

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДРЕНАЖА В СЛАБОПРОНИЦАЕМЫХ СУГЛИНКАХ**

**Э.Н. Шкутов**, кандидат технических наук,

**В.П. Иванов**, кандидат технических наук,

**Т.И. Русак**, научный сотрудник,

**Д.В. Лодыга**, аспирант

РУП «Институт мелиорации»

г. Минск, Беларусь

### **Аннотация**

В статье изложены результаты физического моделирования работы перспективных конструкций дренажа в слабопроницаемых суглинках. Сравнение эффективности проводилось по двум показателям: быстрдействию варианта (имитация отвода ливневых осадков на фоне длительного влажного периода) и максимальному водоотводу при непрерывных осадках. Получены ранжированные ряды индекса относительного быстрдействия и максимальных отводимых вариантами дренажа осадков. Лучшим по двум показателям является вариант с фильтрующей засыпкой до поверхности почвы.

**Ключевые слова:** моделирование работы дренажа, слабопроницаемые почвогрунты

### **Abstract**

**E.N. Shkutov, V.P. Ivanov, T.I. Rusak, D.V.**

**Lodyga**

### **PHYSICAL MODELING OF OPERATING OF EFFICIENT DRAINAGE CONSTRUCTION IN WEAKLY PERMEABLE LOAM**

The article presents the results of physical modeling of operating of efficient drainage construction in weakly permeable loam. The efficiency was compared according two indicators: the performance of construction (imitation of withdrawal of storm precipitation during long wet period) and maximum withdrawal during continuous precipitation. Ranked series of the index of relative performance and maximum drained rainfall precipitation are obtained. Variant with filtering backfill up to soil surface is recognized as the best.

**Keywords:** modeling of drainage operating, weakly permeable soils

### **Введение**

Значительные площади мелиорированных земель республики представлены суглинистыми почвенно-грунтовыми комплексами (около 507,2 тыс. га, 16,7%). Они, как правило, имеют малую, к тому же динамично по времени и по площади изменяющуюся водопроницаемость (на порядок и более), зависящую от погодных и техногенных факторов [1,2,3,4,5]. Эта стохастическая изменчивость основных факторов, определяющих при проектировании конструктивные особенности и параметры осушительной сети, обуславливает непрекращающиеся дискуссии мелиораторов о том, какой по видам и параметрам должна быть мелиоративная сеть на слабопроницаемых грунтах.

Если обобщить имеющуюся информацию по данной проблематике, то в качестве бесспорных можно отметить следующие моменты:

- всеми признана необходимость качественной организации поверхностного стока, либо каналами или ложбинами по поверхности, либо переводом его части в дренаж водопоглощающими сооружениями [6].

- наблюдающиеся отказы мелиоративных систем, построенных на суглинистых почвогрунтах, связаны с недостатками конструкций, размещением по площади и количеством построенных сооружений.

- широкий разброс мнений исследователей, вплоть до вопросов о самой целесообразности применения дренажа на таких почвах, эффективных глубинах закладки дрен, междренних расстояний и других параметров дренажа, связан со свойствами рассматриваемых почвогрунтов набухать в случае длительного увлажнения, растрескиваться в сухие периоды и частично закреплять сформировавшуюся структуру корневыми системами растений. При этом водно-физические свойства почвенногрунтового профиля могут изменяться настолько, что даже один и тот же исследователь, на одном опытном участке, но в разные годы получает диаметрально противоположные выводы по эффективности исследуемых вариантов дренажа [5].

В таких условиях только часть исследователей считает, что варианты дренажа, учитывающие статистические показатели водопроницаемости пахотных

и подпахотных горизонтов конкретного объекта, могут обеспечить экономическую эффективность его применения, в т.ч. с дополнением дренажа водопоглощающими сооружениями (в основном существующие нормативы проектирования основаны на таком подходе).

В Республике Беларусь и за ее пределами были проведены значительные объемы исследований, на основе которых были разработаны нормативы и построены мелиоративные системы на площадях с суглинистыми и глинистыми слабопроницаемыми почвогрунтами. Однако зачастую возникают периоды с условиями, препятствующими ведению механизированного сельскохозяйственного производства из-за непроходимости полей для почвообрабатывающей или уборочной техники, что вызывает обоснованное недовольство землепользователей. Эти периоды приводят к значительным потерям продуктивности мелиорированных земель и соответственно уменьшают эффективность инвестиций в гидромелиорацию.

Если в остальное время со среднестатистическими погодными условиями потери продуктивности не столь значительны на большинстве вариантов осушительной сети, то возможно, при проектировании конструкций дренажа необходимо сместить акцент на противодействие экстремальным погодным условиям, отдавая при этом предпочтение конструкциям дренажных систем, обеспечивающим отведение поверхностных вод, а не почвенного фильтрата [7, 8]. Имеются в виду системы на базе дренажосборителей, эффективно отводящих поверхностную воду в дренажную сеть.

По этому вопросу также имеются материалы многочисленных экспериментальных исследований [3, 6]. Однако разброс почвенных и изменчивость погодных условий в полевых экспериментах обычно приводят к неопределенным выводам. Поэтому в данной работе было решено использовать физические модели с целью получения однозначно объясняемых результатов.

На моделях затруднительно получать данные, достоверные для всех природных и техногенных условий. Однако вполне возможно проведение сравнительных оценок эффективности различных конструкций дренажа, не искаженных неопределенностью условий полевых опытов.

Полученные результаты в дальнейшем могут использоваться для увеличения адекватности имитационных цифровых моделей, на которых возможно рассмотрение несравнимо большего числа вариантов, чем в полевых и даже лабораторных экспериментах с физическими моделями дренажа.

Таким образом, в данной статье рассматриваются результаты физического моделирования работы в экстремальных погодных условиях нескольких вариантов конструкций дренажа для суглинистых почвогрунтов. Цель работы – получение численных значений параметров процесса водоотведения исследуемыми конструкциями дренажа в гарантированно идентичных условиях для сравнительной оценки их функциональной эффективности.

**Средства и методика исследований.** Для сравнения эффективности наиболее перспективных вариантов рассматриваемых конструкций дренажа для суглинистых грунтов использовались три металлические емкости с внутренними размерами 2000x1000x500 мм. Каждая емкость разделялась металлической перегородкой, которая выделяла метровые отсеки по длине, в которых размещался метровый отрезок моделируемой дренажной линии. Таким образом, исследовались 6 вариантов метровых отрезков различных конструкций дренажа. На рисунке 1 приведен общий вид площадки и грунтовых лотков использованных при моделировании работы дренажа.



**Рисунок 1.– Общий вид на площадку с грунтовыми лотками, в которых заложены модели различных конструкций дренажа и траншейных засыпок в условиях суглинистых грунтов, типичных для Глубокского района Витебской области**

Лотки размещались под открытым небом, поскольку одним из исследуемых вопросов было влияние корневой системы выращиваемой растительности (масличная редька) на эффективность работы дренажа. Поэтому помимо регистрации основных параметров моделируемого процесса (расходов поступающей воды и дренажного стока) в ходе исследований фиксировались и погодные условия, как сопутствующие и косвенно (а временами и непосредственно) влияющие на работоспособность дренажа.

Лотки были заполнены грунтом, привезенным с мелиоративного объекта «Коробы» Глубокского района Витебской области. Пахотный и подпахотный горизонты отбирались, доставлялись и укладывались в модели раздельно, согласно своему положению по вертикали и мощности. Коэффициент фильтрации грунта в естественном состоянии составлял 0,2 м/сут. Таким образом, согласно принятым в мелиоративной отрасли РБ классификации грунты относятся к слабопроницаемым ( $< 0,3$  м/сут).

При планировании экспериментов мы отказались от учета фильтрации через пахотный и подпахотный горизонты. Хотя в благоприятных и даже среднесезонных погодных условиях, когда в почвенно-грунтовой профиле образуется значительное количество трещин и других путей фильтрации, боковые притоки через пахотный и подпахотный горизонты могут достигать значительных величин [1,3,5,9,10] и, казалось бы, что их необходимо учитывать при проектировании дренажа, а значит и при моделировании. Однако нашей задачей являлось исследование эффективности конструкций дренажа в экстремальных условиях размокания почвы и подстилающего грунта, максимального набухания глинистых частиц, полного закрытия трещин и других ходов фильтрации. В таких условиях влияние боковой притоки на дренажный сток мало.

Размещение вариантов моделей дренажа в лотках полуметровой ширины исключило влияние боковой притоки фильтрата на результат оценки водопримной способности различных вариантов дренажа в условиях экстремального переувлажнения почвенно-грунтового профиля мест применения.

Принятое упрощение модели позволило

- сделать модель «лабораторной», т.е. практически реализуемой в рамках наших временных, физических и финансовых возможностей;

- исключить влияние фактически стохастического компонента – водопроницаемости пахотных и подпахотных слоев почвогрунтов междурья, представив возможность измерять только вертикальную фильтрацию через исследуемые варианты засыпок и элементы исследуемых конструкций дренажа;

- значительно сократить продолжительность модельных экспериментов.

При этом сделанное допущение не должно сколько-нибудь значительно влиять на сравнительную оценку функциональности сравниваемых вариантов. Ведь боковой приток, при прочих равных, в идентичных погодных, почвенных и агрономических условиях будет практически одинаковым для всех вариантов.

Очень важными и, как выяснилось, трудоемкими оказались мероприятия по устранению граничных эффектов на характер перемещения водных потоков в конструктивных элементах дренажа и почвенно-грунтовых монолитах. Прежде всего, необходимо было достичь показаний естественной плотности суглинка, используемого в моделях. Для этого грунт в лотках весь первый год опыта поддерживался в состоянии повышенной влажности регулярными поливами и ежемесячно проводилась подсыпка почвенного слоя для компенсации осадки поверхности. Кроме того в течение подготовительного периода проводились пробные заливки модели, которые позволяли выявлять нежелательные граничные эффекты в грунте, чаще всего из-за образования трещин.

Оказалось, что в летний период почвогрунт вблизи стенок интенсивно нагревался, быстро подсыхал и интенсивно трескался. При заливках наблюдался очевидный интенсивный поток воды вдоль стенок лотков. Чтобы устранить этот граничный эффект пришлось оклеить лотки снаружи пенопластом (слоем 5 см).

После этого почвогрунтовой массив в лотках в течение года достиг состояния, идентичного монолиту грунта над дренажом в полевых условиях. Его состояние примерно соответствовало условиям в дренажных траншеях, спустя 3-5 лет после закладки дренажа. Трещины и пустоты вдоль границ дренажной траншеи отсутствовали, и фильтрационные потоки по всему сечению почвенно-грунтового монолита моделей были однородными.

При выборе перспективных вариантов устройства дренажа были использованы опубликованные данные о работе различных конструкций дренажа, полученные в СССР и других странах [3, 6]. Кроме того, были приняты во внимание экспериментальные данные, полученные РУП «Институт мелиорации» на опытных участках, построенных на слабопроницаемых ( $K_f < 0,3$  м/сут), набухающих почвогрунтах тяжелого гранулометрического состава [6].

Собранная информация (публикации, опытные участки) показала наличие отработанного набора технических и технологических решений, в т.ч. с применением бестраншейных дренажных конструкций, которые обеспечивают функционально перспективные решения по управлению водным режимом во всех типичных для республики почвенно-гидрогеологических условиях, в т.ч. и на слабопроницаемых суглинистых грунтах с коэффициентом фильтрации  $< 0,3$  м/сут.

Таким образом, сравнительную оценку по эффективности водоотвода проводили на физических моделях со следующими вариантами конструкций дренажа (полиэтиленовая гофрированная трубка АББ3 мм с защитно-фильтрующей обмоткой).

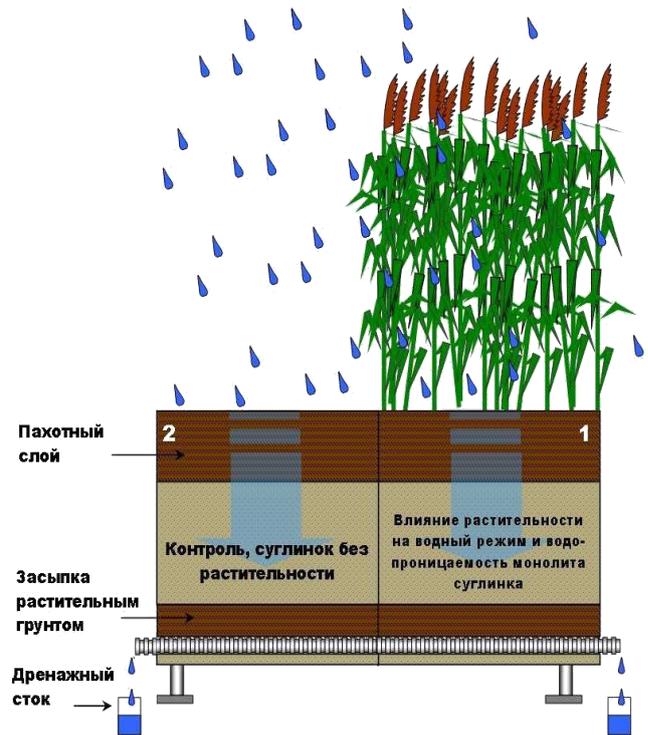
- Базовый, лоток № 2 (Л-2). Дренаж, заложенный траншейным экскаватором с засыпкой на 20 см почвенным слоем с поверхности. Поверхность лотка свободна от растительности.

- Лоток № 1 (Л-1). Те же условия, что и в лотке № 2, но поверхность лотка занята посевом редьки масличной.

В паре лотков № 1 – № 2 не столько проверялась рабочая гипотеза, что с помощью растительности можно на длительное время закрепить структуру дренажной засыпки и обеспечить ее приемлемую водопроницаемость на слабопроницаемых суглинистых почвогрунтах, сколько оценивались численные значения проницаемости и водопроницаемости обычного дренажа при возделывании культур с развитой корневой системой.

Схема опыта в лотках № 1 и № 2 представлена на рисунке 2. Детали устройства всех физических моделей представлены на схемах.

- Лоток № 3 (Л-3). Дренаж заложен бестраншейным дренажным клапаном. Щель от ножа заполнена проницаемой засыпкой (торф  $K_f = 1 \div 2$  м/сут) до поверхности.



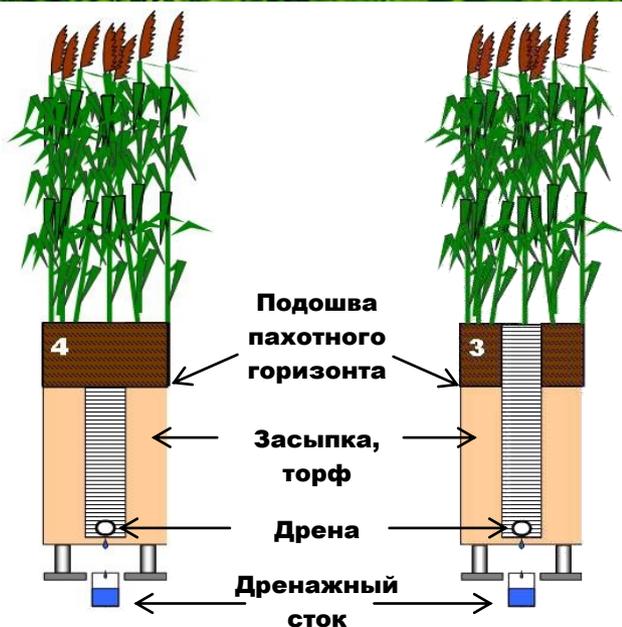
**Рисунок 2. – Исследование влияния растительности на водопроницаемость суглинистой дренажной засыпки**

- Лоток № 4 (Л-4). Условия аналогичны опыту в лотке № 3, но щель от ножа заполнена проницаемой засыпкой (торф  $K_f = 1 \div 2$  м/сут) до подошвы пахотного горизонта (30 см от поверхности).

Также и в паре лотков № 3 – № 4 при имеющихся данных о положительном эффекте вывода фильтрующих засыпок на поверхность почвы, проверялись численные оценки водопроницаемости бестраншейного дренажа при выводе фильтрующей засыпки (коэффициент фильтрации засыпки  $1 \div 2$  м/сут) щели от бестраншейного дренажного клапана на поверхность. Схема опыта в лотках № 3 и № 4 представлена на рисунке 3.

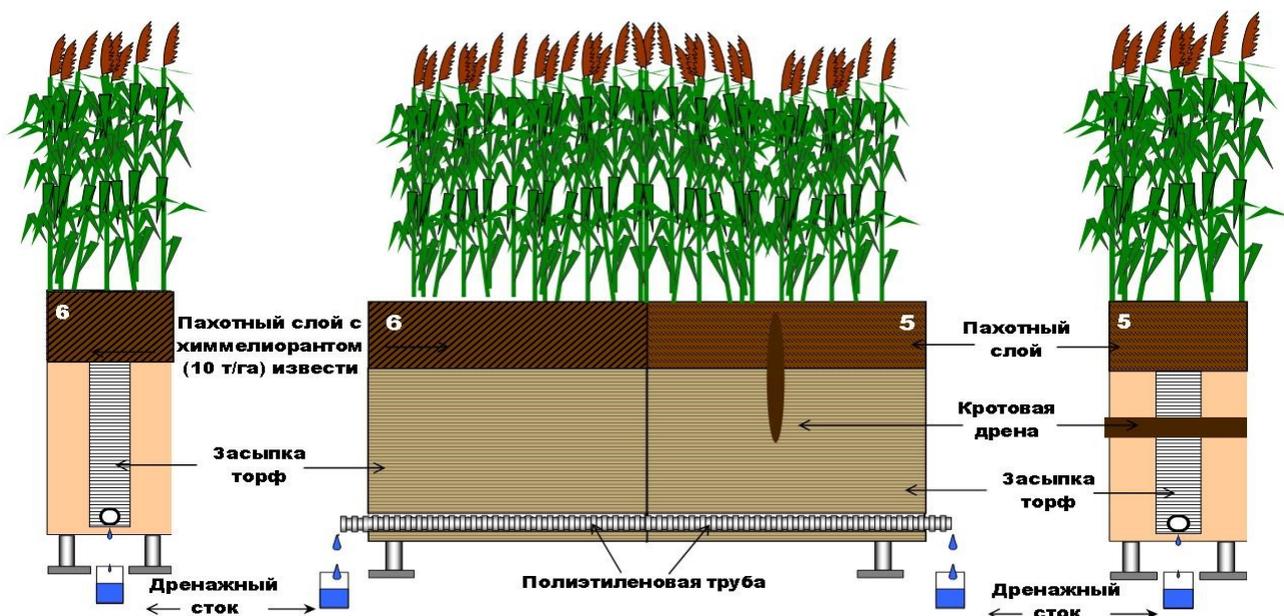
- Лоток № 5 (Л-5). Имитировалась работа комбинированного дренажа. Полиэтиленовая дренажная трубка заложена бестраншейным дренажным клапаном, щель от ножа заполнена водопроницаемой засыпкой (торфом) до подошвы пахотного горизонта. Кротовая дренажная трубка вводится в водопроницаемую засыпку.

- Лоток № 6 (Л-6). Полиэтиленовая дренажная трубка заложена бестраншейным дренажным клапаном, щель от ножа заполнена водопроницаемой засыпкой (торфом) до подошвы пахотного горизонта. В пахотный горизонт внесена негашеная известь (из расчета дозы в 10 т/га).



**Рисунок 3. – Исследование влияния проницаемости пахотного горизонта и высоты фильтрующей засыпки борозды от бестраншейного дренажника на водоприемную способность дренажа**

В паре лотков № 5 – № 6 оценивалась эффективность наиболее перспективных (по данным публикаций) конструкций бестраншейного дренажа, которые должны обеспечить качественное, экономически эффективное осушение слабопроницаемых суглинистых почвогрунтов. Схема опыта в лотках № 5 и № 6 представлена на рисунке 4.



*Л-5 – кротование, Л-6 – известкование пахотного горизонта*

**Рисунок 4. – Исследование эффективности осушения комбинированным бестраншейным дренажем слабопроницаемых суглинистых почвогрунтов и увеличение водопроницаемости пахотного слоя известкованием**

Помимо сопоставления по парам альтернатив сравнение эффективности проводилось и по всему набору вариантов.

Эффективность водоотвода оценивалась по двум экспериментам.

**Опыт 1** – реакция на ливневые осадки. Динамические характеристики определялись по результатам имитации серии (6 шт.) ливневых осадков по 30 мм.

Перед опытами почвенно-грунтовые монолиты приводились в состояние большой увлажненности (имитировалось состояние в ходе длительного дождливого периода), которое определялось по отсутствию на поверхности трещин и после затопления поверхности монолита модели водой, впитывание происходило без выделения пузырьков газа. Затем требовалось количество воды (30 мм) выливалось на поверхность монолита и проводился цикл измерений интенсивности дренажного стока через короткие интервалы времени (5 минут).

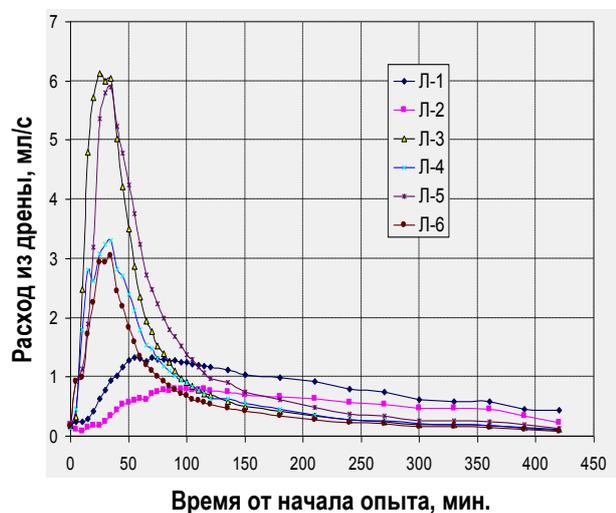
Измерения стока начинались до подачи воды на поверхность монолита, поэтому начало процесса водоотвода было хорошо заметно. После фиксации резкого уменьшения интенсивности дренажного стока интервал измерений увеличивался до 20 минут, по истечении 8 часового периода интервал увеличивался до 30 часов, и последнее измерение цикла проводилось утром следующего дня.

**Опыт 2** – максимальный водоотвод при непрерывных осадках. Количество непрерывных осадков, которое может отвести вариант дренажа, определялось по данным опыта. На поверхность исследуемого варианта подавался расход воды, обеспечивающий затопление поверхности модели на глубину 1 - 2 см. Этот уровень затопления поддерживался достаточно долго для того, чтобы на графике фиксируемого дренажного стока получить 4-5 повторяющихся (в пределах точности опыта) точек расхода отводимой воды.

Эта величина (с учетом площади полосы водосбора, зависящей от междренного расстояния) и является интенсивностью непрерывных осадков, которую может отвести исследуемый вариант дренажа при условии полного отсутствия бокового впитывания в дренажную траншею.

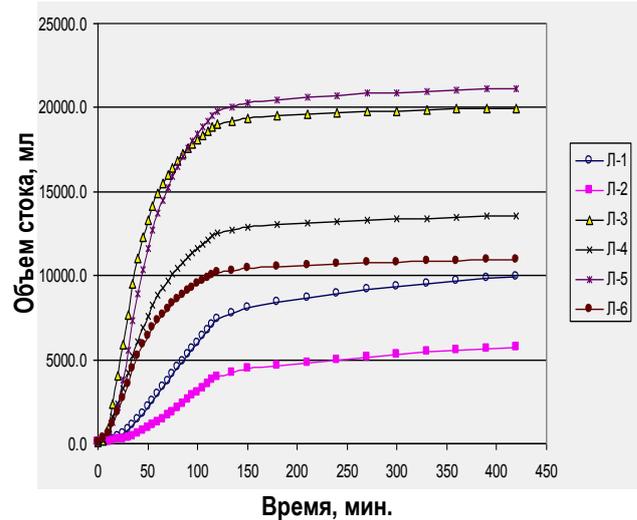
#### Результаты моделирования и их обсуждение

В итоге обработки и обобщения данных по моделированию отвода «ливневых осадков» построены гидрографы дренажного стока по вариантам (рисунок 5). Для оценки количества отводимой воды во времени были построены интегральные кривые величин водоотвода по вариантам (рисунок 6).



**Л-1** – дренаж с растительностью (редька масличная на всех вариантах кроме Л-2); **Л-2** – контроль суглинок, дренаж без растительности; **Л-3** – засыпка щели от ножа торфом до поверхности; **Л-4** – засыпка щели от ножа торфом до подошвы пахотного горизонта; **Л-5** – дрена с засыпкой до пахотного слоя, в которую входит кротовина; **Л-6** – засыпка до пахотного горизонта, выше почва с примесью извести

**Рисунок 5.** – Гидрографы (средние по серии опытов) дренажного стока при различных конструкциях моделей дренажа



**Рисунок 6.** – Средние по серии опытов интегральные кривые дренажного стока по вариантам

По результатам анализа полученных данных моделирования реакции дренажа на выпавшие осадки и возможного применения их при принятии решений по конструкциям дренажной сети на связанных суглинистых почвогрунтах можно отметить ряд моментов.

1. Наиболее динамичная часть переходного процесса водоотведения на всех дренажных линиях, кроме контроля (Л-2) и варианта обычного дренажа с посевами редьки масличной (Л-1), после выпадения осадков укладывается в два часа. Далее процесс водоотдачи из дренажной засыпки переходит в замедленную фазу, которая продолжается более 7 суток.

2. Установить более точно временные параметры всего процесса не представляется возможным, т.к. интенсивность процесса водоотдачи и водоотвода становится меньше перетоков воды в почвенно-грунтовых профилях моделей, возникающих под влиянием погодных факторов. В завершающие этапы опытов амплитуда сигнала «шума» от погодных условий превышает полезный сигнал (влияние посторонних факторов на дренажный сток больше, чем его изменения в ходе отвода «осадков»). Поэтому, в первом приближении, оценка функциональной эффективности рассматриваемых вариантов дренажа проводилась по начальной части кривых переходных процессов.

3. Сравнение в паре Л-1 и Л-2 показало, что культура (редька масличная) с развитой корневой

системой несколько увеличивает быстродействие дренажа по сравнению с вариантом Л-2, но по результатам сравнения с остальными опытами, не настолько, чтобы стать эффективной альтернативой более сложных вариантов дренажных систем.

4. Сравнение в паре Л-3 и Л-4 подтвердило существенное преимущество варианта с выходом проницаемой засыпки на поверхность. Конкуренцию варианту с выходом засыпки на поверхность смог составить только более сложный и очевидно самый дорогой вариант комбинированного дренажа Л-5.

5. Вариант с внесением в засыпку большой дозы негашеной извести (Л-6), во всяком случае, на второй-третий год после внесения никак себя не проявил. Его быстродействие практически равно быстродействию варианта с засыпкой до пахотного горизонта. Это явилось неожиданностью. Согласно опубликованным данным других исследователей [3,5], значительное увеличение проницаемости пахотного горизонта должно было продолжаться минимум три года после внесения.

6. Наименее эффективным в части быстродействия при отводе ливневых вод оказался обычный дренаж (массово применяемый в практике мелиоративного строительства) с засыпкой дренажной трубки растительным грунтом слоем 20 см и поверхностью почвы без растительности (без специальных мероприятий по биологическому образованию и закреплению трещиноватой структуры почвенного профиля).

Для получения численных показателей быстродействия сравниваемых вариантов дренажа использовались результаты аппроксимации интегральных кривых дренажного стока, приведенных на рисунке 6 экспонентами первого порядка.

$$Y(t) = C_0[1 - \exp(-\alpha t)], \quad (1)$$

где  $C_0$  – величина установившегося состояния, в единицах процесса;  $\alpha$  – показатель инерционности процесса;  $t$  – время, мин.

Практика идентификации динамических характеристик систем управления процессами фильтрации воды в грунтах показала практическую эффективность аппроксимации экспериментальных кривых переходных процессов апериодическим динамическим звеном первого порядка [11]. Тестовыми испытательными сигналами являются дельта-функция и ступенчатая функция. Дельта-

функция представляет собой единичный импульс (с определенными допущениями физическим аналогом в контексте рассматриваемой задачи может являться краткосрочный ливень) на входе динамического звена. Результаты реакции системы на такое воздействие представлены на рисунке 5.

Однако решение аппроксимирующего уравнения с дельта-функцией в правой части слишком сложно, чтобы его применять при экспериментальной идентификации динамических свойств объекта. Поэтому используется ступенчатое воздействие, которое по сути представляет собой интеграл от дельта-функции. В определенный момент времени происходит скачек и сохранение входящего воздействия на моделируемую систему. Реакция системы на ступенчатое воздействие приведена на рисунке 6.

Выражение (1) представляет собой решение дифференциального уравнения, описывающего свойства апериодического звена на ступенчатое воздействие. Практической ценностью способа аппроксимации является то, что в уравнении задействован определяемый и имеющий физический смысл параметр – показатель инерционности процесса.

$$\alpha = 1/T. \quad (2)$$

$T$  – постоянная времени, время от начала переходного процесса до точки отсчета. Строгими решениями установлено, что численно постоянная времени  $T$  равна времени, когда  $Y(t)$  достигнет 63,2 % от нового установившегося состояния, при  $t_i = 2T$ ,  $Y(t=2T)$  составит 90 % от  $Y(t=\infty)$ .

Таким образом, постоянную времени  $T_i$ , полученную по кривым переходных процессов (рисунок 6), вполне можно принять за инерционную характеристику исследуемых вариантов дренажа. По результатам аппроксимации экспериментальных кривых (рисунок 6) получены постоянные времени ( $T$ ) для всех вариантов (таблица 1).

Для сравнительной оценки функциональной эффективности исследованных вариантов при отводе дождевых вод использован индекс быстродействия, который равен отношению постоянных времени процессов базового варианта (Л-2) и рассматриваемого. Ранжированные по убыванию индекса результаты представлены на рисунке 7.

Таблица 1. – Результаты аппроксимации интегральных кривых дренажного стока (рисунок 6) выражением (1)

ВАРИАНТ	$C_0$	$\alpha$	Постоянная времени $T$ , мин	Индекс быстродействия. Отношение $T_{(л-1)}$ к $T_{(л-2)}$
Л – 1	48,0	0,0099	101,0	1,03125
Л – 2	27,8	0,0096	104,2	1
Л – 3	95,0	0,0249	40,1	2,59375
Л – 4	65,0	0,0192	52,1	2
Л – 5	100,0	0,0183	54,6	1,90625
Л – 6	52,9	0,0167	59,8	1,739583



Рисунок 7. – Ранжированный ряд индексов относительного быстродействия вариантов дренажа при отводе ливневых осадков

В западноевропейских странах эффективность работы дренажа определяется оценкой работоспособности дренажа по величине непрерывно выпадающих осадков, которую дренажная система успешно отводит. Поэтому второй опыт состоял в определении этой действительно информационно емкой величины для сравниваемых вариантов. Для удобства оценки результатов ранжированный по максимальному отводимому расходу ряд вариантов конструкций дренажа представлен на рисунке 8.

Для сопоставления вариантов в системе координат, более привычной в мелиорации, были рассчитаны величины суточных сумм осадков (мм/сут), которые могли бы отвести рассмотренные варианты дренажа (таблица 2). Следует учитывать, что значения отводимых осадков, приведенные в таблице 2, рассчитаны с запасом. Большую часть времени, когда погодные условия не столь экстремальны, как



Рисунок 8. – Ранжированный по максимальному отводимому расходу (л/с с 1 м) ряд вариантов конструкции дренажа для слабопроницаемых суглинистых почв

использованные при моделировании, величины отводимых осадков будут в 1,3-1,5 раза большими, чем приведенные в таблице 2. Однако при затяжных осадках, за 3-5 суток непрерывного интенсивного дождя с затоплением поверхности, произойдет набухание глинистых частиц почвогрунта, закроются трещины и отводимые расходы станут идентичными полученным на моделях.

Для оценки адекватности параметров рассматриваемых физических моделей параметрам дренажа, используемого на производстве можно отметить, что системы в Голландии (Флеволенд) [4] отводили 11,8 мм/сут. Согласно нормативным документам расчетный дренажный сток рекомендуется принимать 0,6–1,0 л/с с га, что составляет слой 5,2–8,6 мм/сут. Используемые нами физические модели имеют параметры идентичные рабочим диапазонам производственных дренажных систем (таблица 2).

Таблица 2. – Сумма суточных осадков (мм/сут), отводимая исследованными вариантами дренажа при различных расстояниях между материальными дренами – собирателями (м)

ОПЫТ	Расход, л/с*м <sup>-1</sup>	Расстояние между материальными дренами-собирателями, м					
		1	2,5	5	10	15	30
		Сумма суточных осадков, отводимая дренажем, мм/сут					
Л – 3	0,0350	302,4	121,0	60,5	30,2	20,2	10,1
Л – 4	0,0208	179,7	71,9	35,9	18,0	12,0	6,0
Л – 5	0,0200	172,8	69,1	34,6	17,3	11,5	5,8
Л – 6	0,0167	144,3	57,7	28,9	14,4	9,6	4,8
Л – 1	0,0038	32,8	13,1	6,6	3,3	2,2	1,1
Л – 2	0,0023	19,9	7,9	4,0	2,0	1,3	0,7

### Заключение

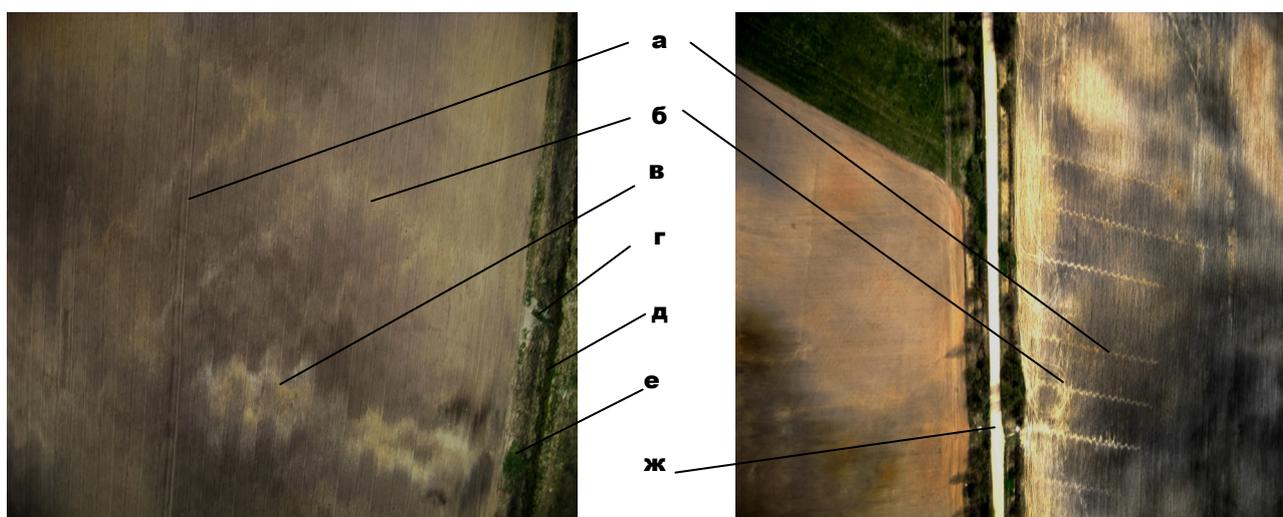
По результатам физического моделирования водоотведения исследуемыми вариантами конструкций дренажа на суглинистых почвогрунтах можно сделать ряд выводов.

1. По обоим показателям (быстродействию и максимально отводимому расходу) варианты в ранжированном ряду расположились одинаково. Таким образом, с большим отрывом вариант Л-3 с засыпкой щели от ножа бестраншейного дреноукладчика торфом до поверхности почвы представил лучшие значения функциональной эффективности.

Однако опыт эксплуатации таких вариантов засыпки дренажных траншей и водопоглощающих колонок показал, что при пахоте материал фильтрующей засыпки перемешивается и перемещается от первоначального расположения. Пример перемеще-

ния более светлого материала засыпки дренажа подпахотным слоем плугами за период 3 года представлен на рисунке 9.

Вследствие этого процесса проницаемость верхнего слоя засыпки резко уменьшается, и эффективность водоотвода снижается за несколько лет до уровня варианта вывода фильтрующей засыпки до пахотного горизонта. Пока известен единственный относительно эффективный вариант поддержания долгодетия высокой водопроницаемости засыпки, примененный в конструкциях водопоглощающих колонок [12]. Суть решения состоит в увеличении размеров слоя проницаемой засыпки в пахотном горизонте. По имеющимся опытным данным испытаний колонок [12] в производственных условиях, при исходных размерах полосы в 3,3х3,3 м центральная зона засыпки диаметром около 1,7 м успешно проти-



а) дрена; б) коллектор; в) ложбина стока; г) устье коллектора; д) канал; е) открытая воронка стока; ж) дорога  
Рисунок 9. – Фотографии поля, полученные при аэрофотосъемке на объекте «За Родину» Шарковщинского района Витебской области

востоит снижению водопроницаемости уже более 15 лет при ежегодном воздействии почвообработок.

Такое конструктивное решение без сомнения повысит стоимость закладки данного варианта дренажа. Экономически более выгодными могут оказаться другие варианты конструкции дренажных систем, а также увеличение числа колонок-поглотителей [12] с параметрами проницаемости, устойчивыми во времени.

Для получения обоснованного ответа на данный вопрос необходимо дополнительно провести экономические исследования.

2. Варианты с проницаемой засыпкой траншеи до пахотного слоя, в которую вводятся кротовины (Л-5) и введение в пахотный горизонт (10 т/га) извести (Л-6), несмотря на повышенную сложность и стоимость, не показали ожидаемой функциональной эффективности. Этот результат позволяет предположить, что имеет место влияние неучтенных факторов и потому необходимо повторить опыты с вариантами Л-4...6, чтобы повысить достоверность результатов и выводов. При этом провести повторное внесение извести в варианте Л-6.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелиорация земель в Вологодской области : Водопроницаемость засыпки дренажных траншей : материалы конф., Вологда, 28 - 29 марта 1972 г. / под ред. Е.М. Сухановский . – Вологда, 1973. – 148 с.
2. Технические указания по осушению тяжелых почв закрытым дренажем в Калининградской области. – Калининград, 1977. – 77 с.
3. Эггельсманн, Р. Руководство по дренажу / Р. Эггельсман / Пер. с нем. В.Н. Горинского; Под ред. и с предисл. Ф.Р. Зайдельмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1984. – 247 с.
4. Алексанкин, А.В. Мелиоративное освоение полейдерных земель. / А.В. Алексанкин – М.: Россельхозиздат, 1987. – 159 с.
5. Опыт осушения земель закрытым дренажем / А. Бальчаунас [и др.]; под общ. ред. А. Бальчаунас. – М. : Колос, 1975. – 320 с.
6. Мурашко, А.М. Пластмассовый дренаж. / А.М. Мурашко. – Минск : Ураджай, 1969. – С.112 - 113.
7. Карловский, В.Ф. НОТ в строительстве гончарного дренажа. / В.Ф. Карловский. – М. : Колос, 1975. С. 17- 18.
8. Повышение эффективности и надежности мелиоративных систем, гарантирующих устойчивость земледелия к неблагоприятным погодным условиям / Комплексная мелиорация – основа интенсификации: сборник. – Минск, 1979. – С. 9-20.
9. Повышение эффективности и надежности мелиоративных систем, гарантирующих устойчивость земледелия к неблагоприятным погодным условиям / Пути совершенствования осушительно-увлажнительных систем на мелиорированных землях: сборник. – Минск, 1979. С. 37-43.
10. Умарова, А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.01.03 / А. Б. Умарова; МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва, 2008. – 51 с.
11. Шкутов, Э.Н. Алгоритмы управления уровнем режимом на осушительно-увлажнительных системах : автореф. дис. ... канд. техн. наук 06.01.02 / Э. Н. Шкутов – Минск, 1984. – 20 с.
12. Колонка-поглотитель : пат ВУ 17440 / В. М. Макоед, А. П. Лихацевич, Г. В. Хмелевская. – Оpubл. 30.08.2013.

Поступила 13.03.2018

**ГАРМОНИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ  
СЕЗОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ  
В БЕЛАРУСИ**

**В.И. Вихров**, кандидат технических наук

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия

г. Горки, Беларусь

**Аннотация**

Отмечена актуальность исследований почвенной засухи в Беларуси, показана целесообразность выделения и учета детерминированных свойств изменчивости показателей засухи в виде главных гармонических составляющих.

С использованием двух последовательных 36-летних модельных рядов показателей почвенной засухи, полученных ретроспективным водобалансовым методом, выполнено их представление в виде  $n/2$  гармонических составляющих по шести областным метеостанциям Беларуси.

Установлено существенное сокращение общей дисперсии исходных рядов после расчета и удаления их гармонических трендов.

**Ключевые слова:** почвенная засуха, водный баланс, гармонический анализ, климатическая трансформация

**Abstract**

**V.I. Vikhrov**

**HARMONIC COMPONENTS OF MULTI-YEAR OSCILLATING SEASON INDICATORS OF SOIL DROUGHT IN BELARUS**

Soil drought is an actual problem in Belarus. Deterministic properties of variability of drought indicators presented as main harmonic components are shown as expedient ones.

36-year modeling series of indicators of soil drought obtained by retrospective method are presented in this article as  $n/2$  of harmonic components for 6 regional weather stations of Belarus.

A significant reduction in the total dispersion of the original series was detected as harmonic trends are calculated and deleted.

**Keywords:** soil drought, water balance, harmonic analysis, climate transformation

**Введение**

Почвенная засуха является объективным показателем недостаточной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур и относится к частным видам опасных (неблагоприятных) для сельского хозяйства явлений погоды [1, 2, 3]. Генетически она является аномальным (с агрономической точки зрения) проявлением водного режима почвы, когда ее влагозапасы срабатываются ниже установленного критического значения  $W_{кр}$ . В свою очередь водный режим почвы (ВРП) формируется под влиянием весьма большого числа природных факторов и их сочетания. Как известно, определяющим факторам и показателям ВРП сельскохозяйственного использования в условиях Республики Беларусь присуща весьма значительная и разнообразная в своих проявлениях многолетняя изменчивость [2, 4]. При этом в условиях современного изменения регионального климата Беларуси отмечается тенденция дальнейшего увеличения неблагоприятных водных явлений, в частности такого, как почвенная засуха.

При планировании мелиоративных мероприятий по регулированию ВРП и расчете проектных параметров гидромелиоративных режимов используют-

ся их обеспеченные (вероятностные) количественные оценки. Статистическая достоверность и проектная надежность этих оценок зависит от характера и размаха общей многолетней изменчивости исследуемого показателя. Характер данной изменчивости имеет, как правило, смешанную стохастически-детерминированную физическую природу [5, 6]:

$$X(t) = f(t) + \zeta(t), \quad (1)$$

где  $f(t)$ ,  $\zeta(t)$  – соответственно детерминированная и стохастическая составляющие естественного макропроцесса  $X(t)$ .

Соотношение указанных составляющих (случайной и генетической) в общей дисперсии многолетнего ряда может быть различным и оцениваться путем выявления статистически значимых монотонных и циклических трендов. В результате их учета возможно значительное уменьшение общей дисперсии исследуемого показателя, что повышает надежность и точность его вероятностной, проектной и прогнозной оценок.

Большинство исследований многолетней изменчивости факторов и показателей почвенной засу-