, 37 *см*, 40 *см*, 47 *см*, 55 *см*, 59 *см*. Ход изменения величины превышения идет таким образом, что в феврале и марте месяцах она наименьшая, в апреле и мае—наибольшая, а в остальное время года—почти одинаковая.

На интенсивно осушенном участке болота той же Рудня-Радовельской станции, по створу водомерных постов при расстоянии между осушителями 64 *м* и при глубине их 0,75 *м* за тот же период наблюдений получены следующие коэфициенты корреляции:

Таблица 42

№№ водомерных постов	Расстояние их от канавы	Коэфициент корреляции	Примечание
16—167	2	0,91 ± 0,02	№ 167 в канаве
13—167	10	0,91 ± 0,02	№ 12 и 13 на болоте
12—167	32	0,97 ± 0,009	№ 12 посередине между канавами

По данным таблицы 42 можно заключить, что зависимость между уровнями грунтовых вод и уровнями воды в осушителях весьма тесная, причем такая зависимость наблюдается на всей полосе между осушителями, что ука-

Таблица 41

№№ колодцев	174	28		29		30		31		32		33	
Сезоны	Уровень от бровки	Уровень грунтовых вод	Превышение	Уровень грунтовых вод	Превышение	Уровень грунтовых вод	Превышение	Уровень грунтовых вод	Превышение	Уровень грунтовых вод	Превышение	Уровень грунтовых вод	Превышение
Среднее за год	86	58	27	48	37	45	40	38	40	60	55	31	54
„ „ зиму	86	60	26	53	33	51	35	41	45	33	53	33	53
„ „ весну	56	35	30	26	40	25	41	22	44	16	50	20	46
„ „ лето	94	65	29	54	40	51	43	41	53	34	60	34	60
„ „ осень	84	70	24	61	33	56	38	47	38	56	39	39	55
„ „ вегетационный период	93	63	30	52	41	48	41	39	52	33	63	34	50

зывает на хорошее действие канав в данных условиях. Сказанное также довольно наглядно подтверждают данные табл. 43.

Таблица 43

№ колодцев / Сезоны года	167	8	9	10	11	12	13	14	15	16	163
Среднее за год . .	76	73	73	74	71	74	71	73	73	75	75
„ „ зиму .	79	74	75	75	72	76	74	74	75	76	75
„ „ весну .	59	58	58	58	54	56	56	59	60	62	63
„ „ лето .	84	82	81	84	78	83	75	81	81	81	81
„ „ осень .	83	77	78	80	78	80	77	79	78	81	77
„ „ вегетационный период .	81	77	76	79	74	74	74	77	77	78	77

На основании табл. 43 можно констатировать, что осушительные канавы наиболее интенсивно влияют на понижение грунтовых вод весной. В летние же месяцы депрессионная кривая выравнивается, и уровень грунтовых вод на всей полосе между осушителями стоит почти на одинаковой глубине и ниже дна канав (глубина канав здесь 0,75 *м*).

В таблице 44 приведены коэфициенты корреляции за март, апрель и май за два года (1930—1931) по створам водомерных колодцев на участках при различных расстояниях и при различной глубине канав на Рудня-Радовельской опытной станции.

Таблица 44

Глубина канав в *м*	Расстояние между канавами в *м*	Расстояние водомерного колодца от канавы в *м*	Коэфициенты корреляции
0,70	20	10	0,95 ± 0,018
0,70	100	50	0,78 ± 0,075
0,60	60	30	0,73 ± 0,088

На основании данных этой таблицы можно констатировать, что, во-первых, при расстоянии между осушителями 20 *м*—зависимость весьма тесная; во-вторых, с увеличением расстояния между осушителями влияние их на уровень грунтовых вод посредине полосы уменьшается; в-третьих, с уменьшением глубины канав степень влияния их уменьшается в большей мере, чем при уменьшении расстояния между осушителями.

Сказанное подтверждают также данные по Сульскому опорному пункту за весенний период 1936 года, что видно из нижеприведенной таблицы 45.

Таблица 45

Глубина канав в *м*	Расстояние между канавами в *м*	Расстояние водомерного поста от канавы в *м*	Коэфициент корреляции
1,0	20	10	0,89 ± 0,03
1,0	40	20	0,78 ± 0,05
1,0	80	40	0,54 ± 0,1
1,0	100	50	0,20 ± 0,13
0,75	60	30	0,61 ± 0,09
1,0	60	30	0,84 ± 0,04

Данные таблицы 45 показывают, что на Сульском опорном пункте осушительные канавы только при расстоянии между ними до 60 *м* оказывают на грунтовые воды сравнительно хорошее действие; при расстоянии 80 *м* это действие ниже среднего, а при расстоянии 100 *м* действие канав на середине участка почти не сказывается.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно констатировать следующее:

1. Между уровнем воды в осушительной сети и уровнем грунтовых вод существует определенная зависимость, причем эта зависимость уменьшается с удалением от канала.

2. Существенное влияние магистрального канала на грунтовые воды на неканализированном боковой сетью канав болоте Р.-Радовельской опытной станции распространяется в одну сторону на длину до 105 *м*; с более значительным удалением от магистрального канала корреляционная зависимость между уровнями воды в канале и уровнями грун-

товых вод выравнивается и остается постоянной. Отсюда можно сделать вывод, что осушительные канавы следует проводить, отступая не менее 100 *м* от магистрального канала.

3. На канализированном боковой сетью канав болоте (Р.-Радовельская и Сула) с увеличением расстояния между осушителями зависимость между уровнем воды в них и уровнем грунтовых вод посередине между осушителями падает, а также падает с уменьшением глубины осушительных канав.

4. Высокая степень корреляционной зависимости между уровнем грунтовых вод посередине между канавами и уровнем воды в канавах на Сульском опорном пункте наблюдалась при расстоянии между канавами до 60 *м*; на болоте Р.-Радовельской опытной станции высокая степень корреляционной зависимости наблюдалась и при 100-метровом расстоянии между канавами.

5. Более слабое влияние канав на уровень грунтовых вод на болоте Сульского опорного пункта объясняется недостаточными размерами магистрального канала и интенсивным питанием болота напорными грунтовыми водами.

Считается, что связь между сопоставляемыми величинами имеется, когда коэфициент корреляции больше 0,5. В наших примерах коэфициент корреляции колеблется, в большинстве случаев, от 0,60 до 0,90, т. е. практически—вполне приемлемая связь. На основании этого можно сказать, что если мы выразим зависимость между уровнями грунтовых вод и уровнями воды в осушительной сети математическим уравнением, то оно также будет практически вполне приемлемым.

Согласно теории корреляции, корреляционная зависимость выражается уравнением прямой регрессии:

$$y - y_0 = R(x - x_0),$$

где y_0 и x_0—средние арифметические ряда;

R—коэфициент регрессии, равный $R = r\frac{\sigma_y}{\sigma_x}$;

r—коэфициент корреляции равный:

$$r = \frac{\Sigma(y - y_0)(x - x_0)}{\sqrt{\Sigma(y - y_0)^2 \cdot \Sigma(x - x_0)^2}};$$

σ_y, σ_x—среднеквадратические отклонения y-ов и x-ов от их средних значений y_0 и x_0, т. е.:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\Sigma (x - x_0)^2}{n-1}};$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\Sigma (y - y_0)^2}{n-1}};$$

n—число членов ряда.

Уравнение регрессии можно написать в таком виде:

$$y = Rx + (y_0 - Rx_0).$$

Обозначая y через h_k, x через H и $(y_0 - Rx_0)$ через N, получим следующее уравнение:

$$h_k = RH + N, \tag{39}$$

где h_k—глубина от бровки до уровня воды в осушителе;

H—норма осушения к началу посевного периода;

R и N—постоянные величины для данных условий.

На основании опытных данных уровень воды в осушителях (от бровки) можно определить и по следующему уравнению:

$$h_k = H + s \operatorname{tg} \alpha, \tag{40}$$

где h_k—глубина от бровки до уровня воды в осушителе в *м*;

H—норма осушения в *м*;

s—половина расстояния между осушителями в *м*;

$\operatorname{tg} \alpha$—средняя величина угла кривой депрессии.

Так как $\operatorname{tg} \alpha$ есть величина, зависящая от характера грунта, то определив его величину по опытным материалам, можно по заданной норме осушения определить расчетный горизонт воды в осушителе.

Имея данные наблюдений за уровнями грунтовых вод и уровнями воды в осушителях, решая приведенные уравнения, можно найти неизвестные этих уравнений за интересующий нас период. Так как посевной период является расчетным, то и неизвестные уравнения должны быть выведены на посевной период.

Для этой цели нами разработаны данные водомерных наблюдений на опорных пунктах за период времени, когда уровень грунтовых вод весной стоял на глубине от 30 до 60 *см*, т. е. в пределах расчетной нормы осушения.

В результате проработки фактических материалов водомерных наблюдений нами получены средние значения R, N и $\operatorname{tg} \alpha$. Эти значения следующие:

Таблица 46

Вид торфа	Степень разложения торфа	R	N	$\operatorname{tg}\alpha$
Осоково-тростниковый с примесью мха	слабо-средняя	0,20 — 0,25	45—50	0,003—0,005

h по уравнению (39)			h по уравнению (40) при $s = 30$ *м*		
При норме осушения H в *см*					
30	40	50	30	40	50
51—57	53—60	55—62	39—45	49—55	56—65

На основании приведенных уравнений и таблицы 46, при заданной норме осушения, можно определить проектные горизонты воды в осушителях на посевной период, а по последним и уклонам можно определить и горизонты воды в собирателях и магистральном канале, а отсюда и запасы от проектных горизонтов до бровок. Можно решить и обратную задачу: при заданном уровне воды в осушителе— определить, какова будет норма осушения (причем это будет справедливо только для нормы осушения в пределах 30—60 *см*).

Результаты вычислений по обоим приведенным методам почти совпадают, что видно из табл. 46.

Определение проектных горизонтов воды в осушительной сети в зависимости от нормы осушения и уклонов можно произвести по отметкам. Пусть отметка поверхности болота посередине между осушителями и в конце их будет ∇_n; тогда отметка горизонта воды в осушителе там же определится:

$$\nabla_0 = \nabla_n - (h_k + \nabla h)$$

где ∇_0—отметка воды в осушителе;

h_k—запас от уровня воды в осушителе до бровки, определяемый по вышеприведенным уравнениям;

∇h—величина осадка торфа после осушения.

Проектные отметки горизонтов воды в собирателях и в магистральном канале определяются:

$$\nabla_c = \nabla_0 - L_0 i_0;$$
$$\nabla_м = \nabla_c - L_c i_c;$$

где ∇_c—отметки горизонтов воды в собирателях;

$\nabla_м$—то же—в магистральном канале;

L_0—длина осушителя;

L_c—то же—собирателя;

i_0—уклон дна осушителя;

i_c—то же—собирателя.

Проделав таким образом подсчет по характерным осушителям, мы получим ряд отметок на продольном профиле собирателя. Выше этих отметок проектный горизонт воды в собирателях допускаться не должен. Эти же отметки определяют в основном и уклон дна собирателей. Проведя по полученным отметкам выравнивающую линию проектного горизонта воды на профиле каждого собирателя, мы подойдем с определенными отметками к магистральному каналу. По этим отметкам проводится выравнивающая линия проектного горизонта воды на профиле магканала, которая определяет в основном и уклон дна его.

Ниже линии проектного горизонта воды, полученной на профиле магканала, рассчитывается живое сечение его по расходу, устанавливаемому на тот же расчетный период, который принят и для нормы осушения, т. е. на посевной период. Запас от бровки до проектного горизонта воды в канале определяется по разности отметок бровки и горизонта воды на продольных профилях.

Более упрощенно запас от бровки до проектного горизонта воды в каналах можно определить непосредственно по их длине и уклонам:

$$h_c = h_0 + (i_0 - i_n) L_0,$$
$$h_м = h_c + (i_c - i_n) L_c;$$

где h_c—запас от бровки до горизонта воды в собирателе;

$h_м$—то же—в магканале;

i_n—уклон поверхности болота в направлении соответствующего канала.

Остальные обозначения—прежние.

Приведенные выше расчеты следует производить выборочно по характерным осушителям и собирателям, напри-

мер, по одному осушителю в нижней, средней и верхней части собирателя, а также по несколько собирателей в нижней, средней и верхней части магистрального канала, а также при изменении нормы осушения, проектных уклонов дна канав и уклонов поверхности болота.

В нижеприведенной таблице показано, как изменяется величина запаса от бровки до проектного горизонта воды в каналах в зависимости от проектных уклонов дна и уклонов поверхности болота при одинаковой норме осушения в 0,40 *м* и при длине осушителей 500 *м* и собирателей 800 *м*.

Таблица 47

Каналы	Уклон дна канавы	Запас от бровки до горизонта воды в канале при уклонах поверхности болота			
		0,0003	0,0002	0,0001	0,0
Осушитель	0,0003	0,60	0,60	0,60	0,60
Собиратель	0,0003	0,60	0,65	0,70	0,75
Магканал	—	0,60	0,73	0,86	0,99
Осушитель	0,0005	0,60	0,60	0,60	0,60
Собиратель	0,0003	0,70	0,75	0,80	0,85
Магканал	—	0,70	0,83	0,96	1,09
Осушитель	0,0005	0,60	0,60	0,60	0,60
Собиратель	0,0004	0,70	0,75	0,80	0,85
Магканал	—	0,78	0,91	1,04	1,17

Таким образом, запас от бровки до проектного горизонта воды в осушительной сети не является одинаковой (стандартной) величиной, а зависит от свойств торфа, нормы осушения, проектных уклонов дна канав и уклонов поверхности болота.

4. Расчетный период осушения

Расчетным периодом осушения принято называть время, за которое необходимо понизить грунтовые воды на осушаемой территории при помощи осушительной сети от первоначального уровня до заданной нормы осушения.

Этот промежуток времени зависит от двух главных факторов: 1) от времени прохода весеннего паводка на водо-

приемниках, 2) от срока посева с.-х. культур на болоте. Отсюда следует, что для различных климатических и гидрологических условий расчетный период осушения будет различный.

Первый из указанных факторов диктует начало расчетного периода, а второй—его конец.

Началом расчетного периода может служить время, когда после прохода весенних максимальных вод на водоприемниках устанавливаются такие горизонты, при которых осушительная сеть уже не испытывает подпоров и в состоянии принимать и сбрасывать грунтовые воды. Время наступления этого момента можно установить на основании многолетних водомерных наблюдений на водоприемниках.

Для проработки этого вопроса нами использованы материалы наблюдений за уровнями воды на водпостах по рекам УССР. Для этого был проанализирован уровенный режим по каждой реке за отрезок времени от весеннего максимума до посевного периода. За начало расчетного периода принимались даты, когда уровни рек после весеннего максимального подъема вступали в берега.

В таблице 52 (стр. 112) приведены для характеристики даты наступления весенних максимумов и даты начала расчетного периода по некоторым заболоченным рекам-водоприемникам Полесья и Лесостепи УССР.

Как видно из этой таблицы, начало расчетного периода наступает через 5—16 дней, а в среднем через 9 дней после весеннего максимума и относится, главным образом, к первым—средним числам апреля.

Конец расчетного периода зависит от срока посева с.-х. культур. Сроки посева с.-х. культур в сильной степени влияют на урожай, что видно из табл. 51 (стр. 110 и 111).

Для большинства культур чем более ранние сроки их посева, тем выше урожай. Однако, время весенней обработки болота и посева лимитируют как время прохода весеннего паводка, так и температурные условия воздуха и почвы. Иногда болото долго залито водой (особенно—затопляемые болота), и срок посева оттягивается, несмотря на благоприятные температурные условия. При нормальных условиях водного режима срок посева зависит исключительно от температурных условий.

Температурные условия почвы и воздуха должны обеспечить, во-первых, возможность прорастания семян культур после их посева, во-вторых, отмерзание почвы на такую глубину, при которой возможна обработка почвы с.-х. орудиями.

По литературным данным (47), прорастание семян различных с.-х. культур происходит при следующей температуре:

Таблица 48

№№ по пор.	Название культуры	Температура прорастания	№№ по пор.	Название культуры	Температура прорастания
1	Яровая пшеница	3—4	12	Подсолнух	5—7
2	Овес	4—5	13	Картофель	8—10
3	Ячмень	3—4	14	Сахарная свекла	4,4—10
4	Просо	8—10	15	Томаты	8
5	Кукуруза	8—10	16	Баклажаны	15—16
6	Сорго	8—10	17	Тыква	12
7	Гречиха	7	18	Огурцы	11—14
8	Горох, чечевица	4—5	19	Лук	3
9	Соя	10	20	Редис	2—3
10	Фасоль	8	21	Морковь	3—4
11	Конопля	4	22	Свекла	3—4

Из этой таблицы следует, что температура прорастания семян приведенной группы растений составляет в среднем 6,5°—8,1° и колеблется для различных культур от 3° до 15°. Следовательно, для прорастания посеянных семян необходимо, чтобы болотная почва нагрелась в среднем до температуры 6,5°. Как показывают наблюдения, примерно при такой же температуре происходит и отмерзание почвы на глубину 20—25 *см*, т. е. на глубину пахоты.

Так как весенний сев и обработка почвы производятся почти одновременно, то температура +6,5° почвы может характеризовать средние сроки весенних полевых работ на болоте, а температура 3°—ранние сроки.

Ввиду отсутствия массовых наблюдений за температурой почвы, можно пользоваться температурой воздуха, при этом лучше пользоваться температурой не среднесуточной, как изменчивой величиной, а суммой среднесуточных температур выше нуля.

На рис. 20 приводим среднесуточную температуру торфяной почвы на глубине 25 *см* и сумму среднесуточных

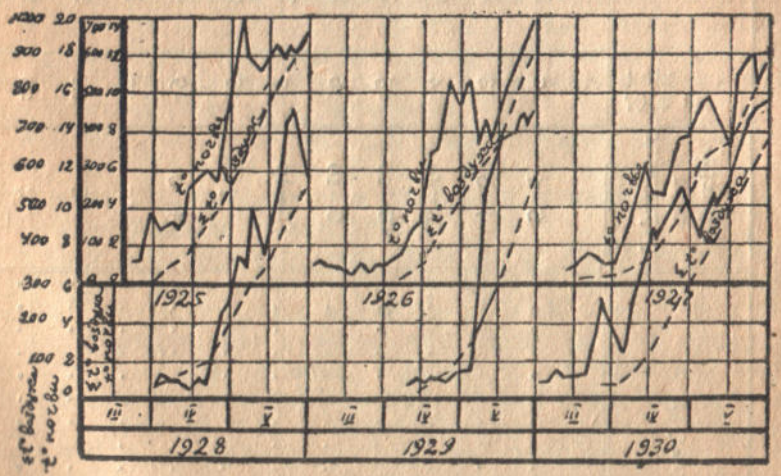

Рис. 20.

Температура почвы и сумма температур воздуха по Рудня-Радовельской опытной станции.

температур воздуха за весенний период по годам на Р.-Радовельской опытной станции и Панфиловском опорном пункте.

Из этих графиков видно, что средние сроки посевных работ на болоте в различные годы наступают, главным образом, в конце апреля и в первых числах мая. При этом уровни грунтовых вод к означенному сроку также достигают требуемой нормы осушения.

Таблица 49

Место наблюдений	Годы	Даты измерения температуры почвы и сумма температур воздуха на эти даты						Фактическая обработка почвы и посев			
		$t°$ почвы 3°	$\Sigma t°$ воздуха	$t°$ почвы 6,5°	$\Sigma t°$ воздуха	$t°$ почвы 8°	$\Sigma t°$ воздуха	Культуры	Ранний срок	Средний срок	Поздний срок
Р.-Радовельская опытная станция	1925	11.IV	79	26.IV	204	3.V	293	—	—	—	—
	1926	15.IV	74	21.IV	142	24.IV	187	разные	16.IX	24.IV	—
	1927	8.IV	118	24.IV	322	30.IV	291	овес	9.IV	16—30.IV	7.V
	1928	26.IV	154	2.V	231	7.V	272	»	27.IV	4.V	11—18.V
	1929	5.V	142	8.V	183	9.V	198	—	—	—	—
	1930	5.IV	96	13.IV	160	16.IV	184	—	—	—	—
Среднее			110		192		239				
Панфиловский опорный пункт	1938	15.IV	149	20.IV	200	29.IV	283	разные	13.IV	20.IV	—

На основании этих графиков и данных о фактических работах на болоте можно составить таблицу (см. табл. 49, стр. 107).

Из этой таблицы следует, что при переходе среднесуточной температуры почвы через 6,5° сумма среднесуточных температур воздуха колеблется в среднем около 200°. Этот момент отвечает средним срокам посевных работ. При ранних сроках посевных работ сумма температур воздуха составляет в среднем около 100°, а при поздних сроках—около 240°. Эти выводы подтверждаются фактическими работами на болоте, что видно как из табл. 49, так и из фактических данных, приведенных в таблицах 50, 50а и 50б.

Таблица 50

Рудня-Радовельская опытная станция

Годы	Название работ	Даты производства работ	Σt^0 воздуха на эти даты		Даты Σt^0 воздуха по Житом. мет. ст.	
			Р.-Радовельская	Житомир.	100°	200°
1926	Начало обработки болота	16.IV	83	92	—	—
1926	Посев культур	24.IV	186	202	—	24.IV
1927	Начало обработки . . .	9.IV	127	120	—	—
	Посев культур	20.IV	196	196	—	21.IV
1928	Ранний сев	27.IV	165	185	—	29.IV

Приведенные таблицы показывают, что весной посевные работы на болоте фактически начинаются даже несколько позже, чем сумма температур воздуха достигает 200°.

В таблице 51 (стр. 110 и 111) приводим данные об урожайности различных с.-х. культур в зависимости от различных сроков посева и суммы температур воздуха.

В этой таблице приведены культуры, требующие наиболее раннего сева (овес) и наиболее позднего сева (конопля и лен). Остальные культуры по срокам посева занимают промежуточное положение.

Как видно из таблицы, сумма среднесуточных температур воздуха только для самых ранних культур к моменту их посева составляет около 200°, а для остальных культур значительно выше.

Так как осушительную сеть необходимо рассчитывать на обеспечение сроков сева культур, наиболее требовательных

Буровское опытное поле Таблица 50а

Годы	Название работ	Даты производства работ	Σt^0 воздуха на эти даты		Даты Σt^0 воздуха по Чернигову	
			Буров. опытн. поле	Чернигов	100°	200°
1934	Обработка болота . . .	26.IV	—	344	15.IV	—
	Посев	30.IV	—	414	—	15.IV
1935	Обработка болота . . .	20.IV	—	150	8.IV	—
	Посев	6.V	—	278	—	26.IV
1936	Обработка болота . . .	—	—	—	—	—
	Посев	28.IV	170	234	15.IV	25.IV
1937	Обработка болота . . .	15.IV	120	154	10.IV	—
	Посев	20.IV	163	199	—	21.IV
1938	Обработка болота . . .	18.IV	136	156	16.IV	—
	Посев	22.IV	167	189	—	24.IV
1939	Обработка болота . . .	7.IV	—	—	—	—
	Посев	—	—	—	—	—

Панфиловский опорный пункт Таблица 50б

Годы	Название работы	Даты производства работ	Σt^0 воздуха на эти даты		Даты Σt^0 воздуха по Киеву	
			Панфилы	Киев	100°	200°
1937	Вспашка болота	16.IV	—	202	10.IV	—
	Посев	27.IV	—	313	—	16.IV
1938	Первая обработка болота	8.IV	110,9	155	14.IV	—
	Посев	20.IV	186,8	219	—	18.IV
1939	Обработка болота . . .	20.IV	180	—	—	—

Пункты	Культуры	Год производства опыта	Даты посева
Рудня-Радовельская опытная станция	лен	1931	3.VI 13.VI 23.VI 3.VII 23.VII
Буровский опорный пункт	цикорий Магдеборский	1935	8.IV 18.V
Рудня-Радовельская опытная станция	овес	1927	3.IV 15.IV 30.IV 7.V 14.V
То же	овес	1928	27.IV 4.V 11.V 18.V
То же	конопля	1931	22.V 1.VI 11.VI 21.VI
Буровское опытное поле	конопля	1936	4.VI 14.VI. 24.VI 4.VII
То же	махорка	1936	20.IV 30.IV 10.V 20.V
То же	сахарная свекла »	1935 1936	8.V 18.V 28.IV 8.V 18.V
Панфиловский опорный пункт	»	1937	28.IV 8.V

Таблица 51

Температура воздуха	Продолжительность вегетационного периода в днях	Урожай в цн. с 1 га	
		Стебли, солома, корни	Зерно, ботва
—	73	55,6	4,2
—	85	47,3	2,4
—	до ранней желтой спелости по достиг.	31,7	зерно не доспело
—		25,2	урожай не получен совсем
60	180	226	—
404	170	208	—
124	102	63,7	13,9
170	99	55,7	16,5
288	99	46,5	17,6
377	90	33,6	20,1
401	90	28,5	7,5
165	125	61,4	36,8
238	125	60,2	34,0
313	123	55,3	30,7
381	118	53,1	29,5
—	109	52,1	9,8
—	109	55,2	9,3
—	105	49,9	9,2
—	100	50,7	8,4
—	202	41,2	—
—	101	34,2	—
—	91	26,4	—
—	81	21,9	—
—	129	39,2	—
—	122	39,13	—
—	113	38,9	—
—	102	32,7	—
303	110	273	238
404	161	271	233
234	172	401,5	315
372	162	369,9	352
518	152	366,0	283
322	175	367,7	367,2
436	165	305,9	342,6

Таблица 52

№№ рек	Годы	Даты: Весенний максимум	Даты: Начало расчетного периода	Даты: Конец расчетного периода	Расчетный период в сутках
1.	1929	17-IV	26-IV	9-V	13
	1930	23-III	28-III	22-IV	24
	1931	30-III	5-IV	4-V	29
	1932	9-IV	10-IV	1-V	15
	1933	4-IV	15-IV	4-V	19
	1934	15-III	1-IV	10-IV	10
	1935	26-III	5-IV	25-IV	20
	Средн.				19
2.	1930	24-III	3-IV	22-IV	19
	1931	28-III	8-IV	4-V	26
	1932	7-IV	15-IV	1-V	15
	1933	18-III	1-IV	4-V	33
	1934	27-III	5-IV	10-IV	5
	1935	26-III	1-IV	25-IV	24
	Средн.				20
3.	1927	8-III	27-III	21-IV	24
	1929	1-IV	10-IV	9-V	29
	1930	23-III	3-IV	22-IV	19
	1931	1-IV	1-IV	4-V	27
	1932	16-IV	11-IV	1-V	20
	1934	16-III	30-III	10-IV	10
	1935	25-III	31-III	23-IV	23
	Средн.				22
4.	1030	8-III	19-III	22-IV	32
	1931	15-IV	31-IV	4-V	13
	1933	20-III	31-III	4-V	34
	1934	18-III	1-IV	10-IV	10
	1935	25-III	5-IV	25-IV	20
	Средн.				22

№№ рек	Годы	Даты: Весенний максимум	Даты: Начало расчетного периода	Даты: Конец расчетного периода	Расчетный период в сутках
5	1929	1-IV	14-IV	10-V	26
	1930	30-III	1-IV	23-IV	23
	1931	26-IV	2-V	5-IV	3
	1932	17-IV	23-IV	1-V	8
	1933	6-IV	15-IV	4-V	19
	1934	30-III	6-IV	15-IV	9
	Средн.				15
6	1928	3-IV	10-IV	30-IV	20
	1929	30-III	4-IV	8-V	34
	1930	19-III	30-III	19-IV	19
	1931	19-IV	25-IV	3-V	8
	1932	10-IV	16-IV	29-IV	13
	1933	1-IV	10-IV	3-V	23
	1934	24-III	2-IV	9-IV	7
	1935	2-IV	5-IV	28-IV	18
	Средн.				18
7	1932	3-IV	11-IV	29-IV	18
	1933	19-III	31-III	3-V	33
	1934	15-III	26-III	9-IV	14
	1935	4-III	14-III	23-IV	38
	Средн.				26
8	1928	11-IV	19-IV	30-IV	11
	1929	12-IV	18-IV	8-V	20
	1930	20-III	29-III	19-IV	16
	1931	19-IV	24-IV	3-V	9
	1932	5-IV	13-IV	29-IV	16
	1935	28-III	16-IV	23-IV	7
	Средн.				14

к этим срокам, то конец расчетного периода можно определять по сумме температур воздуха в 200°.

Таким образом, зная начало и конец расчетного периода, можно определить по каждому осушаемому массиву расчетный период осушения.

В табл. 52 приводим для характеристики расчетный период осушения по некоторым водоприемникам Полесья и Лесостепи УССР.

Из этой таблицы видно, что средняя величина расчетного периода составляет 15—20 суток.

На основании всех приведенных данных можно сделать следующие выводы:

1. Как с точки зрения характера водного режима болот и водоприемников, так и с точки зрения теплового режима почвы и урожаев культур время наступления весенних полевых работ на болотах в УССР можно характеризовать накоплением суммы температур воздуха в 200°. Такой момент наступает обыкновенно в конце апреля—начале мая.

2. Начало расчетного периода определяется датами, когда после весеннего максимума горизонты воды в водоприемниках принимают такое положение, при котором осушительная сеть не испытывает подпоров и в состоянии принимать и сбрасывать грунтовые воды; такой момент наступает в конце марта—начале апреля.

3. Расчетный период осушения, как разность конца и начала этого периода, составляет в среднем 15—20 дней.

4. Так как расчетный период осушения зависит от климатических и гидрологических условий, то его необходимо определять для каждого в отдельности осушаемого массива.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Одним из важнейших мероприятий по с.-х. освоению торфяных почв, обеспечивающих возможность получения высоких и устойчивых урожаев кормовых, овощных и технических культур, является соответствующая их осушка. Основным фактором в этом вопросе является надлежащая степень осушения, каковой для болот УССР до настоящего времени не находил достаточного освещения.

Имеющиеся же литературные данные о степени осушения, полученные в других республиках Советского Союза, не могут быть использованы в УССР в силу разных почвенно-гидрологических и климатических условий.

2. Результаты многолетних опытов и наблюдений над действием осушительных систем на территории УССР в

разных условиях (по 5 опытным участкам) показывают, что для различных групп с.-х. культур степень осушения должна быть различной.

а) Расстояния между регулирующими канавами при глубине их 0,8—1 *м*, разработанные на основании норм осушения в посевной и за вегетационный период, а также на основании анализа депрессионных кривых и урожаев различных с.-х. культур, можно рекомендовать следующие:

Использование болота	Расстояние между канавами в *м*	
	Болото низинного типа грунтового питания	Болото низинного типа, грунтово-напорного питания
Травопольный севооборот с культивированием растений I гр. по отношению к норме осушения[1]	100	100
Травопольный севооборот с культивированием растений II гр. по отношению к норме осушения	80	70
Травопольный севооборот с культивированием растений III гр. по отношению к норме осушения	60	50

При этих расстояниях и при длине участка 600—1000 *м* площадь карты должна составлять не менее 7,5—10 га. В противном случае механизация с.-х. работ затруднена, почему необходимо прибегать к закрытому дренажу.

б) Расстояние между регулирующими дренами при глубине их 0,8—0,9 *м* колеблются от 60 *м* для лугов до 30 *м* для технических культур. Учитывая же аэрационное действие дренажа и применение его в целях двухстороннего регулирования режима грунтовых вод, расстояние между дренами следует применять в пределах 15—20 *м*.

3. Необходимое расстояние между регулирующими канавами и дренами в каждом отдельном случае возможно определить по формулам, разработанным на основании экспериментальных и теоретических исследований. Результаты проверки этих формул по многолетним опытным материалам, произведенной двумя методами, показали, что формула (35) в достаточной степени точна и может быть рекомендована для целей практики.

---

1) Группы культур по отношению к норме осушения см. п. 6.

Формула (35) имеет вид:

$$E = 2\sqrt{\frac{t_p kB(T-C)(T-H)}{\beta[(T-C)-(T-H)\alpha]}},$$

где E—расстояние между канавами и дренами;
t_p—расчетный период осушения;
k—коэфициент фильтрации,

$$B = 1 + 2{,}2\sqrt{\frac{H_0 - T}{H_0} \cdot \frac{2h_0 + b}{T}},$$

для дрен $2h_0 + b \cong \pi h_0$;

T—глубина канавы или дрены;
C—первоначальный уровень грунтовых вод посередине между канавами или дренами;
H—заданный уровень грунтовых вод (норма осушения);
H_0—глубина до водоупора;
h_0—глубина воды в канаве;
β—удельная водоотдача грунта;

$$\alpha = 0{,}5\left(\frac{h_0}{h_2} + \frac{\pi}{2}\right); \; h_2 = T - H.$$

4. Для вывода этой формулы предварительно было получено на основании экспериментальных и теоретических исследований следующее:

а) Депрессионная линия грунтовых вод между канавами или дренами в посевной период имеет форму эллипса:

$$y^2 = -\frac{h^2 - h_0^2}{s^2}x^2 + \frac{2(h^2 - h_0^2)}{s}x + h_0^2.$$

Среднее квадратическое отклонение составляет 2—3%.

б) Приток воды в канаве является функцией времени t:

$$q = \frac{kBt_p}{s}h_1 \; h_2.$$

Уровень грунтовых вод за расчетный период в зависимости от времени изменяется по кривой типа гиперболы.

в) Количество воды, заключающееся в осушаемом слое грунта, подлежащее удалению при осушении, выражается уравнением:

$$w_\beta = \beta s(h_1 - h_2\alpha).$$

В начале расчетного периода уровень грунтовых вод стоит на одинаковой глубине на всей полосе между дренами или канавами, а в конце расчетного периода представляет кривую, имеющую форму эллипса.

5. Главнейшими расчетными элементами степени осушения являются: норма осушения, глубина осушителей, горизонты воды в осушительной сети и время, за которое необходимо понизить уровень грунтовой воды до заданной нормы осушения (расчетный период осушения).

Основные выводы по исследованию этих элементов сводятся к следующему.

6. Норма осушения, характеризующая требования различных с.-х. культур к водно-воздушному режиму в почве, является общим агротехническим фоном для отдельных групп культур, разных, но близких по требованию к влаге и воздуху в почве. Этот общий фон для отдельных групп культур должен обеспечить применение высокой агротехники, диференцированной применительно к каждой отдельной культуре, которая (агротехника) является в свою очередь средством регулирования в сторону улучшения водно-воздушного и питательного режима в почве.

Таким образом, на одном фоне по норме осушения возможно культивировать растения разного требования к водно-воздушному режиму, произведя корректировку этого фона путем агротехнических приемов. Однако один фон осушения может обеспечить только определенную группу культур. Таких групп культур, требующих разных фонов осушения, резко выявляется три, которые характеризуются следующим:

а) К первой группе можно отнести культуры, требующие снижения грунтовых вод, в среднем за период вегетации, на глубину 40—60 *см*; ко второй группе—на глубину 60—80 *см*; к третьей группе—на глубину 80—100 *см*.

б) Основными представителями каждой из этих трех групп культур являются следующие. Для первой группы: луговые травы, вико-овсяная смесь, лен. Для второй группы: зерновые, табак-махорка и некоторые огородные (капуста, морковь). К третьей группе относятся технические (конопля, корне-клубнеплоды) и большинство огородных.

в) Цифровые значения фонов осушения по группам культур (нормы осушения) характеризует следующая таблица (на стр. 118).

На протяжении не менее 50% всего периода вегетации уровень грунтовых вод должен стоять на глубине: для первой группы культур 30—60 *см*, для второй—40—80 *см*, для третьей—60—100 *см*.

Группы культур	Расчетная норма осушения в *см*	Средние значения за вегетационный период		
		Уровень грунтовых вод в *см*	Влажность пахотного слоя почвы в % от полной влагоемкости	Аэрация в % в пахотном слое почвы
I	30—40	50—60	80	15
II	40-50	60—80	70	20—25
III	50—60	80—100	60	30

7. Для различных групп культур глубина регулирующих канав или дрен может быть различная: чем более требовательны культуры к понижению грунтовых вод, тем глубина канав или дрен должна быть больше, причем эта глубина должна быть больше также и при грунтово-напорном питании болота.

а) Так как норма осушения для различных групп культур достигается соответствующим расстоянием между канавами или дренами, то глубина их должна быть одинаковая и заключаться в пределах 0,8—1 *м*.

б) Глубина регулирующих канав или дрен меньше 0,8 *м* может быть допущена только при использовании осушенных болот под луга, а глубина в 0,6 *м* является уже недостаточной для своевременного снижения уровня грунтовых вод, необходимого для обработки почвы весной.

8. Заданная норма осушения может быть обеспечена при условии наличия соответствующего запаса от бровки канала до расчетного горизонта воды в нем. Запас от бровки зависит от свойств торфа, нормы осушения, проектных уклонов дна канав и уклонов поверхности болота

а) Величину запаса от бровки канала до проектного горизонта воды в нем можно вычислить

1) по отметкам:

$$\nabla_o = \nabla_n - (h_k + \Delta h),$$

$$\nabla_c = \nabla_o - L_o i_o,$$

$$\nabla_м = \nabla_c - L_c i_c;$$

2) по длине и уклонам:

$$h_c = h_o + (i_o - i_n) L_o,$$

$$h_м = h_c + (i_c - i_n) L_c;$$

где ∇_o — отметка воды в осушителе;
∇_n — отметка поверхности болота посередине между осушителями;
∇_c — отметка воды в собирателе;
$\nabla_м$ — то же—магканале;
h_k — запас от бровки осушителя до горизонта воды в нем;
$h_k = RH + N$, или $h_k = s \operatorname{tg} \alpha + H$;
H — норма осушения;
R, N, $\operatorname{tg} \alpha$ — постоянные, зависящие от свойств торфа;
Δh — величина осадки торфа после осушения;
L_o — длина осушителя;
L_c — то же—собирателя;
i_o — уклон дна осушителя;
i_c — то же—собирателя;
i_n — то же—поверхности болота;
h_c — запас бровки до горизонта воды в собирателе;
$h_м$ — то же—в магканале.

б) Такие расчеты необходимо производить выборочно, на типичных осушителях и собирателях, в нижней, средней и верхней части магканала и типичных собирателей, а также при изменении норм осушения, проектных уклонов дна канав и уклонов поверхности болота.

в) Расчеты на осушителях дают ряд отметок на продольном профиле собирателя, ниже которых должен вкладываться расчетный горизонт воды в нем. Расчеты на собирателях дают ряд отметок на продольном профиле магканала. Эти же отметки могут быть получены путем проведения выравнивающих линий на профиле собирателей. Ниже линии, выравнивающей отметки на профиле магканала, рассчитывается живое сечение его по расходу, устанавливаемому на те же даты, или период, что и норма осушения.

9. Расчетный период осушения, т. е. время, за которое необходимо понизить грунтовые воды на осушаемом болоте до заданного уровня, зависит от двух главных факторов: 1) от времени прихода весеннего паводка; 2) от срока посева с.-х. культур весной. Первый из указанных факторов характеризует начало расчетного периода, а второй—конец его.

а) Начало расчетного периода определяется датами, когда после весеннего максимума горизонты воды в водоприемниках принимают такое положение, при котором осушительная сеть не испытывает подпоров и в состоянии принимать и сбрасывать грунтовые воды. Эти даты устанавливаются по данным водомерных наблюдений на водпостах. В условиях УССР такой период наступает в конце марта—начале апреля.

б) Конец расчетного периода зависит от срока весенних с.-х. работ и температурных условий, которые должны обеспечить отмерзание почвы на необходимую глубину и прорастание семян культур, после их посева.

В условиях УССР как с точки зрения характера водного режима болот и водоприемников, так и с точки зрения теплового режима почвы и урожаев культур, время наступления весенних полевых работ на болотах можно характеризовать накоплением суммы температур воздуха в 200°; такой период наступает обыкновенно в конце апреля—начале мая.

в) Расчетный период осушения, как разность начала и конца этого периода, в условиях УССР составляет в среднем 15—20 дней.

г) Так как расчетный период осушения зависит от климатических и гидрологических условий, то его необходимо определять для каждого в отдельности осушаемого массива.

ЛИТЕРАТУРА

1) Брудастов А. Д., Осушение минеральных и болотных земель, Москва, 1934.

2) Брудастов А. Д., Осушение площадок промышленных предприятий и аэродромов, Москва, 1936.

3) Вильямс В. Р., Общее земледелие с основами почвоведения, Москва, 1931.

4) Гейтман Б. Г., Нечаев М. З. и Писарьков Х. А., Осушительная мелиорация, Москва, 1934.

5) Гетьманов Я. Я., Водные свойства торфяных грунтов. Труды Г. И. С. Х. М., т. III, 1929.

6) Гарячкин В. Г., Данные по исследованию вопросов подготовки болот, Труды н.-и. торф. ин-та, Москва, 1928.

7) Гарячкин В. Г., Некоторые данные для проектирования осушительных систем, „Торф. дело", № 8, 1928.

8) Ганжа Б. А., О пересушке болот в связи с опытами и наблюдениями Минской опытной станции. Труды станции, № 8.

9) Годлин М. М., Питательные рессурсы Рудня-Радовельских торфов. Труды станции, вып. IV.

10) Грамматин В. Н., Нормы осушения на торфяных почвах. Новгородская оп. станция, 1929.

11) Грамматин В. Н,. Степень осушения торфяных почв. Труды СЭНИИГМ, вып. 8, 1934.

12) Давидов Р. Э., Сельскохозяйственная метеорология, Москва, 1936.

13) Доценко А. П., Отчеты о научно-исследовательской работе Сульского болотного опорного пункта 1936—1939 г.г. (рукописи).

14) Дубах А. Д., Осушение лесных земель, Москва, 1934.

15) Дубах А. Д., О линии грунтовых вод при осушении торфяного болота. Материалы ЗАПОМО, вып. 3, 1924.

16) Дубах А. Д., Математика в мелиорации, Ленинград, 1930.

17) Дубах А. Д., Очерки по гидрологии болот. Гос. гидрол. институт, Ленинград, 1930.

18) Докукин М. В. и Гаркавый С. П., Оптимальный режим грунтовой воды для с.-х. культур на осушенном болоте. ВНИИБХ, 1933 (литограф.).

19) Ивицкий А. И., Расчет расстояний между канавами при осушении болот под торфодобычу, журнал „За торфяную индустрию", № 9, 1935.

20) Ивицкий А. И., Предпосевной и предпосевно-посевной сток в условиях БССР. Труды Н.-И. Института болотного хозяйства, т. I, 1938.

21) Ивицкий А. И., Исследование вопросов степени осушения болот. Труды Н.-И. Института болотного хозяйства, т. I, 1938.

22) Колода А. Ф., Отчеты о научно-исследовательской работе Подставского болотного опорного пункта за 1938—1939 г.г. (рукописи).

23) Костяков А. Н., Основные элементы расчета осушительных систем. Москва, 1916.

24) Костяков А. Н., Основы мелиорации. Москва, 1933 и 1938.

25) Костяков А. Н., К вопросу определения расстояния между дренами. Бюллетень Всесоюзной Академии с.-х. наук им. Ленина, № 5, 1935.

26) Келль И. Г., Техническое землеулучшение и гидрология. Рудня-Радовельская бол. оп. станция, Киев, 1927.

27) Келль И. Г., Осушение торфяного грунта. Укр. н.-и. институт гидрот. и мелиорации (рукопись), 1935.

28) Кожанов К. Я., Режим грунтовых вод на Марьинских болотах. Труды болотн. института, Минск, 1932.

29) Кожанов К. Я., Определение расстояния между осушителями в разных условиях водного питания болот. Журнал „За торфяную индустрию", № 9, 1935.

30) Козлов В. С., Розрахунок дренажних споруд. Труды Укр. н.-и. ин-та гидрот. и мелиорации. 1936.

31) Козлов В. С., Расчет дренажных сооружений. Стройиздат, 1940.

32) Кубышкин П. П., Розрахунковий модуль стока для розрахунку осушних систем (рукопис), Укр. н.-и. ин-т гидрот. и мелиорации, 1939.

33) Кубышкин П. П., Режим грунтовых вод на болоте Чайка (рукопись). Кафедра мелиорации Киевского гидромелиоративного ин-та.

34) Кирсанов А. Т., К вопросу о сложении водного режима на осушенном торфянике и о влиянии этого режима на развитие растительности. Труды Минской болотн. опытной станции, № 4.

35) Масютин Н. Н., Отчеты о научно-исследовательской работе Буровского болотного опытного поля за 1934—1939 г.г. (рукописи).

36) Оношко Б. Д., Культура болот. Москва, 1934.

37) Очерк работ западной экспедиции по осушению болот. СПБ, 1899.

38) Поморский Ю. Л., Методы биометрических исследований. Ленинград, 1935.

39) Писарьков Х. А., Дренаж в условиях крайнего севера. Сев. н.-и. ин-т гидрот. и мелиорации, вып. II, Ленинград, 1937.

40) Писарьков Х. А., Сравнительная оценка некоторых способов определения коэфициентов фильтрации. Север. н.-и. институт гидротехники и мелиорации, вып. 2, 1937.

41) Паляничко С. А., Отчет о научно-исследовательской работе Сульского опорного пункта за 1934—1936 г.г. (рукописи).

42) Паляничко С. А., То же Панфиловского опорного пункта за 1937—1939.

43) Паляничко С. А., Культура прядивних рослин на болотах Українського Полісся. Укр. н.-д. ін-т гідрот. і меліорації, вип. II, 1936.

44) Ридигер В. Р., Осушение болот испарением. „Журнал мелиорация и торф", № 2, 1931.

45) Савкин П. С., Вопросы земледелия на торфяных болотах. Труды Новгородской опытной станции, вып. XII.

46) Савкин П. С., Вопросы земдеделия на торфяных болотах. Труды Новгородской опытной станции, 1928.

47) Сельскохозяйственная гидрометеорология, под редакцией проф. Орлова А. В., Ленинград, 1938.

48) Середа Н. И., Роль глубины рыхления в регулировании водно-воздушного режима торфяных почв алкалитрофного типа (рукопись), Укр. н.-и. институт гидрот. и мелиорации, 1939.

49) Социалистическое земледелие на осушенных болотах. Всес. н.-и. институт болотного хозяйства, 1936.

50) Тюленев М. О., Засоби підвищення врожайності на торфяних грунтах Рудня-Радовельской оп. станции, вып. VI, 1929.

51) Тюленев М. О. и Паляничко С. О., Перспективи розвитку культури конопель на болоті Рудня-Радовельської станції, вып. VII, 1930.

52) Тюленев М. О., Зведення результатів роботи болотних опорних пунктів в УРСР. Укр. н.-д. Ін-т гідрот. і меліорації, вып. I, 1936.

53) Тюленев М. О., Культура цукрових буряків на торфяних грунтах (рукопис).

54) Тарасов Г. И., Материалы по изучению мелиораций западной области. Зап. обл. мел. станция, вып. II, 1929.

55) Черкасов А. А., Гидротехническая мелиорация. Москва, 1936.

56) Черкасов А. А., Мелиорация и сельскохозяйственное; водоснабжение. Москва, 1939.

57) Шевченко Н. Н., Отчеты о научно-исследовательской работе Подставского опорного пункта за 1934—1935 г.г.

58) Эркин Г. Д., Новый метод определения расстояний между дренами при осушении торфяных и минеральных почв. Минск, 1934.

59) Эркин Г. Д., Осушение заболоченных аллювиальных почв. Освоение заболоченных земель. Всес. н.-и. институт болотного хозяйства, 1937.

60) Эркин Г. Д., Водопроницаемость болот в связи с их осушением. Всес. н.-и. институт болотного хозяйства, 1940.

61) Эйхе Э., Сельскозяйственное использование болот и заболоченных земель. Смоленск, 1936.

62) Янголь А. М., Режим грунтових вод на осушеному болоті залежно від штучних та природних факторів. Рудня-Радовельськая станция, вип. VI, 1929.

63) Янголь А. М., О нормах и степени осушения на болотах Укр. Полесья. Лит. сборник Укр. н.-и. ин-та гидрот. и мелиорации, 1934.

64) Янголь А. М., Меліорація орних земель Полісся (в межах УРСР). Укр. н.-и. ин-т гидрот. и мелиорации, выпуск III, 1936.

65) Янголь А. М., Осушення болот відкритими канавами. Инструкция по эксплоатации осушительных систем и осушенных площадей. Укр. н.-и. институт гидротехники и мелиорации НКЗ УССР, Киев, 1938.

66) Янголь А. М., Кротовый дренаж в торфяном грунте. Доклады Всесоюзной Академии с.-х. наук им. Ленина, № 12, 1940.

67) Янголь А. М., Результаты исследований кротового дренажа на болоте (рукопись), Укр. н.-и. институт гидрот. и мелиорации, 1939.

68) Ostromecki, Zarys metody okreslania rozstaw urządzeń melioracyjnych w torfowiskach. Сарновская болотная опытная станция 1937.

СПИСОК

изданий Украинского Научно-Исследовательского института гидротехники и мелиорации и его предшественников за время 1922—1940 г.г.

I. ТРУДЫ ЮЖНОЙ ОБЛАСТНОЙ МЕЛИОРАТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ (ЮОМО).

1. ВЫПУСК I. Стр. 64, 1922 г.

Содержание: *Танфильев Г. И.* — Климат и растительность юга России. *Гапонов Е. К.*—Рельеф и подземные воды юга Украины. *Пиотровский А. И.*— Почвы юга Украины. *Фаворин Н. Н.*—Отчетные данные ЮОМО за прошлые годы и план работ на 1923 г. *Кортацци А. И.*—Проблема ирригации юга России и оазисное орошение. *Арканов Б. С.*—Одесские поля орошения. *Петровский П. А.*—Частичное оазисное орошение. *Кортацци А. И.* Обзор существующих мелиораций. *Евневич А. А.*—Обзор работ сельско-хозяйственного опытного дела на юге Украины. *Ярошевский А. М.*—Опытные данные по мелиорации днестровских плавен. Хроника.

2. ВЫПУСК II. Стр. 111, карт 3., 1923 г.

Содержание: *Фаворин Н. Н.*—Работы ЮОМО в 1923 г. и план на 1924 г. *Кортацци А. И.*, *Попов В. М.* и *Гапонов Е. А.*—Программа исследовательских работ на Сагайдакской опытно-мелиоративной станции в 1924 г. *Петровский П. А.*—Орошаемый участок при Херсонском сельско-хозяйственном опытном поле. Данные опытов 1923 г. *Фаворин Н. Н.*—Орошаемые хозяйства юга Украины. *Петровский П. А.*—Потеря от просачивания в оросительных системах Херсонского района. *Кортацци А. И.*—Экстенсивное орошение механическим поливом. *Пиотровский А. И.*—Почвы Сагайдакской опытной мелиоративной станции Елисаветградского округа Одесской губернии. *Гапонов Е. А.*—Гидрогеологический разрез через Тирасполь, Николаев и Качкаровку. *Попов В. М.*—Режим реки Ю. Буга и возможность использования ее энергии. *Ярошевский А. М.*—Опытные данные мелиорации днестровских плавен, часть II. *Бесчастнов М. Ф.*—Оползни Одесского побережья, их причины и меры борьбы. *Кортацци А. И.*—Из итогов мелиоративных исследований 1923 г.: 1) по вопросам оро-

шения; 2) о мелиорации приднестровских песков; 3) об изменении течения р. Днестра.

3. Попов В. П.—Результаты работ и исследований на Южно-Бугской Гидрометрической станции. Стр. 30, табл. 9, рис. 6, карт. I, 1924 г.

4. Ярошевский А. М.—Гидрологические особенности низовьев реки Днестра и методы грядущей мелиорации днестровских плавен и террас. Стр. 43, черт. 5, карт 1, 1924 г.

5. Петровский П. А.—Современное состояние оазисного орошения на юге Украины. Стр. 51, рис. 18, 1926 г.

6. Пиотровский А. И.—Почвы Нижне-Днепровских песков. *Климентов Л. В.*—К характеристике растительности Нижне-Днепровских песков. Стр. 87, рис. 5, карт. 2, 1926 г.

7. Двойченко П. А.—Артезианские воды и колодцы Мелитопольского округа. Стр. 148, геологич. профилей 6, 1928 г.

8. Двойченко П. А.—Артезианские воды и колодцы Мелитопольского округа. Часть II, стр. 88, гипсометрич. и гидрогеолог. карта 1, 1928 год.

9. ВЫПУСК IX.—Стр. 128, табл. 31, фото 4, карт 3, 1928 год.

Содержание:—*Абросимов А. Ф.*—К проблеме сельского водоснабжения в южной степной полосе. *Абросимов А. Ф.*—Опыт машинного бурения в условиях степи юга Украины. *Пиотровский А. И.*—Сельское водоснабжение юга Украины. *Гапонов Е. А.*—Строение и возраст левобережной днепровской террасы с. Балки—Б. Знаменки. *Кортацци А. И.*—Основные моменты ирригации Украины и Днепрострой. *Танфильев В. Г.*—Пойменные районы реки Ингула и их растительность. *Мясковский Б. В.*—О некоторых особенностях геологического строения порожистого Приднепровья в пределах Запорожского округа по гидро-геологическим исследованиям 1927 года. *Голоносов П.*—Заметка о постройке бурового колодца в окрестностях гор. Херсона.

10. Попов В. М.—Режим реки Южный Буг. Стр. 73, табл. 33 фото 6, черт. 12, 1928 г.

11. Алексеев А. К.—Гидрогеологические исследования долины, реки Ингульца. Стр. 108, фото 34, гидрогеол. карта 1, профиль 1, 1928 г.

12. Ефетов Ф. С.—Відрядні норми переведення лісокультурних та лісомеліоративних робіт на півдні України. Стор. 33, 1928 р.

13. Гапонов Е. А.—Каталог буровых скважин и гидрогеологическая карта юго-западной части Украины. Стр. XXIV + 151, карта 1, 1928 г.

14. Попов В. М.—К вопросу о поверхностном стоке реки Саксагани и верховьев р. Ингульца. Стр. 50, 1929 г.

15. Двойченко П. А.—Гидрогеологический очерк Северной Таврии, восточной части Причерноморской впадины. Стр. 176, 1930 г.

II. ТРУДЫ СЕВЕРНОЙ ОБЛАСТНОЙ МЕЛИОРАТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ (СОМО)

16. Инструкция по определению расходов на водоспусках и в свободном русле реки (в условиях изысканий), 1927 г.

17. Техническая инструкция по установке высотомерного приспособления при гидроустановках. Стр. 15, 1927 г.

18. Схеми до постановки досвідно-показових участків по культурі болот і луків та коротка інструкція щодо закладки їх. 1927 р.

19. Розов Н. А.—Овраги Украины: *Кожин А. Ю.*—Пески Украины. Стр. 137, рис. 1, фото 11, карт 3, 1927 г.

20. Каталог буровых скважин Украины. Вып. 1, составлен *Личковой Е. А.* стр. 192, 1927 г.

21. Каталог буровых скважин Украины. Вып. II, ч. I составлена *Личковой Е. А.*, ч. II—*Федоровским. А. С.*, стр. 295, карт 3 1930 г.

22. Каталог свердловин Украины. Вып. III, составлен *Личковой Е. И.*, стр. 183, 1930 г.

23. Буренін Г. С.—Планшет 30-Г гідрогеологічної карти України з текстом до нього. 1930 р.

24. Буренін Г. С.—Планшет 31-Б гідрогеологічної карти України з текстом до нього. 1929 р.

25. Буренин Г. С.—Планшет 45-В гидрогеологической карты Украины с текстом и гидрогеологическим разрезом к нему. 1929 г.

26. Лучицький В. І.—Планшет 46-А гідрогеологічної карти України з текстом до нього. 1930 р.

27. Лучицький В. І.—Планшет 46-В гідрогеологічної карти України з текстом до нього. 1930 р.

28. Проф. Лучицький В. І. та проф. Лічков Б. Л.—Карта гідрогеологічних районів України з двома гідрогеологічними розрізами та гідрогеологічним описом до неї. 1930 р.

29. Тюленев М. О.—Корінне поліпшення болот Полісся в зв'язку з підвищенням врожайності. Сторінок 52, рис. 8, 1930 рік.

III. НИЖНЕ-ДНЕПРОВСКАЯ ОПЫТНО-ОРОСИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ.

30. Ротмистров В. Г.—Опыты с новыми культурами в 1927 г. Стр. 17, 1928 г.

31. Отчет Брилевской опытно-оросительной станции за 1929 г. Стр. 112, диагр. 9, фото 6, 1930 г.

IV. РУДНЯ-РАДОВЕЛЬСКАЯ БОЛОТНАЯ ОПЫТНАЯ СТАНЦИЯ.

32. Тюленев Н. А.—История возникновения задачи, программа и первые достижения Рудня-Радовельской Болотной Опытной Станции. Стр. 65, 1926 г.

33. Тюленев Н. А. и Келль М. Г.—Итоги работы Рудня-Радовельской Болотной Опытной Станции 1923—1926 г.г. Стр. 178, рис. 17, черт. 8, 1927 г.

34. Тюленев М. О.—Що треба робити на болоті і як краще використати його. Стор. 125, 1927 р.

35. Тюленев М. О.—Що можно мати з торфяного болота. Плакат, 1927 р.

36. Годлин М. М.—I. Почвенный покров земельного участка Рудня-Радовельской Болотной Опытной Станции. Питательные ресурсы Рудня-Радовельских торфов. Стр. 39, рис. 1, карта 1, 1928 г.

37. Зеров Д. К.—Опис рослинності Рудня-Радовельської Болотної Досвідної Станції. *Буренін Г. С.*—Гідрогеологічне обслідування території Рудня-Радовельської Болотної Досвідної Станції. Стор. 23, 1828 р.

38. Тюленев М. О.—Засоби підвищення врожайності на торфових грунтах. *Янголь А. М.*—Режим грунтових вод на осушеному болоті залежно від штучних та природніх факторів. Стор. 102, малюн. 21, рис. 7, 1929 р.

39. Тюленев М. О. і Паляничко С. О.—Перспективи розвитку конопель на болоті. Стор. 31, 1930 р.

40. Кубишкін П. П.—Гідрологічне дослідження водозбору в межах від залізниці Коростень—Олевськ і в гору по головному Замисловицькому каналові до його водорозділу. Стор. 30, 1930 р.

V. ТРУДЫ АЛЕШКОВСКОЙ ПЕСЧАНО-МЕЛИОРАТИВНОЙ ОПЫТНОЙ СТАНЦИИ.

41. ВЫПУСК 1.—Стр. 54, кар. 1, 1928 г.

Содержание:—*Топчевский А. В.*—Алешковские или Нижне-Днепровские пески Херсонского округа УССР и цели организации Алешковской песчано-мелиоративной опытной станции. *Топчевский А. В.*—Перспективы деятельности п-м. опытной станции. *Шейнвальд М. А.* Отдел гидрогеологии. *Журбина Л. И.*—Отдел агрономических мероприятий. *Топчевский А. В.*—Отдел лесоводства. *Костенко Н. К.*—Отдел энтомологии.

42. Костенко М. К.—Вплив парадихлорбензолу на гробачків мармурового хруща (Polyphylla fullo L) в залежності від часу внесення його до грунту. Стор. 27, мал. 3, 1928 р.

43. Костенко М. К.—Досвід боротьби з гробачками мармурового хруща (Polyphylla fullo L) на Нижньо-Дніпровських пісках способом затруєння грунту поліхлоридами. Стор. 28, фото 5, 1930 р.

VI. ПРИДНЕСНЕНСКАЯ ОПЫТНО-ОВРАЖНАЯ МЕЛИОРАТИВНАЯ СТАНЦИЯ.

44. Магомедов А.—Задачи и программы Приднесненской опытно-овражной мелиоративной станции и основы овражного вопроса. Стр. 47, рис. 5, 1930 г.

45. Магомедов А.—Главнейшие климатические элементы района Приднесненской опытной станции. Стр. 27, рис. 11, 1930 г.

VII. КОЗАРОВИЧСКАЯ ОПЫТНО-МЕЛИОРАТИВНАЯ ЛУГОВАЯ СТАНЦИЯ.

46. Еленевские Р. А. и Е. В.—Геоботанический очерк заливных лугов Козаровичской поймы р. Днепра. Стр. 48, рис. 12, карт 4, 1927 г.

47. Годлин М. М.—Почвенный покров Козаровичской поймы р. Днепра. Рис. 3, карт. 4, 1927 г.

48. Годлин М. М.—Профильно-послойное распределение водно-растворимых азота и фосфора в луговых почвах Козаровичской поймы р. Днепра. Диаграмм 1, 1927 г.

VIII. ТРУДЫ УКРАИНСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕЛИОРАЦИЙ (ВУИМ)

49. ВЫПУСК 1.—Стр. 319, рис. 24, 1931 год.

Зміст: *Аронсон Д. А.*—Передмова. Проф. *Кортацці.*—Зведення дослідів у зрошенні. *Ефетов Ф. С.*—Досвід обслідування лісових полезахисних смуг. *Шейнвальд М.*—Гідрологічні умови Н-Дніпровських пісків.

50. Проф. Розов М. А.—Меліоративні заходи Одеської області на другу п'ятирічку. Стор. 16, 1932 р.

51. Проф. Розов М. А.—Побудова перспективних планів меліорацій. Стор. 12, 1932 р.

52. Корнільев В. С.—До питання про побудову річних планів меліоративних робіт. Стор. 8, 1932 р.

53. Зиненберг, Листовський, Орлова, Попов, Портной, Самохваленко.—Використаймо найкраще зрошувальні системи. Стор. 24, мал. 2. 1933 р.

54. Обзор работ—Вып. 1—2. Стр. 129, 1934 г.

Содержание:—*Соколовский С. В.*—Сводка результатов опытных работ по технике полива на Украине за 1931—1933 г. *Алпатьев С. М.*—К вопросу о схеме организации территории опытно-мелиоративных станций, специализирующихся на полевых и огородных культурах. *Корнильев В. С.*—Разработка проблемы мелиорации как части проблемы большого Днепра. *Кліжовський П. І.*—Запровадження ліманного зрошення на порядок дня. *Зиненберг М. С.* и *Портной С. И.*—Обзор работ ВУИМ'а по вопросу рациональной эксплоатации оросительных систем. *Яцко Я. Н.*—Краткая сводка работ по дождеванию. Проф. *Тюленев М. О.*—Зводка наслідків роботи болотних опірних пунктів УРСР за першу п'ятирічку. *Гавриш П., Гугель В., Тюленев М.*—До питання про стан освоения площ, осушених на Україні на кінець першої п'ятирічки. *Келль Н. Г.*—Определение степени осушения болот методами гидрофизики. *Янголь А. М.*—О нормах и степени осушения на болотах Украинского Полесья. *Тюленев М. О.*—Використання торфових площ під кормові вгіддя (сіяні луки та пасовиська).

Корнильев В. С.—Программа курсов экономики мелиораций. *Петрунь Ф. О.*—Основні елементи меліоративної карти УРСР.

55. Петровский П. А.—Краткий отчет о главнейших опытах, произведенных на орошаемом участке в 1925 г. Стр. 14.

IX. ТРУДЫ УКРАИНСКОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ (УНИИГиМ)

56. Тюленев М. О.—Зведення результатів роботи болотних опорних пунктів УРСР. Стор. 77, 1936 р.

57. Поляничко С. О.—Культура прядивних рослин на болотах Українського Полісся. Стор. 63, рис. 5, 1936 р.

58. Буданов М. Ф. і Трусов Г. М.—Оцінка води для водопою худоби. Стор. 32, 1936 р.

59. Алпатьев С. М. і Самохваленко С. К.—Досліди з городніми культурами при зрошенні в степовій частині басейну р. Дніпра. Стор. 85, грф. 15, 1936 р.

60. Алпатьев С. М.—До питання про організацію польового досліду при експериментально-зрошувальних дослідженнях. Стор. 27, рис. 3, 1935 р.

61. Соколовський С. В.—Полив борознами затоплення городніх культур. Стор. 40, рис. 21, 1936 р.

62. Славов В. Ф.—Колгоспний досвід зрошування цукрових буряків на Україні в 1936 р. Стор. 75, рис. 7, 1938 р.

63. Огляд праць.—Вып. III. Стор. 131, рис. 17, 1936 р.

Зміст: *Гойхман А. Г.*—Зрошення рису перервним затопленням, *Яцько А. Н.*—Короткі підсумки науково-дослідної роботи УНДІГ і М'у по дощуванню. *Буданов М. Ф.*—Зрошення шахтними водами на Донбасі. *Шкарупо В. О.*—Досліди по боротьбі з фільтрацією в каналах. *Янголь А. М.*—Меліорація орних земель Полісся (в межах УРСР). *Семко П. Т.*—До питання про разроблен методики складання схематичного проекту водопостачання МТС Проф. *Гапонов Е. А.*—Перспективи використання артезіанськи вод для зрошення. *Гончар Г. Я.*—Причини заболочування доли річок півдня України. *Мальований Е. Т.*—До питання про терас р. Кучурган. Проф. *Попов В. М.*—Дослідження формул, що визначають середню швидкість руху води в річці. *Семко П. Т.*—Підсумки водно-земельних меліорацій в УРСР. *Семко П. Т.*—До питання про проведення інвентарізації та запровадження поточного постійного обліку водно-земельних меліоративних заходів на Україні. *Петрунь Ф. О.*—Про складання карти сільсько-господарських водно-земельних меліорацій УРСР.

64. Доцент Козлов В. С.—Розрахунок дренажних споруд. Стор. 140, рис. 32, 1936 р.

65. Соколовский С. В.—Методы гидравлических и статических расчетов земляных плотин. Стр. 127, рис. 37, 1940 г.

66. *Буданов М. Ф.*—Мелиорация солонцов и солонцовых почв УССР при орошении. Стр. 124, рис. 14, 1940 г.

67. *Шкарупо В. А.*—Борьба с фильтрацией воды из оросительных каналов. Стр. 35, рис. 22, 1940 г.

ВЫХОДЯТ ИЗ ПЕЧАТИ:

68. *Климовский П. И.*—Орошение хлопчатника на юге УССР.

69. *Михаловский А. И. и Славов В. Ф.*—Орошение сахарной свеклы на Украине.

70. *Янголь А. М.*—Степень осушения торфяных почв и ее расчетные элементы.

71. *Семко П. Т.*—Перспективы развития водно-земельных мелиораций в УССР.

72. СБОРНИК материалов по сельскохозяйственному водоснабжению и гидрогеологии.

Содержание—*Малеванный Е. Т., Гончар Г. Я., Гусак И. В. и Гребенников П. С.*—К использованию артезианских вод левобережья нижнего Днепра для орошения хлопчатника. *Гончар Г. Я.*—Геологічний та гідрогеологічний нарис Чонгарського півострову. *Малеванный Е. Т.*—К вопросу о строении Бучакской мульды. *Мальований*—Підземні води району м. Херсону та переспективи використання їх для потреб водопостачання. Проф. *Гапонов В. А.* и *Малеванный Е. Т.*—К вопросу о минерализации воды палеогеновых горизонтов Причерноморской впадины. *Гусак П. В.*—Основные вопросы рационализации водоснабжения зерносовхозов.

73. *Малеванный Е. Т.*—Геологическое строение и подпочвенные воды восточной части Днепропетровской области.

74. *Соколовский С. В.*—Проектирование траншейного водослива в легко размываемых грунтах.

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ:

1. СБОРНИК трудов УНИИГиМ'а за 1939 г.

2. *Проф. Келль И. Г.*—Осушение торфяного грунта.

3. *Проф. Ярошевский А. М.*—Проблемы мелиорации плавен:

1. Днестровские плавни.

Книги высылаются Украинским Научно-Исследовательским институтом гидротехники и мелиорации (г. Одесса, бульвар Фельдмана, 7) наложенным платежом по получении заказа.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел первый

Раздел второй

Теоретические и опытно-экспериментальные исследования степени осушения болот

Раздел третий

Основные расчетные элементы степени осушения по опытным данным

Цена 8 р. 35 к.