

# **Практикум по курсу «Мелиорация почв»**

Шеин Е.В., Шваров А.П., Никифорова А.С., Дембовецкий А.В,  
Макарова Е.П.

ООО «Буки-Веди»

2023

УДК 631.4

ББК 40.3

Рецензенты:

Доктор биологических наук, заместитель директора по науке и общим вопросам,  
в.н.с. лаборатории физики и гидрологии почв, ФГБНУ ФИЦ «Почвенный Институт имени  
В.В. Докучаева, Болотов Андрей Геннадьевич

Профессор кафедры земледелия и методики опытного дела Федерального государственного  
бюджетного образовательного учреждения высшего образования Российский государственный  
аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Мазиров Михаил Арнольдович

Шейн Е.В., Шваров А.П., Никифорова А.С., Дембовецкий А.В, Макарова Е.П.  
Практикум по курсу «Мелиорация почв».

Практикум по курсу «Мелиорация почв». – М.: ООО «Буки-Веди», 2023 –89 с .

Издание осуществляется в авторской редакции

Учебное пособие является необходимой и обязательной частью курса «Мелиорация почв» и содержит основные теоретические положения и способы расчетов мелиоративных мероприятий по орошению, осушению, противооползневых мер и пр. Представлены следующие разделы в форме задач по авторским данным и расчетные процедуры по разделам, основные понятия почвенной гидрологии и орошаемого земледелия, оценка качества поливных вод, мелиорация засоленных почв, основы гидрологии почв в приложении к мелиоративным проблемам, математическая модель BUDGET для физически обоснованного расчета режима орошения, а также экспериментальные задачи, включающие самостоятельную работу слушателей в лабораторных условиях: определение угла естественного откоса почвы, определение засоления почв и оценка качества поливной воды по электропроводности и др. Каждый из разделов задач сопровождается кратким обоснованием теоретических основ расчетных процедур, примеров из мелиоративной практики, почвоведения и др. естественных наук. Рассмотрены современные расчетные методы, используемые в мелиорации, экологии, природопользовании, почвенно-ландшафтном проектировании, гидрологии и других разделов наук Земле и использования почв.

Для студентов и аспирантов, обучающихся в институтах и университетах по специальности и направлениям почвоведение, экология и природопользование, а также широкого круга работников соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-4465-3938-3

## Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
<b>ЗАНЯТИЕ 1 (4 часа) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПОЧВЕННОЙ ГИДРОЛОГИИ И ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ.....</b>	<b>6</b>
Задача 1. Расчет обеспеченности осадков по кривой обеспеченности .....	6
Задача 2. Расчет запасов влаги.....	12
Задача 3. Расчет водоотдачи по слоям .....	12
Задача 4. Расчет оросительной нормы .....	15
Задача 5. Расчет поливной нормы .....	16
Задача 6. Определить норму влагозарядкового полива.....	16
<b>ЗАНЯТИЕ 2 (4 часа) ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛИВНЫХ ВОД.....</b>	<b>17</b>
Задача 1. Степень минерализации поливных вод и опасность их применения для орошения.....	17
Задача 2. Определить пригодность воды для полива по ее химическому составу и вероятности осолонцевания почв в результате орошения .....	19
<b>ЗАНЯТИЕ 3. (4 часа) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ.....</b>	<b>23</b>
Измерение электропроводности почвенных паст для характеристики засоления почв и природных вод с помощью прибора LandMapper ERM-02 и кондуктометра ЕС-3587.....	25
Задача 1. Измерить электропроводность воды и определить степень ее минерализации .....	30
Задача 2. Определить электропроводность почвенной пасты с разной степенью засоления.....	32
<b>ЗАНЯТИЕ 4 (4 часа) МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ.....</b>	<b>35</b>
Расчеты химического состава воды при взаимодействии с почвами при различном составе почвенного поглощающего комплекса .....	35
Задача 1. Определить по данным водной вытяжки тип засоления.....	38
Задача 2. Определить степень засоления почв по сумме солей в зависимости от химизма засоления .....	39
Задача 3. Определение средневзвешенного содержания солей в профиле .....	40
Задача 4. Расчет промывной нормы по средневзвешенному содержанию солей в профиле .....	41
Задача 5. Определить вид солонца по содержанию поглощенного натрия и емкости поглощения, и норму гипса для рассолонцевания .....	42
<b>КОЛЛОКВИУМ 1 Почвенная гидрология и орошаемое земледелие.....</b>	<b>44</b>

<b>ЗАНЯТИЕ 5 (4 часа) ОСУШИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ</b> .....	45
Задача 1. Определить междреннее расстояние по формуле Хугхаудта.....	47
Задача 2. Метод определения междренных расстояний по гранулометрическому составу почв .....	49
<b>ЗАНЯТИЕ 6 (4 часа) Математическая модель BUDGET. Расчет режима орошения для некоторых сельскохозяйственных культур</b> .....	53
Задача 1. Моделирование влажности с прогнозной моделью BUDGET .....	57
Перенос расчетных данных из Budget в Excel и Surfer для построения хроноизоплант влажности .....	70
Построение хроноизоплант в программе Surfer .....	71
Задача 2. Моделирование влажности почвы с поливом .....	75
<b>ЗАНЯТИЕ 7 (4 часа) Определение угла естественного откоса почвы в сухом и насыщенном водой состоянии</b> .....	76
Задача 1. Определение угла естественного откоса в сухом и насыщенном водой состоянии .....	77
<b>КОЛЛОКВИУМ 2. ОСУШЕНИЕ</b> .....	78
<b>Приложение</b> .....	79
Таблица 1 (к Занятию 1, задаче 1) .....	79
Таблица 2 (к Занятию 1, задачам 3-6).....	80
Таблица 3 (к Занятию 1, задаче 4) .....	81
Таблица 4 (к Занятию 1, задаче 6) .....	82
Таблица 5 (к Занятию 2, задаче 1) .....	83
Таблица 6 (к Занятию 4, задаче 1-4) .....	84
Таблица 7 (к Занятию 4, задаче 5) .....	85
Таблица 8 (к Занятию 5 задаче 1) .....	86
Таблица 9 (к Занятию 5 задаче 2) .....	87

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Практикум по курсу «Мелиорация почв» предназначен для студентов – почвоведов университетов. Он построен по программе лекционного курса «Мелиорация почв» и служит, прежде всего, для его углубленного изучения. В процессе работы на этом практикуме студенты участвуют в лабораторных занятиях и семинарах. Они изучают материалы трех основных разделов университетского лекционного курса «Мелиорация почв» – орошаемое земледелие, мелиорация засоленных и гидроморфных почв (осушительные мелиорации). Задача практикума – ознакомить студентов с основными понятиями мелиоративного почвоведения и мелиорации почв, дать представление о принципах и способах расчета мелиоративных систем на основе данных о свойствах и процессах в почвенном покрове. Практикум предусматривает возможность самостоятельного выполнения студентами работ с использованием методов, принятых в практике мелиоративных инженерно-строительных и научных изысканий и исследований.

Отличительной особенностью Практикума является существенное увеличение времени на освоение студентами методов прогнозного математического моделирования при мелиорации почв. Используется имитационная математическая физически обоснованная модель BUDGET. Модель AQUACROP студенты осваивают, используя полученные знания и навыки работы с информационными средствами и принципами современного реверс-инжиниринга ([англ. reverse engineering](#)).

В пособии в краткой форме даны: классификации поливных вод, засоления почв, расчеты поливных норм, норм промывки и химической мелиорации при засолении и осолонцевании, параметры дренажа для различных по гидрофизическим свойствам почв, по мелиоративным мероприятиям при оползнях и борьбе со сдвигами на откосах. Пособие будет полезно студентам, научным сотрудникам и всем, кто занимается мелиорацией почв.

*Ключевые слова:* гидрология почв, метеорология, орошение, осушение, нормы полива, дренаж, угол откоса, лесомелиорация.

# ЗАНЯТИЕ 1 (4 часа)

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПОЧВЕННОЙ ГИДРОЛОГИИ И ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Вопросы для самостоятельной подготовки к занятию:

1. Вероятностная оценка природных факторов при мелиоративных расчетах.
2. Понятия почвенной гидрологии: предельная полевая влагоемкость (ППВ) или наименьшая влагоемкость (НВ); динамическая (капиллярная) влагоемкость (КВ); полная влагоемкость (ПВ); водоотдача, коэффициент водоотдачи; водопотребление, коэффициент водопотребления.
3. Оросительная норма.
4. Верхний и нижний предел оптимального увлажнения почв.
5. Расчет поливной нормы по дефициту влажности для вегетационных увлажнительных и вневегетационных поливов в зависимости от культуры и мощности активного слоя.
6. Зависимость поливной нормы от способа полива. Влагозарядковые поливы.

*Литература: Ф.Р. Зайдельман, "Мелиорация почв", 3-е издание, М., 2003*

### **Задача 1. Расчет обеспеченности осадков по кривой обеспеченности**

Построить кривую обеспеченности осадков и рассчитать 75% и 95% обеспеченности осадков, используя многолетние данные осадков (Приложение таблица 1).

При использовании гидрологических и иных параметров (осадки, температура, дренажный сток, весенние и осенние паводки и др.) для расчета мелиоративных систем применяют вероятностный подход, основанный на определении их обеспеченности.

Под обеспеченностью понимают вероятность появления (%) величины (например, осадков) равной или выше данной в многолетнем ряду (таблица 1), т.е. значение обеспеченности – это вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической величины может быть превышено. Здесь необходимо дать понятие вероятности, как оно используется в естественных науках для оценки возможности появления той или иной искомой величины.

Рассмотрим пример построения кривой обеспеченности и расчета процента обеспеченности определенного количества осадков.

**Дано:** сумма годовых осадков (мм) в многолетнем ряду (в вариантах для студентов – 34, **см. Приложение таблица 1**). Осадки колеблются по годам при размахе от 200 до 450 мм. При этом известно количество ежегодно выпадающих осадков. Необходимо построить кривую обеспеченности осадков и по ней определить абсолютные величины годовых осадков 75 и 95% обеспеченности для рассматриваемого ряда лет.

**Решение.** Данные 30-ти летних наблюдений (годовые суммы осадков) располагают в ряд по убыванию значений (от 450 до 200 мм) и разбивают на классы. Разбивку на классы делают с учетом ширины интервала и количества классов. Интервал наблюдаемых осадков составляет от 200 до 450 мм, т.е.  $450-200=250$  мм. Обычно количество классов составляет около или более 10 классов, а шаг (интервал класса) подбирают так, чтобы в нем наблюдались указанные в классе осадки хотя бы раз в год (*число классов и значения их границ в разных вариантах могут варьировать*). В данном случае весь интервал (250 мм) мы делим на 10, и получаем, что шаг составляет 25 мм.

Таблица 1

**Сумма годовых осадков (мм) в многолетнем ряду (30 лет)**

№ п/п	Осадки, мм										
1	378.0	6	443.2	11	290.0	16	308.0	21	278.8	26	290.4
2	275.8	7	240.3	12	261.0	17	231.0	22	334.0	27	282.1
3	254.2	8	303.0	13	227.4	18	283.4	23	418.4	28	230.4
4	329.1	9	280.1	14	370.0	19	210.1	24	352.1	29	300.3
5	392.1	10	312.1	15	420.1	20	327.0	25	310.0	30	363.2

В таблице 2 показан пример расчета данных для кривой обеспеченности осадков. Колонка D – номера классов, колонки E и F – нижняя и верхняя границы классов (интервал осадков). В столбце G (или H) подсчитываем

среднее значение осадков в данном классе. Можно считать среднее значение двумя способами:

1) как среднее *между границами класса* (столбец G), например, для класса от 450 до 425 получается  $(450-425)/2= 437.5$  или

2) как *среднее значение тех осадков, которые попадают в этот класс* (столбец H) – в нашем случае для этого класса только одно – 443.2. Первый способ более простой, но менее точный. Для нашего примера средние значения между границами класса получились немного больше, чем усредненные значения внутри класса (Таблица 2). Студент (или преподаватель) заранее договариваются о способе вычисления среднего количества осадков. Для удобства подсчета средних значений вторым способом можно отсортировать исходный массив в порядке убывания осадков – функция сортировки в меню Excel «Данные».

Таблица 2

**Метеоданные по осадкам для построения кривой обеспеченности осадков  
(пример представления данных в Excel для расчета заданной  
обеспеченности осадков)**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				Интервал класса, мм							
2	№ п/п	Осадки, мм	Классы	верхняя граница класса	нижняя граница класса	Среднее (границы класса), мм	Среднее в классе, мм	Частота, (количество лет в классе)	Суммарное количество лет по классам	Вероятность (обеспеченность осадков), %	
3	1	443.2	1	450	425	437.5	443.2	1	1	3.33	
4	2	420.1	2	425	400	412.5	419.3	2	3	10.00	
5	3	418.4	3	400	375	387.5	385.1	2	5	16.67	
6	4	392.1	4	375	350	362.5	361.8	3	8	26.67	
7	5	378	5	350	325	337.5	330.0	3	11	36.67	
8	6	370	6	325	300	312.5	306.7	5	16	53.33	
9	7	363.2	7	300	275	287.5	282.9	7	23	76.67	
10	8	352.1	8	275	250	262.5	257.6	2	25	83.33	
11	9	334	9	250	225	237.5	232.3	4	29	96.67	
12	10	329.1	10	225	220	212.5	224.0	1	30	100.00	
13	11	327									
14	12	312.1					=ТЕНДЕНЦИЯ(Н8:Н9, К8:К9, 75)		=ЧАСТОТА(В\$3:В\$31, Е3: F3)		
15	13	310									
16	14	308			Обеспеченность 75%	289.3	284.6				
17	15	303			Обеспеченность 95%	240.6	235.4				

В столбце I подсчитывают число лет с количеством осадков, приходящихся на данный класс. Суммарное количество лет – столбец J, т.е. суммируют число лет с осадками, соответствующими данному классу и предшествующим классам (т.е. годы суммируют с нарастающим итогом). В Excel есть функция «ЧАСТОТА», которая позволяет найти количество встречающихся лет для данного интервала.

В ячейке пишется =ЧАСТОТА (массив\_данных,массив\_интервалов). Запишем в столбце I3 формулу. Если в столбце В у нас осадки, а в столбцах Е и F – интервал класса (верхняя и нижняя границы классов), то формула для первого класса будет выглядеть так =ЧАСТОТА(B\$3:B\$31,E3:F3). Знак доллара ставится, чтобы при копировании этой формулы для следующих классов ссылка на массив данных не менялась (Таблица 2).

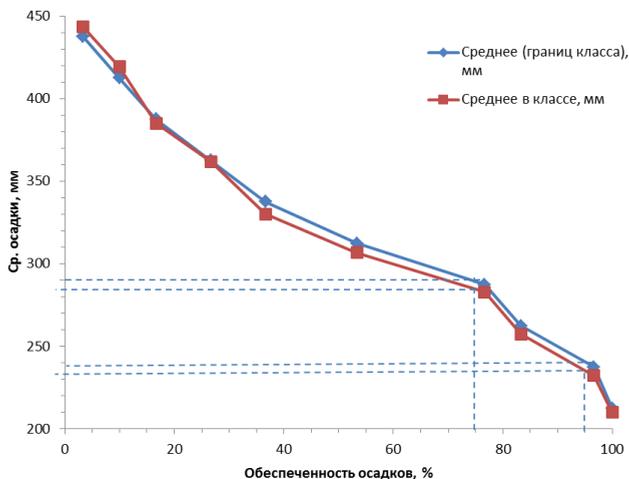
Далее можно рассчитать вероятность, т.е. % встречаемости осадков для каждого класса. Для этого необходимо разделить число лет с осадками в данном классе (столбец К) на общее количество лет наблюдений (в приведенном случае – на 30) и выразить частное от деления в процентах, т.е. умножить на 100. Мы получаем кумулятивную вероятность появления осадков выше, чем в рассматриваемом классе – столбец J. Теперь можно построить кривую обеспеченности осадков, как зависимость среднего количества осадков от кумулятивной возможности появления лет с данным количеством осадков. То есть зависимость данных, приведенных в столбце (G или H) от данных в столбце (K), как приведено в табл. 2.

Построенную кривую обеспеченности осадков можно использовать для нахождения абсолютных величин осадков расчетной обеспеченности. Можно использовать два способа: графический и вычисление заданной обеспеченности по уравнению линейной функции.

**Графический способ.** Из точки на оси абсцисс, соответствующей заданной обеспеченности (например, 95%), восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой (рис 1). Из точки пересечения проводят линию, параллельную оси абсцисс до пересечения с осью ординат. Эта точка на ординате показывает количество осадков, соответствующих искомой обеспеченности.

Второй способ – более точный. Мы можем определить обеспеченность с помощью функции Excel «ТЕНДЕНЦИЯ». Данная функция позволяет вычислить между известными значениями Y и X для заданного X (в нашем случае это вероятность 75 или 95%), т.е. соответствующее количество осадков по функции линейной зависимости между известными точками. В общем виде функция выглядит так =ТЕНДЕНЦИЯ(диапазон\_известных\_у,диапазон\_известных\_x,заданный\_x). Для 75% обеспеченности функция выглядит (см. пример на рис. 1) =ТЕНДЕНЦИЯ(H8:H9,K8:K9,75), где H8:H9 – Y (количество осадков) для

соответствующего диапазона X (обеспеченность) – К8:К9, 75 – заданная обеспеченность, попадающая в этот диапазон (новый X).



**Рис.1.** Пример кривой обеспеченности осадков, как зависимости количества осадков от кумулятивной возможности (обеспеченности, %) появления лет с данным количеством осадков

Найденное число с вероятностью 75% показывает то количество осадков в год, которое будет превышено для данной местности, т.е. 75%-ная обеспеченность осадками. В данном примере это количество осадков составляет 284.6 мм, то есть с 75%-ной вероятностью выпадут осадки больше 284.6 мм.

Если мы хотим предсказать количество осадков 95%-ной обеспеченности, то вся повторяется вышеописанная процедура. В этом случае 95%-ная обеспеченность будет соответствовать 235 мм осадков.

**NB!** При построении графиков в Excel часто происходит путаница при выборе типа диаграмм. Неправильно выбирать тип диаграммы – «график», поскольку такой тип отображает данные по оси X в виде меток, а не реальные значения. Данные при этом отображаются с равномерным шагом, который не зависит от самих значений. Для правильного отображения данных нужно выбрать тип диаграммы – «точечный»!

При построении графика обеспеченности осадков настоятельно рекомендуется менять формат оси Y, указав в качестве минимального значения Y, не ноль, а нижнюю границу последнего класса (в нашем случае –

220) или немного меньше, т.е. устанавливаем фиксированный минимум – 200. Полезная площадь для отображения данных на графике при этом увеличивается.

Приближенный расчет обеспеченности можно также выполнить по следующей формуле

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100, \quad (1)$$

где  $P$  – обеспеченность (%),  $m$  – порядковый номер класса,  $n$  – общее число классов.

Аналогичным образом рассчитывают обеспеченность осадков вегетационного периода, паводков на реках, дренажного стока и др. Оросительные системы с размещением зерновых культур рассчитывают на 90–95% обеспеченность осадков теплого периода; многолетних трав 70–75%. Дамбы обвалования оградительной сети на летних польдерах для защиты от затопления водами осеннего паводка строят из расчета 0.1–1.0% обеспеченности. Сушителные системы для полевых севооборотов с участием озимых рассчитывают на пропуск дренажного стока 10% обеспеченности осадков в посевной период. При размещении лугов осушительная сеть рассчитывается на пропуск дренажного стока 25% обеспеченности.

В любом случае выбор % обеспеченности расчетного параметра должен быть экономически обоснован.

Следующие задачи рассматривают расчеты оросительной нормы, верхнего и нижнего предела оптимального увлажнения почв, поливной нормы по дефициту влажности для вегетационных поливов в зависимости от культуры и мощности активного слоя

## Задача 2. Расчет запасов влаги

Рассчитать запас воды (ЗВ) в почве ( $\text{м}^3/\text{га}$ , мм водн. слоя) при влажности равной ППВ (предельная полевая влагоемкость) и ПВ<sup>1</sup> (полная влагоемкость) по генетическим горизонтам (Приложение таблица 2) и по двум слоям. **Расчетные слои 0-40 и 0-70.** (Границы слоев могут не совпадать с границами горизонтов!)

**Дано:** Влажность почвы при ППВ и ПВ по генетическим горизонтам в % от массы почвы,  $\rho_b$  ( $\text{г}/\text{см}^3$ ) по генетическим горизонтам

**Решение.** Расчет запасов выполняют по формуле

$$\text{ЗВ} = W \cdot \rho_b \cdot h \quad (\text{м}^3/\text{га}), \quad (2)$$

где  $h$  – мощность расчетного слоя, см;  $\rho_b$  – плотность сложения,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $W$  – влажность (% от массы). Для перевода ЗВ ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) в мм нужно ЗВ разделить на 10. Запасы влаги для слоя заданной мощности определяются как сумма запасов влаги отдельных текстурных (генетических, выделенных расчетных слоев), слагающих рассматриваемую мощность слоя; например, ЗВ для слоя будут  $\text{ЗВ}_{0-40} = \text{ЗВ}_{0-10} + \text{ЗВ}_{10-20} + \text{ЗВ}_{20-40}$ .

## Задача 3. Расчет водоотдачи по слоям

Рассчитать водоотдачу почвы и коэффициент водоотдачи для заданных слоев **0-40 и 0-70** и по генетическим горизонтам (Приложение таблица 2) в  $\text{м}^3/\text{га}$  и мм вод. слоя.

Нередко перед проектировщиками мелиоративных систем встает вопрос – сколько же воды будет удалено с некоторого массива (например, с гектара или кв. м осушаемого поля) при понижении уровня грунтовых вод от поверхности до некоторого уровня. Связан этот процесс с величиной водоотдачи почвы (грунта). Для расчетов водоотдачи почвы (породы) или количества воды, выделяемой почвой при снижении уровня почвенных вод, нам потребуются знания полной влагоемкости ПВ (полного насыщения), а также предельной полевой влагоемкости (ППВ), или наименьшей

---

<sup>1</sup> В приближенных расчетах часто используют величину общей порозности почвы, выраженную в объемных %. При этом объеме заземленного воздуха пренебрегают

влагоемкости (НВ). При расчетах полной влагоемкости часто используют величины общей порозности почвы, пренебрегая объемом заземленного воздуха.

**Водоотдача (В)** – это способность почв, насыщенных водой, отдавать гравитационную воду. Она равна разности между полной влагоемкостью (ПВ) и предельной полевой влагоемкостью ППВ (НВ) в исследуемом слое  $h$ . Если все расчеты производить для куба с площадью  $1 \text{ м}^2$  ( $S=1 \text{ м}^2$ ), а уровень почвенной влаги снизился на  $\Delta h$  см, то, водоотдача составит:

$$B = \frac{V_{\text{гр}}}{S \cdot \Delta h} \cdot \Delta h = \frac{(\text{ПВ} - \text{ППВ}) \cdot \rho_b \cdot \Delta h}{100} = (\text{ПВ} - \text{ППВ}) \cdot \rho_b \cdot \Delta h \quad (3)$$

где  $V_{\text{гр}}$  – это объем почвы, освободившийся от гравитационной воды благодаря гравитационному стеканию,  $\text{см}^3$ ;  $S$  – площадь рассматриваемого объема почвы,  $\text{см}$ ,  $\Delta h$  – это снижение уровня вод,  $\text{см}$ ; ПВ и ППВ в массовых процентах.

Водоотдача (или удельная водоотдача) выражается в мм,  $\text{м}^3/\text{га}$ ,  $\text{л}/\text{м}^2$ , т.е. объем вытекшей гравитационной воды из слоя  $h$ , отнесенный к единице площади ( $\text{м}^2$ , га). Водоотдача, для слоя заданной мощности, как и запасы влаги, определяется как сумма водоотдачи отдельных текстурных (генетических или расчетных) слоев.

Кроме того, водоотдачу можно также оценить **по коэффициенту водоотдачи ( $K_{\text{во}}$ )**.

Коэффициент водоотдачи широко используется для оценки объемов воды, вытекающей из почвы при понижении уровня грунтовых вод. Считается, что влажность в толще грунтовых вод составляет величину полной влагоемкости (ПВ), а при снижении уровня грунтовых вод (например, за счет дренажа) в слое почвы над уровнем грунтовых вод формируется влажность, близкая к наименьшей (полевой) влагоемкости.

Коэффициент водоотдачи ( $K_{\text{во}}$ ) – это отношение объема свободно вытекающей (гравитационной) воды к объему почвы, т.е. характеризует объем гравитационной влаги, способного к свободному стеканию в осушаемом слое ( $h$ ) на площади ( $S$ ). Коэффициент водоотдачи величина безразмерная, выражается в объемных долях.

$$K_{\text{во}} = \frac{V_{\text{гп}}}{V_{\text{почвы}}} = \frac{V_{\text{гп}}}{S \cdot \Delta h} = \frac{(\text{ПВ} - \text{ППВ}) \cdot \rho_b}{100} \% \quad (4)$$

Расчет по заданным (гидрологическим) слоям ведется по средневзвешенным значениям с учетом водоотдачи всех генетических горизонтов (и текстурных слоев). К примеру, если есть слой 0-20 см с  $K_{\text{в}}=0.05$ , слой 40-50 с  $K_{\text{во}} = 0.09$  и слой 50-70 с  $K_{\text{во}} = 0.1$ , то среднее арифметическое их  $K_{\text{во}} = 0.08$ . Но средневзвешенное значение должно учитывать долю (вклад) каждого слоя, в нашем случае, его мощность (по отношению к сумме слоев), и формула будет такая –  $K_{\text{во}}=K_{\text{в1}} \cdot h_1/h_{\text{общ}} + K_{\text{в2}} \cdot h_2/h_{\text{общ}} + K_{\text{в3}} \cdot h_3/h_{\text{общ}} = 0.05 \cdot 20/70 + 0.05 \cdot 10/70 + 0.1 \cdot 20/70 = 0.056$ .

$K_{\text{во}}$  зависит от гранулометрического состава и генезиса. Тонкодисперсные породы вследствие высоких сил водоудерживания (большой величины капиллярных и адсорбционных сил, удерживающих воду в связи с твердой фазой) обладают весьма низкой водоотдачей. В суглинистых и глинистых микроагрегированных он варьирует в пределах 0.04–0.08; в почвах песчаных и глинистых агрегированных – 0.1–0.2; в торфяных почвах – от 0.03 до 0.12. В гравелистых отложениях водоотдача приближается к 0.2-0.35. В глинах водоотдача близка к нулю.

Водоотдача является основной характеристикой при выборе способов водозащиты горных выработок, расчёта сети дренажных скважин, интенсивности снижения уровня воды при водопонижении, а также для расчёта запасов подземных вод. Следует иметь в виду, что водоотдача у геологов, у грунтоведов и гидрогеологов принимается как разность между полной и максимальной молекулярной влагоёмкостью (ММВ). У почвоведов и мелиораторов вместо ММВ применяется более строгое и практически регистрируемое понятие ППВ (или НВ).

### **Пример расчета водоотдачи и коэффициента водоотдачи.**

Расчитать водоотдачу почвы и коэффициент водоотдачи при понижении уровня грунтовых вод от 40 до 60 см при влажности ППВ =37 % (от массы) ПВ = 47 %, плотность почвы 1.2 г/см<sup>3</sup>.

#### **Решение.**

$V = (\text{ПВ} - \text{ППВ}) \cdot \rho_b \cdot \Delta h = (47 - 37) \cdot 1.2 \cdot (60 - 40) = 240 \text{ м}^3/\text{Га}$  (или л/м<sup>2</sup>) или = 24 мм. водного слоя или = 0.024 м. водного слоя

Коэффициент водоотдачи  $K_{\text{во}} = (\text{ПВ} - \text{ППВ}) \cdot \rho_b / 100 = (47 - 37) \cdot 1.2 / 100 = 0.12$ .

Полученный коэффициент водоотдачи достаточно высокий и, видимо, наша почва представлена песчаными образованиями или хорошо агрегированными суглинистыми почвами, для которых коэффициент водоотдачи изменяется в пределах от 0.1 до 0.2. Но поскольку ПВ (близкая к общей порозности) равна 47 %, то скорее всего – это агрегированная суглинистая почва.

#### **Задача 4. Расчет оросительной нормы**

Рассчитать оросительную норму при разной обеспеченности осадков (Приложение таблица 3).

##### **Пример расчета оросительной нормы**

**Дано:** 1. Водопотребление ( $V_n$ ) сельскохозяйственных культур (озимая пшеница, люцерна) в условиях сухой степи на годы 75% и 95% обеспеченности осадков (водопотребление – расход воды на транспирацию и испарение с 1 га возделываемой культуры)

2. Осадки расчетной обеспеченности (95 и 75%), используемые в вегетационный период мм ( $O_c$ ), из задачи 1.

3. Влажность почвы в начале и в конце вегетации, % (см. Приложение таблица 4)

**Решение.** Расчет оросительной нормы производят по формуле

$$M = V - (O_c \pm \Delta ZB + GB) \quad (5)$$

где  $M$  – оросительная норма, м<sup>3</sup>/га;  $V_n$  – водопотребление, м<sup>3</sup>/га;  $O_c$  – осадки данной обеспеченности;  $\pm \Delta ZB$  – приход (+) или убыль влаги (–) за период вегетации, м<sup>3</sup>/га;  $\Delta ZB = ZB_n - ZB_k$  ( $ZB_n$  – запас влаги в почве в начале;  $ZB_k$  – запас влаги в конце вегетации);  $GB$  – приток грунтовых вод в ризосферу, м<sup>3</sup>/га.

##### **NB! Оросительная норма считается на мощность всего профиля!**

Рассчитывают водопотребление для 95% и 75% (данные задачи 1). Запасы влаги рассчитывают по формуле (2), находят  $ZB$  для каждого слоя и суммируют  $ZB$  для всего профиля.

При залегании грунтовых вод глубже 3 м приход влаги от зеркала грунтовых вод не учитывают в расчете.

**Обязательно все величины в формуле (5) и во всех других формулах должны быть в одних единицах или в мм или в м<sup>3</sup>/га!**

## Задача 5. Расчет поливной нормы

Определить поливную норму по дефициту влажности в разные периоды вегетации с учетом изменения мощности активного слоя

**Дано:** 1. Влажность равная ППВ (% от массы) по слоям почвы (Приложение таблица 2).

2. Мощность активного слоя в различные периоды вегетации: 0–40, 0–70 см.

**Решение.** Поливную норму рассчитывают по формуле:

$$m = 3W_{\max} - 3W_{\min} = 100 \cdot h \cdot \rho_b (W_{\max} - W_{\min}) \quad (6)$$

где  $m$  – поливная норма, м<sup>3</sup>/га;  $h$  – мощность активного слоя почвы, м;  $\rho_b$  – средняя плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;  $W_{\max}$  – оптимальная влажность активного слоя почвы после полива равная 0.90–0.95 ППВ, г/г;  $W_{\min}$  – влажность активного слоя почвы перед поливом, г/г (влажность почвы в конце вегетационного периода) (Приложение, таблица 3). Потребность в поливе сельскохозяйственных культур возникает при снижении влажности почвы до величины ВРК (влажности разрыва капиллярной связи), т.е. до значений близких к 0.7ППВ. Расчет ведется для двух активных слоев 0-40, 0-70. Фактическая поливная норма устанавливается с учетом потерь воды на испарение, то есть умножается на коэффициент 1.1-1.15

## Задача 6. Определить норму влагозарядкового полива

**Дано:** Количество осадков осенне-зимнего периода –  $O_{0-3}$ , м<sup>3</sup>/га; коэффициент использования осадков –  $\alpha$ , испарение за осенне-зимний период –  $E_{0-3}$ , м<sup>3</sup>/га (Приложение таблица 4).

**Решение.** Норму влагозарядкового полива рассчитывают по формуле

$$m_{ВЗ} = 100 \cdot h \cdot \rho_b \cdot (W_{\max} - W_{\text{ест}}) - \alpha \cdot P + E_{0-3} \quad (7)$$

где  $m_{ВЗ}$  – норма влагозарядкового полива, м<sup>3</sup>/га;  $W_{\max}$  – предельная полевая влагоемкость (см задача 2),  $W_{\text{ест}}$  – влажность в почве в конце вегетационного периода (перед поливом, см. Приложение таблица 3) в увлажняемом слое, (% от массы);  $E_{0-3}$  – испарение за осенне-зимний период, м<sup>3</sup>/га.

## ЗАНЯТИЕ 2 (4 часа)

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛИВНЫХ ВОД

#### Вопросы для самостоятельной подготовки к занятию

Оценка общей минерализации оросительной воды при прогнозе опасности засоления почв.

1. Методы и показатели качества поливных вод по соотношению катионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ .
2. Опасность осолонцевания почв при орошении. SAR.

*Литература:* Ф.Р. Зайдельман, «Мелиорация почв», 3-е издание, 2003. С. 78-86

#### Задача 1. Степень минерализации поливных вод и опасность их применения для орошения

Определить степень минерализации поливных вод рек Краснодарского края (ммоль/л), используя **Приложение таблицу 5**, установить опасность применения вод для орошения почв и необходимость мелиорации поливных вод.

#### Пример расчета

**Дано:** Химический состав р. Журавка (степная зона Краснодарского края) в июле (содержание ионов в ммоль/л):  $\text{Ca}^{2+}$  – 3.3,  $\text{Mg}^{2+}$  – 9.5,  $\text{Na}^+$  – 8.5,  $\text{SO}_4^{2-}$  – 9.5,  $\text{Cl}^-$  – 2.5,  $\text{HCO}_3^-$  – 9.3.

Рассчитать общую минерализацию поливных вод и определить категорию вод по шкале солёности USDA (табл. 3).

**Решение.** Содержание ионов в ммоль/л необходимо перевести в г/л и рассчитать суммарную концентрацию ионов (общую минерализацию оросительных вод).

Коэффициенты пересчета ммоль/л в г/л

$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
0.020	0.012	0.023	0.030	0.061	0.035	0.048

$$\text{Ca}^{2+} [\text{г/л}] = 3.3 [\text{ммоль/л}] \cdot 0.02 = 0.066 [\text{г/л}]$$

$$\text{Mg}^{2+} [\text{г/л}] = 9.5 [\text{ммоль/л}] \cdot 0.012 = 0.114 [\text{г/л}]$$

$$\text{Na}^+ [\text{г/л}] = 8.5 [\text{ммоль/л}] \cdot 0.023 = 0.196 [\text{г/л}]$$

$$\text{HCO}_3^- [\text{г/л}] = 9.3 [\text{ммоль/л}] \cdot 0.061 = 0.567 [\text{г/л}]$$

$$\text{Cl}^- [\text{г/л}] = 2.5 [\text{ммоль/л}] \cdot 0.035 = 0.088 [\text{г/л}]$$

$$\text{SO}_4^{2-} [\text{г/л}] = 9.5 [\text{ммоль/л}] \cdot 0.048 = 0.456 [\text{г/л}]$$

Посчитаем общую минерализацию поливной воды в г/л

$$C = 0.066 + 0.114 + 0.196 + 0.567 + 0.088 + 0.456 = 1.487 [\text{г/л}] \approx 1.5 [\text{г/л}]$$

Степень солености воды и опасность засоления почв при использовании воды данного химического состава оценивается по рекомендации табл. 3. Данная поливная вода попадает в группу 4 – вода очень высокой солености (концентрация солей г/л 1.0–3.0).

Таблица 3

**Классификация засоленности природных вод для целей орошения и соответствие минерализации воды и её электропроводности в мСм/см. (по «Soil Survey Manuel. US Department of Agriculture», 1988)**

Классификация вод	Приблизительная концентрация солей, г/л	Электропроводность, мСм/см
1. Вода низкой солености. Пригодна для орошения большинства культур на большинстве почв.	<0.2	<0.25
2. Вода средней солености. Используют в условиях умеренного выщелачивания. Культуры средней солеустойчивости можно выращивать, не применяя мер для борьбы с засолением.	0.20-0.50	0.25-075
3. Вода высокой солености. Даже при хорошем дренаже могут потребоваться мероприятия по борьбе с засолением. Следует выбирать культуры, обладающие высокой солеустойчивостью.	0.50-1.00	0.75-2.25
4. Вода очень высокой солености, непригодна для орошения в обычных условиях. Полив при следующих условиях: высокая проницаемость почв, дренаж, солеустойчивость культур.	1.00-3.00	>2.25

**Примечание:** при засолении вод более 10–35 г/л (сильно соленые, рассолы) определение засоления вод электрометрическим методом не надежно.

## Задача 2. Определить пригодность воды для полива по ее химическому составу и вероятность осолонцевания почв в результате орошения

**Дано:** Химический состав поливных вод (см задачу 1).

$\text{Ca}^{2+} - 3.3$ ,  $\text{Mg}^{2+} - 9.5$ ,  $\text{Na}^+ - 8.5$ ,  $\text{SO}_4^{2-} - 9.5$ ,  $\text{Cl}^- - 2.5$ ,  $\text{HCO}_3^- - 9.3$

**Решение.** Для оценки возможности осолонцевания почв поливными водами, предложены формулы, учитывающие содержание в них иона натрия. Их использование позволяет охарактеризовать не только направление, но и степень выраженности процесса. В практике орошаемого земледелия применяют следующие формулы.

И.Н. Антипов-Каратаев и Г.М.Кадер (1961) предложили использовать в этих целях показатель критического отношения (ПКО) суммы катионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  к  $\text{Na}^+$  в оросительной воде (ммоль/л) и общую концентрацию солей в воде – С (г/л)

$$ПКО = \frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{\text{Na}^+} \quad (8)$$

Если это отношение равно или выше 0.23С, то такая вода благоприятна для полива и обеспечивает ионно-обменное равновесие с контактируемой почвой при 10% (от емкости поглощения почвы) содержания  $\text{Na}^+$  в ППК. При меньших значениях вода считается непригодной для орошения и нуждается в улучшении путем внесения гипса.

Содержание  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = 3.3 + 9.5 = 12.8$  ммоль/л; общая минерализация (см. задачу 1)  $C = 1.487$  г/л, содержание  $\text{Na}^+$  составляет 8,5 ммоль/л. Рассчитываем ПКО.  $12.8 : 8.5 \approx 1.51$ ;  $0.23 \cdot 1.487 \approx 0.34$ ;  $1.51 > 0.34$ . Таким образом, данная вода считается благоприятной для полива и обеспечивает ионно-обменное равновесие с контактируемой почвой при 10% (от емкости поглощения почвы) содержания  $\text{Na}^+$  в ППК.

Учитывая, что магний в больших количествах, подобно натрию, отрицательно воздействует на свойства почв, Сабольч и Дараб считают, что одним из важнейших качественных критериев поливной воды является процентное содержание в ней магния (катионы в соотношении должны быть выражены в мг-экв/л).  $\text{Mg}^{2+}$  оказывает вредное воздействие на почву, если

$$\frac{\text{Mg}^{2+} \times 100}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} > 50 \quad (9)$$

Для данной воды этот показатель равен  $9.5 \cdot 100 : (3.3 + 9.5) = 74.2$ , то есть магний может оказывать отрицательное воздействие на почву.

В основе зарубежных классификаций по оценке ирригационных вод лежит величина SAR (Sodium adsorption ratio), предложенная лабораторией засоленных почв Министерство сельского хозяйства США:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}, \quad (10)$$

С помощью SAR определяется вероятность вхождения  $Na^+$  в ППК и развитие в почвах осолонцевания. Этот показатель позволяет дать прогноз, при каком составе ирригационных вод доля  $Na^+$  в составе обменных оснований превысит допустимые пределы. Критические величины SAR ставятся при этом в тесную зависимость от опасности засоления почв, что определяется общей минерализацией поливной воды. Чем выше опасность засоления почв, тем более низкими являются критические величины SAR (табл. 4).

В связи с тем, что опасность засоления почв в природной обстановке определяется не только минерализацией вод, но и зависит от целого ряда других факторов (свойств почв и грунтов, климатических показателей), для почв степной зоны рекомендуется считать граничной величиной SAR – 8–10 (Безднина, 1984; Новикова, 1979; Минашина, 1970).

Оперируя величиной SAR, необходимо учитывать, что теоретические основы величины SAR базируются на теории ионного обмена, описываемой уравнением Гапона, в котором при расчетах использованы активности ионов. Однако на практике при расчете SAR обычно используют, не активности ионов  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , а их общую концентрацию (Воробьева, 1984). В тоже время установлено, что в оросительных водах, как и в почвенных растворах, наряду со свободными ионами присутствуют различные ассоциаты. Однако, при невысоких концентрациях ионов в поливной воде, при её низкой и средней солености продолжают рассчитывать величину SAR на основе величин концентраций ионов Ca, Na и Mg, основываясь на том, что коэффициент активности в разбавленных растворах (при ионной силе  $< 0.025$ ) приближается к единице.

По таблице 4 определяем качество поливной воды по значению SAR.

Для химического состава поливной воды, приведенной в задаче 1 (напоминаем, –  $\text{Ca}^{2+} - 3.3$ ,  $\text{Mg}^{2+} - 9.5$ ,  $\text{Na}^+ - 8.5$ ,  $\text{SO}_4^{2-} - 9.5$ ,  $\text{Cl}^- - 2.5$ ,  $\text{HCO}_3^- - 9.3$  в ммоль/л) рассчитываем SAR. По нашим расчетам  $\text{SAR} = 3.36$ , что при средней минерализации (см. задачу 1), в которой рассчитывали общую минерализацию, величина SAR указывает на низкую вероятность осолонцевания (таблица 4).

Таблица 4

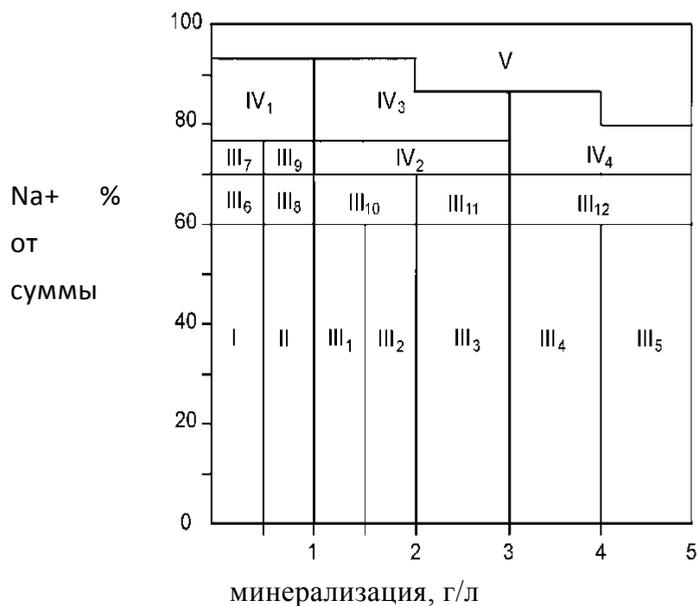
**Опасность засоления и осолонцевания почв оросительными водами в зависимости от их минерализации и значений SAR (цит. по Зайдельману, 2003)**

Общая минерализация воды, г/л	Опасность засоления почв	Опасность осолонцевания почв, SAR			
		Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая
<1	Низкая	8-10	15-18	22-26	>26
1 – 2	Средняя	6-8	12-15	18-22	>22
2 – 3	Высокая	4-6	9-12	14-18	>18
>3	Очень высокая	2-4	6-9	11-14	>14

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} = \frac{8.5}{\sqrt{\frac{3.3+9.5}{2}}} = \frac{56.5}{4.14} \approx 3.36$$

Степень солености воды и опасность засоления почв при использовании воды данного химического состава оценивается по рекомендации табл. 4 и рис. 2.

В нашем случае минерализация равна 1.5 г/л и  $\text{Na}^+$  от суммы катионов в ППК составляет 40%. По таблице 4 вода попадает в категорию средней опасности засоления почв и по Бездиной (рис. 3) в категорию  $\text{III}_1$  – вода ограниченной пригодности и нуждается в улучшении.



**Рис. 2** Классификация минерализованных вод по степени их пригодности для орошения (Безднина, 1984).

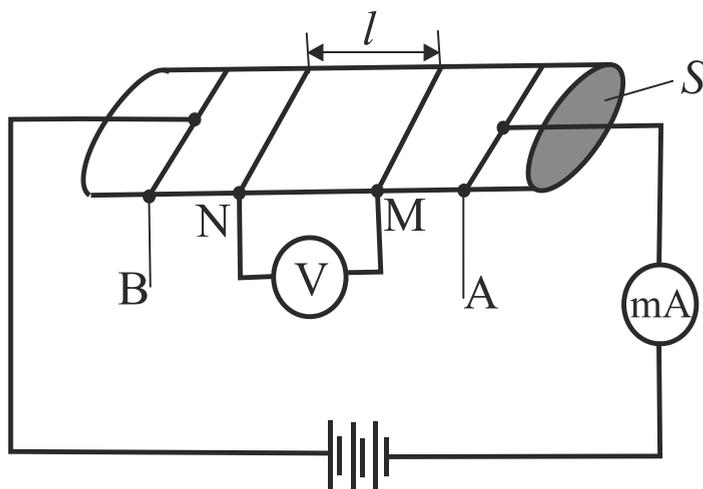
- I – воды вполне пригодны для орошения всех типов почв
- II – воды пригодны для орошения большинства типов почв
- III – воды ограниченно пригодны  
 (III<sub>1-5</sub> – нуждаются в улучшении разбавлением,  
 III<sub>6-7</sub> – нуждаются в химической мелиорации,  
 III<sub>8-12</sub> – нуждаются в разбавлении и химической мелиорации).
- IV – воды условно пригодны  
 (IV<sub>1</sub> – нуждаются в химической мелиорации,  
 IV<sub>2,4</sub> – нуждаются в разбавлении и химической мелиорации).
- V – воды не пригодны для орошения.

### ЗАНЯТИЕ 3. (4 часа)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЛИВНОЙ ВОДЫ ПО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

Для определения степени засоления почв и оценки качества воды, используемой при орошении, широко используют величину удельной электропроводности (ЕС) или удельного сопротивления. Известно, что удельная электропроводность ( $\kappa$ , См/м) и удельное сопротивление (Ом/м) связаны обратно пропорциональной зависимостью.

Поясним, почему используется для мелиоративной характеристики природных вод и почв по засоленности именно удельная электропроводность. Вспомним, что общее сопротивление ( $R$ , ом) некоторого проводника сечением  $S$  (м<sup>2</sup>) и длиной  $l$  (м) будет прямо пропорционально удельному электрическому сопротивлению ( $\rho$ ), его длине и обратно пропорционально площади сечения: (см. рис. 4).



**Рис. 4.** Схема Шлюмберже для измерения удельной электрической проводимости почв и природных вод

Учитывая, что контролировать длину и площадь поперечного сечения почвенного образца затруднительно, затруднительно потом и сравнивать полученные величины  $R$  различных объектов, лучше уж сразу получать и сопоставлять величины электрического сопротивления, характеризующие природные качества объектов – его минерализацию, состав солей и пр. А это характеристика удельного электрического сопротивления ( $\rho$ , Ом/м), или удельной электрической проводимости ( $\kappa$ , См/м).

Именно эти физические величины удельной электрической проводимости (англоязычное сокращений EC – electrical conductivity) или удельного электрического сопротивления и используют в мелиоративной практике для оценки и характеристики засоления почв и природных вод. Электропроводность обычно обозначается греческой буквой ( $\kappa$ ) и имеет размерность в системе СИ сименс на метр ( $\kappa = 1/(\text{Ом м}) = \text{См/м}$ ).

Следует учесть, что использование этих величин имеют размерности, как физически обоснованные, приведенные выше, так и исторически сложившиеся в практике. Например, в американской почвенной службе, сначала использовали физическую размерность электропроводности [ $\text{Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ ], позже, учитывая природное варьирование этой величины (которая, как правило, в тысячи раз меньше) начали использовать [мом-1], а затем, чтобы избавиться от степени при размерности ом, решили просто переставить буквы, показывая тем самым, что используется величина обратная [Ом]. Так появилась величина [ммо], а точнее [ммо/м] или [ммо/см], либо в англоязычной литературе [mmhos/cm]. Тогда, измеряя удельную электропроводность (ЕС) растворов, можно их классифицировать по содержанию солей (табл. 3).

Удельная электрическая проводимость применяется не только для определения минерализации поливных вод, но и для характеристики засоления почв, т.е. в мелиоративных целях. Для этого надо иметь в виду, что итоговая (измеряемая) удельная электропроводность почв будет существенно зависеть от содержания воды (влажности). Поэтому в практических целях для оценки засоления почв используются стандартизированные соотношения почва:вода, например, 1:2. Если это соотношение почва: вода одинаково для всех проб, то удельная электропроводность почв будет определяться в основном содержанием ионов, т.е. засолением. Поэтому измерения в пастах необходимы, чтобы гомогенизировать почвенный образец и получить электрическое сопротивление с устранением фактора влажности, температуры и неоднородности образца. В таком случае величины электрического сопротивления более точно характеризуют физико-химические и генетические особенности почв.

## **Измерение электропроводности почвенных паст для характеристики засоления почв и природных вод с помощью прибора LandMapper ERM-02 и кондуктометра ЕС-3587**

Во всех методах при измерениях электрического сопротивления можно использовать специально разработанный для этих целей прибор LandMapper ERM-02, использующий выше указанную четырехэлектродную схему Шлюмберже и выдающий показания удельного электрического сопротивления. Можно также использовать кондуктометр, который дает прямые показания удельной электропроводности и имеет большие преимущества. Он более простой в обращении и широко используется при разных исследованиях, хотя имеет меньший диапазон измерений. Рассмотрим сначала работу прибора LandMapper ERM-02.

### **Характеристики и порядок работы с прибором LandMapper ERM-02**

Основное предназначение прибора – измерение электрических параметров почв: удельного электрического сопротивления, электропроводности и естественных электрических потенциалов.

Величина электрического параметра сразу «высвечивается» на дисплее прибора (рис. 5).

#### **Технические характеристики прибора**



**LandMapper™ ERM-02**

Диапазон измерения – от 0.1 Ом·М до 1Ом·М и выше  
Абсолютная погрешность измерения не более 2%  
Диапазон установки коэффициента – от 00,01 до 99.99  
Количество фиксированных коэффициентов – 10  
Количество ячеек памяти – 999  
Диапазон рабочих температур – от –10 до +40 ° С  
Влажность воздуха рабочая не более 5%  
Вес прибора не более 250 г. Питание – батарея типа РР3 напряжением 9.0 В  
Ток потребления – не более 7.0 мА

**Рис. 5.** Внешний вид LandMapper ERM-02

#### **Режимы работы**

Измерение электрического сопротивления почв с учётом коэффициента (К) с занесением в память прибора и компьютера.

Измерение электропроводности, естественных электрических потенциалов. Индикация и ввод коэффициента. Листинг ОЗУ. Стирание

содержимого ОЗУ. Индикация напряжения батареи питания. Регулировка контрастности надписей ЖКИ. Вывод информации в компьютер.

### Кнопки управления

-  – Кнопка включения и выключения прибора по триггерному принципу.
-  – Кнопка поиска (сдвига) функций вверх. Многофункциональная кнопка листинга функций, коэффициента, коррекции значений коэффициента, номера ячейки, контрастности.
-  – Кнопка вниз. Многофункциональная кнопка листинга функций вниз, коэффициента, коррекции значений коэффициента, номера ячейки, контрастности;  – Кнопка вправо;  – Кнопка влево
- Comp** – Вилка для подключения компьютера.
- AB** – Гнёзда для подключения излучающих электродов АВ.
- MN** – Гнёзда для подключения измеряющих зондов MN.

### Порядок работы с прибором

1 Питающие АВ, электроды датчика с кюветой (почвенная паста) подключают к гнездам А и В прибора.

1.1. Измерительные электроды датчика MN, подключают к гнездам М и N прибора. Включают прибор.

2.1. Прибор включается кнопкой  На индикаторе прибора кратковременно высвечивается название модели, а затем прибор переходит в режим измерения.

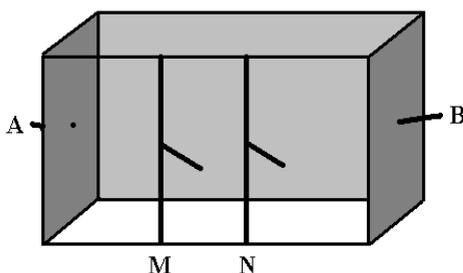
3. Режим измерения электрического сопротивления.

3.1. Путем одновременного нажатия кнопок вправо и вверх войти в режим коэффициентов К. Может появиться любая из девяти ячеек коэффициента и значение в них. Только первый коэффициент ( $K_0$ ) имеет стабильное не изменяемое значение равное 1. Если высветится именно этот коэффициент, изменить его порядковый номер нажатием кнопки «Вверх». А затем, после нажатия кнопки «Влево», начнет мигать определенная ячейка памяти и кнопками «вверх» или «вниз» установить нужное значение этой ячейки. Нажатием левой кнопки перейти к новой ячейке и в ней установить необходимое значение коэффициента. Перейти к следующей ячейке. Установив необходимый коэффициент, ввести его в память одновременным нажатием кнопок влево и вправо. Прибор готов к измерению.

Рассмотрим методику измерения электропроводности с использованием четырехэлектродной схемы (рис. 4).

Для измерений электропроводности (электрического сопротивления) в лаборатории в качестве датчиков наиболее удобно использовать плексигласовые кюветы (рис.6).

Кюветы используются не только при измерениях почвенных образцов в насыпном виде или в пастообразном состоянии, но и почвенных растворов, вытяжек, суспензий и грунтовых вод.



**Рис. 6.** Кювета для лабораторного измерения электрического сопротивления и электропроводности

Размеры кюветы могут быть различными. Удобна кювета размерами примерно 3 на 5 см в ширину и длину и 3 см в высоту. Сделана она из пластика или плексиглаза, не проводящего электрический ток. Боковые площадные электроды выполнены в виде пластин из металла, например, меди или других, не обязательно химически чистых.

Они выступают в роли электродов АВ. Из этого же материала выполнены и вплавленные в боковую стенку стержни или нити, выступающие в роли электродов MN.

Измерения в пастах необходимы для того чтобы стабилизировать фактор увлажнения и гомогенизировать почвенный образец, что дает возможность получить электрическое сопротивление с устранением фактора влажности, температуры и неоднородности образца. Величины электрического сопротивления в таком случае наиболее точно характеризуют текстурно-химическую и генетическую особенности почв.

При измерениях в кюветах получение «геометрического» коэффициента установки проводится не расчетным путем, как при точечных датчиках AMNB, а используется стандартный раствор какой-либо соли с известной электропроводностью (сопротивлением), например, хлористого натрия в диапазоне концентраций от 0.1 н до 0.01н (табличные величины при известной температуре).

В ходе определения электропроводности почвенная паста или раствор помещается в датчик таким образом, чтобы уровень жидкости или пасты строго совпадал с верхним краем датчика.

Следует иметь в виду, что удельная электропроводность паст определяется не только электропроводностью почвенного раствора, но и так называемой «поверхностной проводимостью». Она обозначается  $\kappa_s$ , связана с повышенной концентрацией ионов в ППК почвы и, соответственно, вносит свою долю в общую электропроводность почвенной пасты. Формально, это можно представить в виде:  $\kappa_n = \kappa_{p-pa} \cdot \beta + \kappa_s$ , где  $\kappa_n$  – удельная электропроводность почвенной пасты,  $\kappa_{p-pa}$  – электропроводность почвенного раствора,  $\beta$  – коэффициент структурного сопротивления, связанный с наличием твердой фазы почв, не проводящий электрический ток,  $\kappa_s$  – поверхностная электрическая проводимость. Все электропроводности имеют одинаковую размерность, – См/м, ммо/см или приведенные выше.

Параллельно с определением  $\kappa_t$  образца измеряют его температуру. Все величине  $\kappa_t$ , определенные в эксперименте с учетом измерения температуры, пересчитывают на  $\kappa_{25}$  по формуле

$$\kappa_{25} = \kappa_t [1 - (t - 25) \cdot 0.025] \quad (11)$$

(  $t$  – температура, при которой измеряют электропроводность )

### **Характеристики и порядок работы с кондуктометром ЕС-3587 – комбинированный ЕС/рН/Т–метр.**

При измерениях электропроводности все чаще используются современные измерители электропроводности (ЕС) – кондуктометры (рис 7.). Обычно такие устройства – многофункциональные, т.е. они позволяют измерять помимо электропроводности также рН (или влажность) и температуру, что делает их очень удобными в использовании. Примером такого прибора является ЕС-3587 – комбинированный ЕС/рН/Т–метр. Предназначение прибора ЕС-3587 – измерение удельной электрической проводимости, рН и температуры..



**Рис. 7.** Внешний вид прибора EC-3587 и схема устройства. 1 – крышка отделения для батареек, 2 – отделение с батарейками (4×1.5V AG-13), 3 – винт калибровки ЕС, 4 – винт калибровки рН, 5 – LCD экран, 6 – кнопка выбора температурной шкалы (°C/F) 7 – кнопка выбора параметра ЕС/рН, 8 – кнопка вкл/выкл, 9 – передающий электрод, 10 – влагозащитное кольцо, 11 – электроды, 12 – соединительное кольцо, 13 – защитная крышка.

*Технические характеристики прибора.*

1. Диапазон измерения рН: 0-14,00
2. Разрешения: 0,01 рН
3. Погрешность: 0.02 рН
4. Диапазон измерения ЕС (кондуктометр): 0.00- 19990us/cm (мкСм/см)
5. Разрешение: 10us/cm (мкСм/см)
6. Погрешность: ±2% F.S
7. Автоматическая температурная компенсация (АТС): 0°C — 50°C (32°F — 122°F)
8. Рабочая температура: 0°C — 50°C (32°F — 122°F)
9. Калибровка рН-метра: ручная по 2 точкам
10. Калибровка ЕС-метра (кондуктометра): ручная по 1 точке
11. Питание: 4×1.5V AG-13

12. Габариты: 188 \* 35 \* 35 mm  
 13. Питание – батарейки 4x1.5 V (AG13)  
 13. Вес: 98g

Комплектация:

1. Комбинированный ЕС/рН/Т метр РН/ЕС-3587
2. Коробка
3. Калибровочная отвёртка
4. Инструкция на английском и русском языках
5. Калибровочные порошки 6,86, 4,01.

### Задача 1. Измерить электропроводность воды и определить степень ее минерализации

Измерить электропроводность воды разной степени минерализации и определить степень минерализации для каждого вида воды. Необходимо измерить электропроводность воды с помощью LandMapper и кондуктометра. Также измеряют температуру воды с помощью кондуктометра.

**Измерения электропроводности воды прибором LandMapper ERM-02.** Для проведения измерений с LandMapper нужно определить константу датчика  $K$ . Для этого измеряют величину удельного сопротивления для стандартных растворов 0.01н и 0.1н KCl (в трехкратной повторности). Одновременно фиксируют температуру. Взяв из таблицы 5 величины  $k_t$  этих стандартных растворов для данной температуры, рассчитывают  $K$ . Данные заносят в соответствующую форму (таблица 6).

Таблица 5

**Удельная электропроводность стандартных растворов при разных температурах (мСм/см – миллисменс на сантиметр)**

Концентрация KCl	мСм/см при температуре °C				
	10 °	15 °	20 °	25 °	30 °
0.01н	1.020	1.147	1.278	1.413	1.552
0.1н	9.330	10.48	11.67	12.88	14.12

Таблица 6

**Форма записи. Определение константы датчика  $K$**

Датчик, дата	Повторность	Нормальность раствора KCl	$\rho$ , Ом·м	$K$
		0.01 н	7.82	
		0.1 н	0.856	

Перевод величин удельного электрического сопротивления в размерности Ом·м в величины удельной электропроводности в размерности мСм/см проводится по уравнению:

$$EC = 10 / (\rho \text{ Ом} \cdot \text{м})$$

Полученную константу вводят в LandMapper и затем последовательно проводят измерения, наливая в измерительную кювету воду или раствор и считывая показания по LandMapper, используя вышеприведенную инструкцию (см. порядок работы с прибором). Рассчитывают  $\kappa_{25}$  воды для разных вариантов и заносят в таблицу. Определяют степень минерализации по таблице 3 (см. выше). Провести сравнительный анализ воды из разных источников и предположить причины различий. Определить воду из под крана, дистиллят и разведенные растворы (разной концентрации) по вариантам (дает преподаватель).

Данные занести в таблицу 7.

Таблица 7

**Форма записи. Определение электропроводности растворов и степени минерализации (LandMapper).**

№ стакана	Повторность	Вид воды	T, °C	$\rho$ , мОм·см	$\kappa_{ср}$ , мСм/см	$\kappa_{25}$ , мСм/см	Степень минерализации

**Измерения электропроводности воды кондуктометром EC-3587.**

Измерения производят последовательно в стаканчиках с разной водой, после измерения ополаскивая электроды дистиллированной водой. В ходе определения электропроводности датчик помещается в почвенную пасту/раствор таким образом, чтобы уровень жидкости или пасты был выше уровня датчика как показано на рис. 8.

Порядок работы: 1 – Снимите защитный колпачок. Включите счетчик. 2. Погрузите электрод в тестируемый раствор. 3. После очистки электродов дистиллированной водой или спиртом высушите воду на пластиковом корпусе и стряхните мелкие капли с электродов, вставьте прибор в исследуемый раствор таким образом, чтобы измерительные электроды были

погружены в исследуемый раствор, а глубина погружения электродов не должна превышать длину электродов.

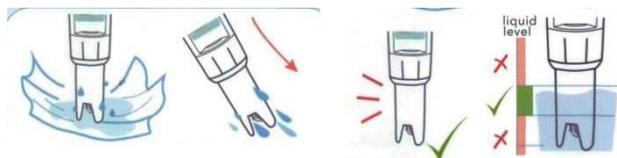


Рис. 8. Правила использования кондуктометра

**NB! Прибор выдает результаты в 0.1 мкСм/см, чтобы перевести в мСм/см необходимо разделить полученные данные на 100.**

Данные заносят в таблицу 8, Определяют степень минерализации по таблице 3 (см. выше). Также провести сравнительный анализ воды из разных источников и предположить причины различий.

Таблица 8

**Форма записи. Определение степени минерализации поливной воды по удельной электропроводности (кондуктометр)**

№ стакана	Повторность	Вид воды	Т, °С	К, мкСм/см *0.1	К <sub>ср</sub> , мкСм/см *0.1	К <sub>25</sub> , мкСм/см *0.1	*К <sub>25</sub> , мСм/см	Степень минерализации

\*Примечание Прибор выдает результаты в 0.1 мкСм/см, чтобы перевести в мСм/см необходимо разделить полученные данные на 100.

**Задача 2. Определить электропроводность почвенной пасты с разной степенью засоления**

Подготавливают 5 фарфоровых чашек с почвой. Готовят пасту с соотношением почва/вода = 1/1. Для этого берут около 50 г растертой и просеянной через сито 1 мм воздушно-сухой почвы, помещают в фарфоровую чашку, добавляют дистиллированную воду, перемешивают, закрывают крышкой. В первую чашку соль не вносят – контроль. В

остальные чашки к почве добавляют навески соли (0.2, 0.5, 0.75, 1.25 г NaCl). Затем последовательно в каждую чашку добавляют дистиллированную воду (50 мл) и тщательно перемешивают чистым шпателем, закрывают крышкой и оставляют на час для достижения равновесия.

Для измерения электропроводности пасты прибором LandMapper, пасту помещают в измерительную кювету, и проводят измерения в трех повторностях по вышеприведенной методике измерения электропроводности воды. Кюветы промывают после каждого измерения. Полученные данные заносят в таблицу 9 и определяют степень засоления почв для почвенных паст по таблице 11.

Кондуктометром РН/ЕС-3587 электропроводность определяют в трех повторностях в каждой кювете (чашке), измеряют температуру пасты. После каждого определения кондуктометром электроды промывают дистиллированной водой и промакивают бумажной салфеткой. Полученные данные заносят в таблицу 10 и определяют степень засоления почв для почвенных паст по таблице 11.

Таблица 9

**Форма записи. Определение электропроводности пасты и класса засоления почвы (LandMapper)**

№ образца	Повторность	m соли, г	m почвы, г	T, °C	$\rho$ , МОм·см	$K_{ср}$ , мСм/с м	$K_{25}$ , мСм/с м	% засоления	Класс засоления

Таблица 10

**Форма записи. Определение электропроводности пасты и класса засоления почвы (кондуктометр)**

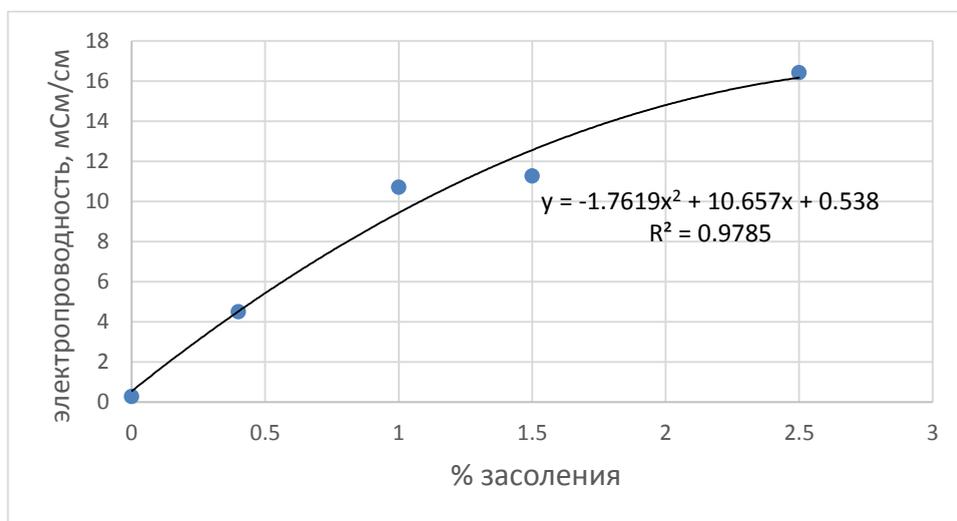
№ образца	Повторность	m соли, г	m почвы, г	T, °C	$K_{ср}$ , мСм/с м	$K_{25}$ , мСм/с м	* $K_{25}$ , мСм/с м	% засоления	Класс засоления

Строят графики зависимости электропроводности почвы от концентрации соли (рис. 9).

Таблица 11

**Классификация засоления почв по удельной электропроводности «Soil Survey Manuel. US Department of Agriculture». 1988**

	Незасоленные	Очень слабозасоленные	Слабосреднезасоленные	Среднезасоленные	Сильнозасоленные
K <sub>250</sub> , мСм/см	<2	2–4	4–8	8–16	> 16



**Рис 9.** График зависимости электропроводности от степени засоления (кондуктометр)

## ЗАНЯТИЕ 4 (4 часа)

### МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Цель занятия – ознакомить студентов с диагностикой и классификацией солончаков и солончаковатых почв с типами засоления по анионному и катионному составу солей, понятием токсичные ионы и их расчетом, определением объема промывных норм, диагностикой и классификацией солонцов и солонцеватых почв, методикой определения норм гипса.

Вопросы для самостоятельной подготовки студента к занятию

1. Тип химизма и степень засоления почв.
2. Определение и диагностика солончаков и солончаковатых почв.
3. Определение и диагностика солонцов и солонцеватых почв.
4. Удаление солей из профиля засоленных почв.
5. Расчет промывной нормы по В.Р. Волобуеву.
6. Мелиорация солонцов способом гипсования.

*Литература:* Ф.Р. Зайдельман. Мелиорация почв. 2003. Изд-во МГУ.

#### **Расчеты химического состава воды при взаимодействии с почвами при различном составе почвенного поглощающего комплекса**

**Гомогенные реакции.** Это реакции, происходящие в одной фазе, например, водных растворах. Из теоретических основ гомогенных и гетерогенных реакция, происходящих в почвах, известно, что в самом общем виде уравнение ионных взаимодействий (однородных фаз) можно записать:



Это простое равновесие показывает, что если вступает  $n_a$  молекул вещества  $A$  с  $n_b$  молекулами вещества  $B$ , то при гомогенном ионном обмене образуются  $n_c$  молекул вещества  $C$  и  $n_d$  молекул вещества  $D$ . Это самая общая качественная запись. Для количественных термодинамических расчетов необходимо использовать понятие активности:  $\mu_i = \mu_0 + RT \ln a_i$ , где  $a$  – активность, которая связана с концентрацией через коэффициент активности

$\gamma$ :  $a_i = \gamma_i \cdot c_i$ , где концентрация вещества и активность имеют одинаковую размерность [моль/л], а коэффициент активности, соответственно, – безразмерный. С использованием активности для любой гомогенной реакции в состоянии равновесия будет справедливо равенство

$$K_{\text{равн}} = \frac{a_D^{n_D} \cdot a_C^{n_C}}{a_A^{n_A} \cdot a_B^{n_B}}$$

Зная константу равновесия, а также активность ионов в растворах, можно использовать во всех случаях, когда исследуемая реакция имеет место. Для этого используют понятие ионной силы раствора ( $I$ ):

$$I = \frac{1}{2} (c_1 z_1^2 + c_2 z_2^2 + \dots + c_n z_n^2),$$

где  $c$  – концентрация, а  $z$  – заряд соответствующих ионов, присутствующих в растворе. Вот с использованием понятия ионной силы и рассчитывают коэффициенты активности по различным формулам. Так как в почве обычно растворы не очень концентрированные (за исключением оговоренных случаев) в почвоведении обычно используют уравнение Дебая-Хюккеля:

$$-\lg \gamma_i = \frac{z_i^2 \cdot A \sqrt{I}}{1 + r_0 \cdot B \sqrt{I}},$$

в котором  $A$ ,  $B$ ,  $r_0$  – некоторые константы, зависящие от температуры. Они есть в различных таблицах, «зашиты» в модели расчета концентрации ионов в природных водах.

Теперь для расчета продуктов гомогенной реакции (происходящей в одной фазе, например, в водной) у нас имеется все необходимые данные, по которым можно рассчитать активности и концентрации продуктов химической реакции, зная соответствующие коэффициенты активности.

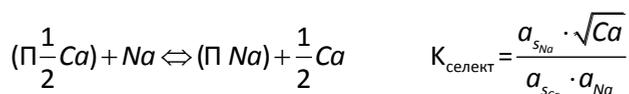
Гетерогенные химические реакции. Это реакции с участием твердофазных продуктов, имеющих обменный комплекс, в почвоведении его обычно обозначают ППК – почвенный поглощающий комплекс. И для этих реакций используют вышеприведенный подход с применением активностей. Катион обменный процесс по Гапону представляют следующим образом:

$$A_{1/z_A} \Pi + \left( \frac{1}{z_B} \right) B^{z_{B^+}} \square B_{1/z_B} \Pi + \left( \frac{1}{z_A} \right) A^{z_{A^+}}$$

$$K_{\text{селект}A-B} = \frac{a_{s_B} \cdot a_A^{1/z_A}}{a_{s_A} \cdot a^{1/z_B}}$$

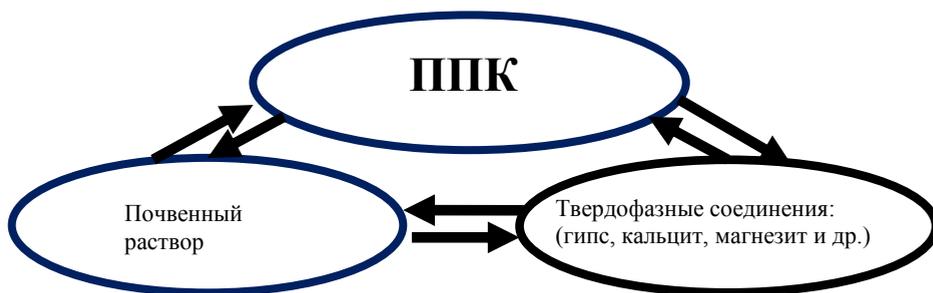
где  $A$  и  $B$  пара обменных катионов с зарядами  $z_A$  и  $z_B$ ,  $a_{s_B}$  – активность соединения «Катион  $B$  – ионообменный комплекс», а  $a_{s_A}$  – активность соединения «Катион  $A$  –ионообменный комплекс».

Например, для обмена иона  $Ca$  на  $Na$



Следует отметить, что большинство современных моделей используют именно подход Гапона для описания обменных процессов. Вообще-то, коэффициенты селективности не являются постоянными и тем более табличными величинами, а зависят от состава фаз. Поэтому должны находиться из эксперимента, а результаты этих экспериментов «защиты» в базе данных математической модели. Такая база данных для ряда почв имеется в модели LIBRA, что позволяет проводить расчеты химических реакций, проходящих в реальной почве при изменении содержания какого-либо иона как в растворе, так и в ППК.

Схематично указанные гомогенные и (гетерогенные) реакции можно представить на рис. 10.



**Рис. 10.** Схема равновесных физико-химических гетерогенных реакций в почвах.

Приведенная схема кратко поясняет структуру работы программы физико-химических равновесий в почве и природных водах. Например, если мы имеем природную воду некоторого химического состава, то, вследствие возможных химических реакций часть ионов перейдет в нерастворимое твердофазное соединение (стрелка от «почвенного раствора» к «твердофазным соединениям»). Возможно, за счет изменения состава почвенного раствора (часть ионов-то ушла в твердую фазу) сложилось новое равновесие, которое может вызвать растворение твердого осадка (стрелка от «твердофазных соединений» к «почвенному раствору»). Если же в обменных реакциях принимает участие и почвенный поглощающий комплекс, то при изменении порового раствора, не только часть ионов перейдет в твердофазное соединение, но и примет участие в обмене ионов а почвенном поглощающем комплексе (стрелка от «почвенного раствора» к «ППК»), что в свою очередь вызовет изменение равновесия в системе «твердофазные осадки» – «почвенный раствор». Сложится новое равновесие. Оказывается, все три компонента так связаны друг с другом физико-химическими реакциями – если меняется один из них, то обязательно последуют изменения и в двух других. Представить и предположить все возможные взаимосвязанные изменения во 3-х компонентах чрезвычайно сложно. Для этого была создана модель солевых равновесий в почвах LIDRA. Математическая модель создана в Институте почвоведения и фотосинтеза РАН под руководством профессора Я.А. Пачепского, сотрудниками Е.В. Мироненко и Р.А. Щербаковым.

### **Задача 1. Определить по данным водной вытяжки тип засоления**

По таблице 12 нужно определить тип засоления по анионному и катионному составу. В наименовании типа засоления включают анионы, содержание которых превышает 20% от общей суммы анионов (ммоль-экв/100 г); преобладающий анион должен находиться на последнем месте. Содержание аниона  $\text{CO}_3^{2-}$  в расчет не включают, так как он входит в величину общей щелочности. Если в водной вытяжке при значительном преобладании анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  присутствуют (хотя бы в одном горизонте почвы) ионы  $\text{CO}_3^{2-}$  менее 20% от суммы мг-экв анионов, но более 0.03 мг-экв на 100 г почвы, засоление определяют по соотношению преобладающих ионов с добавлением к названию “с участием соды”. То же следует делать в

отношении ионов  $\text{HCO}_3^-$ , если количество их в водной вытяжке превышает 1.0 мг-экв на 100 г почвы, а  $\text{HCO}_3^-$  больше  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  (ммоль-экв).

Если повышенное содержание  $\text{HCO}_3^-$  обусловлено  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , тип засоления определяют как гидрокарбонатный.

Таблица 12

Тип засоления по анионному и катионному составу солей

Тип засоления	Отношение анионов, ммоль-экв/100 г почвы			Отношение катионов и анионов, ммоль-экв
	$\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$	
Хлоридный и сульфатно-хлоридный	1,0-2,5 и более	-	-	-
Хлоридно-сульфатный	0,2-1,0	-	-	-
Сульфатный	<0,2	-	-	-
Содово-хлоридный	>1	<1	>1	$\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$
Содово-сульфатный	<1	>1	<1	— ” —
Хлоридно-содовый	>1	>1	>1	— ” —
Сульфатно-содовый	<1	>1	>1	— ” —
Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный	-	>1	>1	$\text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+}$ $\text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+}$ $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+$

**Дано:** Химический состав водной вытяжки (ммоль-экв/100 г почвы) (Приложение таблица б).

## Задача 2. Определить степень засоления почв по сумме солей в зависимости от химизма засоления

Определить степень засоления почв по сумме солей (по плотному остатку) в зависимости от химизма засоления по горизонтам (табл. 13).

**Дано:** Химический состав водной вытяжки (ммоль-экв/100 г. почвы) (Приложение таблица б).

Таблица 13

**Классификация почв по степени засоления в зависимости от химизма засоления, % сухого (плотного остатка) в водной вытяжке при соотношении почва-вода 1:5 (Базилевич, Панкова, 1972; Панкова и др., 1996)**

Степень засоления почв	Химизм засоления (соотношение ммоль-экв)					
	Нейтральное засоление			Щелочное засоление		
	Хлоридный и сульфатно-хлоридный	Хлоридно-сульфатный	Сульфатный	Хлоридно-содовый и содово-хлоридный	Сульфатно-содовый и содово-сульфатный	Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный
Незасоленные	<0.10	<0.20	<0.30	<0.10	<0.15	<0.20
Слабо засоленные	0.10-0.20	0.20-0.40	0.30-0.60	0.10-0.20	0.15-0.25	0.20-0.40
Средне засоленные	0.20-0.40	0.40-0.60	0.60-0.80	0.20-0.30	0.25-0.40	0.40-0.50
Сильно засоленные	0.40-0.80	0.60-1.00	0.80-1.50	0.30-0.50	0.40-0.60	Не встречаются
Очень сильно засоленные	>0.80	>1.00	>1.50	>0.50	>0.6	

### Задача 3. Определение средневзвешенного содержания солей в профиле

Необходимо определить средневзвешенное содержание солей в профиле по плотному остатку для засоленных почв по формулам 12-13.

**Дано:** Химический состав водной вытяжки (ммоль-экв/100 г почвы), плотность сложения почвы (Приложение таблица 6).

1. Рассчитать запас солей в профиле почвы, т/га

$$S = s \cdot \rho_b \cdot h \quad (12)$$

где  $S$  – запас солей; т/га,  $\rho_b$  – плотность сложения сухой почвы, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – мощность слоя, см;  $s$  – содержание солей, % от массы почвы.

2. Определить средневзвешенное содержание солей в рассоляемом слое,  $h$ , %

$$S = \frac{s_1 \rho_1 h_1 + s_2 \rho_2 h_2 + \dots + s_n \rho_n h_n}{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_n h_n} = \frac{\sum S \rho h}{\sum \rho h}, \quad (13)$$

где  $S$  – средневзвешенное содержание солей, %;  $\rho_b$  – плотность сложения сухой почвы, г/см<sup>3</sup>;  $s_1, \dots, s_n$  – содержание солей, %;  $h$  – мощность расчетного слоя, см.

#### Задача 4. Расчет промывной нормы по средневзвешенному содержанию солей в профиле

**Дано:** Химический состав водной вытяжки (ммоль-экв/100 г почвы), плотность сложения почвы (Приложение таблица 6).

Определить промывную норму по формуле В.Р. Волобуева:

$$M = 10000 \cdot \alpha \cdot \lg \frac{S_H}{S_0}, \quad (14)$$

где  $M$  – промывная норма ( $\text{м}^3/\text{га}$ );  $\alpha$  – показатель солеотдачи, определяемый по данным опытно производственных промывок (таблица 14);  $S_H$  – содержание солей в промываемом слое почвогрунта до промывки (% от массы почвы);  $S_0$  – допустимое содержание солей (% от массы почвы).

Промывка считается завершенной, если допустимое содержание солей ( $S_0$ ) в почвогрунтовой толще не превышает следующие величины в зависимости от типа засоления почв (% от массы)

Хлоридное	0.2
сульфатно-хлоридное	0.3
хлоридно-сульфатное и сульфатное	0.4

Таблица 14

#### Значения показателей солеотдачи $\alpha$ в зависимости от химического и гранулометрического состава промываемых почв (Волобуев, 1975)

Гранулометрический состав	Тип солей			
	Хлоридный	Сульфатно-Хлоридный	Хлоридно-Сульфатный	Сульфатный
Песчаный, супесчаный	0.62	0.72	0.82	1.18
Суглинистый	0.92	1.02	1.12	1.41
Суглинистый и глинистый	1.22	1.32	1.42	1.78
Глинистый	1.80	1.90	2.10	2.40
Слитые глинистые почвы	2.70	2.80	3.00	3.30

### **Задача 5. Определить вид солонца по содержанию поглощенного натрия и емкости поглощения, и норму гипса для рассолонцевания**

**Дано:** содержание поглощенного натрия и емкость поглощения (мг-экв на 100 г почвы), плотность сложения почвы ( $\text{г/см}^3$ ) и мощность пахотного слоя (см) (Приложение таблица 7).

По содержанию поглощенного натрия и емкости поглощения определить:

1. Вид солонца по содержанию поглощенного натрия в солонцовом горизонте (по таблице. 15).
2. Рассчитать количество гипса, необходимого для замены избытка поглощенного натрия на кальций (по Гедройцу)

$$M = 0.086 (\text{Na}^+ - 0,05T)h \cdot \rho_b, \quad (15)$$

где  $M$  – мелиоративная норма гипса (т/га  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ );  $T$  – емкость поглощения (мг-экв на 100 г почвы);  $0,05T$  – при расчетах норм гипса допускают, что до 5% натрия от емкости поглощения может оставаться в почве. Такое количество натрия не отражается отрицательно на ее свойствах;  $\text{Na}^+$  – содержание поглощенного натрия (мг-экв на 100 г почвы);  $0,086$  – коэффициент пересчета при определении количества гипса (т), необходимого для вытеснения поглощенного натрия из одной тонны почвы;  $h$  – мощность пахотного слоя (см);  $\rho_b$  – плотность сложения сухой почвы,  $\text{г/см}^3$ .

**Классификация солонцов («Классификация и диагностика почв СССР», 1977)**

Тип	Подтип (по зональному признаку)	Род*	Вид*
Автоморфные, грунтовые воды ниже 6 м	Черноземные Каштановые Бурые полупустынные	По химизму, типу засоления: содовые, смешанные (содово-сульфатные, содово-хлоридно-сульфатные); нейтральные (сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные)	По мощности над-солонцового горизонта А1: корковые (до 3 см); мелкие (3–10 см); средние (10–18 см); глубокие (>18см)
Полугидроморфные, грунтовые воды на глубине 3-6 м	Лугово-черноземные Лугово-каштановые Луговобурые полупустынные Лугово-мерзлотные	По глубине засоления (верхняя граница солевых выделений): солончаковые – легкорастворимые соли на глубине 5-30 см; высоко-солончаковатые – 30-50 см; солончаковатые – 50-100 см; глубоко солончаковатые – 100-200 см; несолончаковатые (глубокозасоленные) > 200 см.	По содержанию поглощенного Na в солонцовом горизонте: остаточные до 10%; малонатриевые – 10-25%; средненатриевые – 25-40%; многонатриевые – >40%
Гидроморфные, грунтовые воды выше 3 м	Черноземно-луговые Каштаново-луговые Бурые полупустынные луговые Лугово-болотные Лугово-мерзлотные	По степени засоления: солонцы-солончаки; сильнозасоленные; средnezасоленные; слабозасоленные; незасоленные (встречаются редко) По глубине залегания карбонатов и гипса: высококарбонатные – выше 40 см; высококарбонатные – глубже 40 см; высокогипсовые – выше 40 см; высокогипсовые – глубже 40 см	По степени осолодения: слабоосолоделые; осолоделые; сильноосолоделые. По структуре солонцового горизонта В1: столбчатые; ореховатые; призматические; глыбистые

\*Разделение на роды и виды относится ко всем типам

## КОЛЛОКВИУМ 1

### **Почвенная гидрология и орошаемое земледелие**

Метеоусловия. Гидротермические показатели. Кривая обеспеченности осадков. Риски. Показатели влагообеспеченности: средние, абсолютные, суммарные, длительность, вероятность. Примеры использования.

Подземные воды. Верховодка, Грунтовые воды – водоносный горизонт, Схема залегания водоупоров. Типы подземных вод, подземные грунтовые, межпластовые безнапорные, межпластовые напорные (артезианские). Понятие о пьезометрии, Совершенные и несовершенные типы колодцев.

Состав оросительной сети: магистральный канал (трубопровода, лотка), распределители различных порядков, оросители, дождевальные (поливные) машины, дождевальные аппараты и поливные устройства (поливные трубопроводы, лотки, шланги). Поливы напуском по полосам, по бороздам. Виды дождевальных установок. Локальные способы орошения.

Устройства для контроля влажности температуры почвы, воздуха.

Оценка качества поливных вод. Засоление и осолонцевание. Контрольные показатели состава поливных вод и почв при опасности засоления и осолонцевания.

Контроль засоления вод и почв по электропроводности.

Мелиорация засоленных и осолонцованных почв. Расчеты промывных норм и доз гипса.

## ЗАНЯТИЕ 5 (4 часа)

### ОСУШИТЕЛЬНЫЕ МЕЛИОРАЦИИ

Горизонтальный и вертикальный дренаж. Расчеты. Использование физически обоснованных моделей.

Цель занятия – ознакомить студента с особенностями почв избыточного увлажнения, понятиями время и норма осушения, расчетными методами определения междренних расстояний, условиями применения кротового дренажа и методами определения устойчивости кротовых дрен, вопросами закупорки гончарного дренажа гидроокисью железа.

Вопросы для самостоятельной подготовки студента к занятию:

1. Определение коэффициента фильтрации ( $K_f$ ) для расчета дренажа в поле и в лаборатории.
2. Время и норма осушения
3. Глубина осушения и междренние расстояния.
4. Определения междренних расстояний осушаемых почв:
  - а) по гранулометрическому составу;
  - б) по формуле Хугхаудта.
5. Полевые и лабораторные методы определения коэффициента фильтрации для расчета дренажных систем.
6. Методы определения устойчивости кротовых дрен.
7. Закупорка дренажа гидроокисью железа и профилактические мероприятия по их защите.

*Литература:* Ф.Р. Зайдельман. Мелиорация почв. М.: МГУ. 2003.

Ф.Р. Зайдельман Мелиорация заболоченных почв Нечерноземной зоны РСФСР, М., 1981. С. 72-73; 103-105.

Формула Хугхаудта позволяет рассчитывать междренние расстояния для трех наиболее распространенных случаев действия дренажа.

1. Дрены лежат непосредственно на водонепроницаемом слое или чуть выше этого слоя. Преобладает горизонтальное сопротивление, радиальное незначительно и им можно пренебречь.

2. Водонепроницаемый слой находится на большой глубине (более 1/4 расстояния между дренами). Радиальное сопротивление оказывает большое влияние, горизонтальным сопротивлением можно пренебречь.
3. Глубина залегания водонепроницаемого слоя ниже дна дрены составляет менее 1/4 расстояния между дренами. Радиальное сопротивление не учитывают.

Для всех случаев Хугхаудт дает практическое решение с помощью следующей формулы:

$$E^2 = \frac{8Kf_2dh}{S} + \frac{4Kf_1h^2}{S}, \quad (16)$$

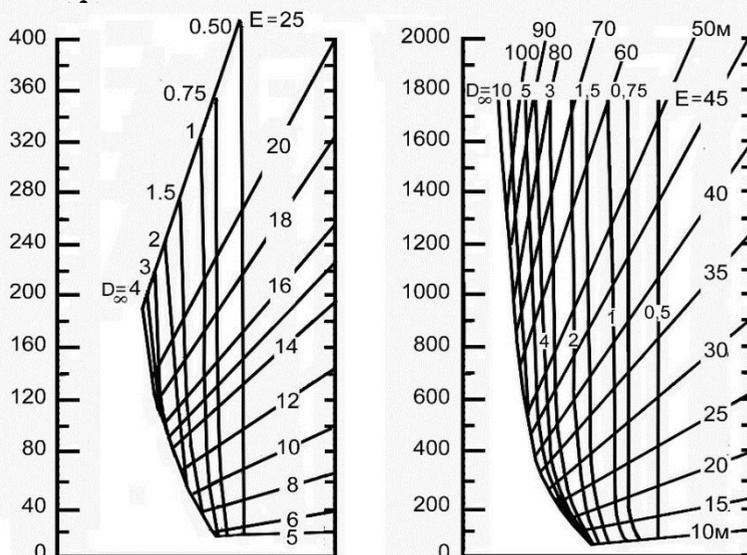
где  $E$  – расстояние между дренами, м;  $Kf_1$  – коэффициент фильтрации слоя почвы, расположенной выше дрены, м/сут;  $Kf_2$  – коэффициент фильтрации слоя почвы, расположенного ниже дрены, м/сут;  $h$  – допустимая высота зеркала грунтовых вод в середине междреннего пространства, м;  $d$  – фактор (м), эквивалентная толщина водоносного слоя ниже оси дренажной трубы до водоупора в зависимости от  $E$  (находим по табл. 17);  $D$  – расстояние от дрены до водоупорного слоя, м;  $S$  – максимальное количество отводимой воды осадков, м/сут. Первая часть формулы соответствует режиму грунтового потока на участке выше дрены.

*Расстояния между дренами могут быть определены двумя способами:* графическим с помощью номограммы (рис. 11) и аналитически с помощью таблицы 17 (методом приближения в процессе подбора и сравнения).

Студенту предлагается решить два варианта задачи определения междренних расстояний с использованием заданных значений  $Kf_1$ ,  $Kf_2$ ,  $S$ ,  $d$ . Все необходимые для расчетов данные приведены в условии задачи.



$8Kf_2h/S$   $E=5 \div 25$   $4Kf_1h^2/S$   $8Kf_2h/S$   $E=10 \div 100m$



**Рис. 11.** Номограмма для определения междренних расстояний по формуле Хугхаудта (по Эггельсманну, 1984).

### Задача 1. Определить междреннее расстояние по формуле Хугхаудта

Варианты исходных данных в Приложении таблица 8.

**Дано:**  $K_{f1} = 0.38$  м/сут;  $K_{f2} = 1.45$  м/сут;  $h = 0.5$  м;  $S=0.007$  м/сут;  $D = 2.4$  м

#### Решение.

Для заданных величин  $S=0.007$  и  $h=0.5$

$$8h/S = 570; \quad 4h^2/S = 145$$

Соответственно слагаемые в уравнении Хугхаудта равны

$$4K_{f1}h^2/S = 0.38 \cdot 145 = 55$$

$$8K_{f2}h/S = 1.45 \cdot 570 \approx 827 \text{ (без параметра } d)$$

1. Правая ось номограммы соответствует численному значению левой части уравнения Хугкаудта

2. Левая ось номограммы соответствует значению правой части уравнения без значения фактора  $d$ .

3. Первая номограмма предназначена для определения междренних расстояний от 5 до 25 метров.

4. Вторая номограмма для расстояний от 10 до 100 метров.

5. Соединяя прямой линией точки на левой оси и правой оси номограммы в точке пересечения этой прямой с вертикальной линией соответствующей положения водоупора ( $D$ ) определяем междреннее расстояние

Таблица 16

**Фактор  $d$  для расчета расстояния между дренами без номограммы (цит. по Эггельсману, 1984)**

$D, \text{ м}^*$	Фактор $d$ для расстояний между дренами, м										
	5	7,5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.50	0.47	0.48	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
0.75	0.60	0.65	0.69	0.71	0.73	0.74	0.75	0.75	0.75	0.76	0.76
1.00	0.67	0.70	0.80	0.86	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96
1.25	0.70	0.82	0.89	1.00	1.05	1.09	1.12	1.13	1.14	1.14	1.15
1.50	0.71	0.88	0.97	1.11	1.19	1.25	1.28	1.31	1.34	1.35	1.36
1.75	0.71	0.91	1.02	1.20	1.30	1.39	1.45	1.49	1.52	1.5	1.57
2.00	0.71	0.93	1.08	1.28	1.41	1.50	1.57	1.62	1.66	1.70	1.72
2.50	0.71	0.93	1.14	1.38	1.57	1.69	1.79	1.87	1.94	1.99	2.02
3.00	0.71	0.93	1.14	1.45	1.67	1.83	1.87	2.08	2.16	2.23	2.29
3.50	0.71	0.93	1.14	1.50	1.75	1.93	2.11	2.24	2.35	2.45	2.54
4.00	0.71	0.93	1.14	1.53	1.81	2.02	2.22	2.37	2.51	2.62	2.71
5.00	0.71	0.93	1.14	1.53	1.88	2.15	2.38	2.58	2.75	2.89	3.02

\* Расстояние от поверхности до водоупора

На левой и правой шкале номограммы (рис. 11) находим точки, соответствующие обоим значениям и соединяем их с помощью линейки. В точке пересечения с кривой  $D = 2.4$  м получаем значение  $E$ . В данном случае оно равно 41 м.

Проверяем значение  $E$  с помощью формулы 16. Согласно найденному значению  $E$  по номограмме 41 м. По таблице 16 при заданном параметре  $D = 2.4$  находим значение  $d = 1.94$ .

Подставляем фактор  $d$  формулу:

$$E = \sqrt{\frac{8 \times 1.45 \times 1.94 \times 0.5 + 4 \times 0.38 \times 0.25}{0.007}} = 40.8 \approx 41 \text{ м} \quad (17)$$

Расстояние между дренами составляет 41 м.

С помощью номограммы можно довольно точно определить расстояние между дренами. Это определение имеет два преимущества: быстрота расчета и быстрота в оценке относительной эффективности тех факторов, которые влияют на расстояние между дренами.

## Задача 2. Метод определения междренних расстояний по гранулометрическому составу почв

Варианты исходных данных в Приложении таблица 9.

**Дано:** гранулометрический состав дерново-подзолистой глееватой легко-суглинистой почвы на покровном лессовидном суглинке (табл. 17). Пашня, нижняя часть склона. Глубина заложения дрен 90 см.

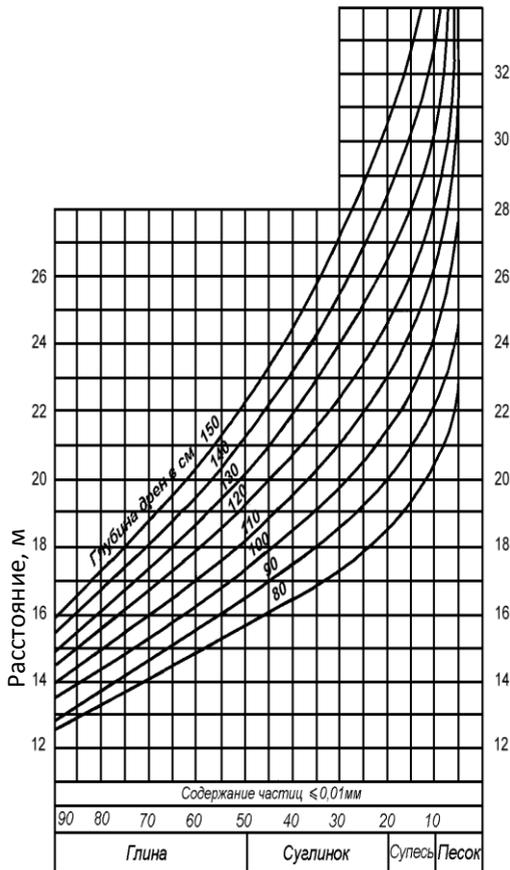
Таблица 17

Горизонт, глубина, см	Содержание частиц <0,01 мм, %
Ap 0-30	30.8
A2 30-45	37.1
A2B 45-58	49.2
B1 58-95	44.8
B2g 95-140	61.4

Метод определения междренних расстояний по гранулометрическому составу почв основан на предположении, что чем тяжелее почвы, тем меньше должны быть междренние расстояния.

На рис. 12 приведен график, отражающий зависимость междренних расстояний (м) и глубины заложения дрен от содержания в почве физической

глины (частиц менее 0.01мм), определенной по методу гранулометрического анализа почв Н.А. Качинского. Для более точного определения междренних расстояний необходимо учитывать ряд поправок к графику, связанных главным образом с особенностями осушаемого массива (табл. 18, 19). При содержании в почвах пылеватой фракции более 40% расстояния между дренами уменьшают на 20%.



**Рис. 12.** Номограмма для определения междренних расстояний по гранулометрическому составу

В слоистых неоднородных по гранулометрическому составу почвах междренние расстояния определяют с учетом свойств отдельных слоев. Междренние расстояния в этом случае оцениваются как арифметически средневзвешенная сумма междренних расстояний, свойственных отдельным слоям:

$$E = \frac{E_1(h_1 - a) + E_2h_2 + \dots + E_n(h_n + 0.2)}{H + 0.2 - a} \quad (18)$$

где  $E_1, E_2 \dots E_n$  – расстояние между дренами для слоев различного гранулометрического состава,  $h_1, h_2 \dots h_n$  – мощность слоев, м;  $a$  – мощность пахотного горизонта, м;  $H$  – расстояние от дневной поверхности до дрены, м; 0,2 м – зона локального влияния дрены.

**Решение.** С помощью номограммы (рис. 12) определяем междренные расстояния для каждого горизонта:  $A_p$  – 18,5 м;  $A_2$  – 18 м;  $A_2B$  – 16,5 м;  $B_1$  – 17 м, поскольку гор. В2г залегает глубже 90 см (заданная глубина закладки дрен) его в расчет не принимаем.

Таблица 18

**Поправочные коэффициенты междренных расстояний в зависимости от гранулометрического состава почв и их свойств**

Показатели	Сумма частиц									
	90	80	70	60	50	40	30	20	10	
При использовании почв под сенокосы	+10		+15			+20			+25	
Мощность гумусового горизонта $\geq 30$ см	+10			+5			0			
Карбонаты $CaCO_3$	+10			+5			0			
Степень оглеения										
слабые признаки оглеения	-15			-10			-5			
глееватые почвы	-25			-20			-10			
глеевые почвы	-35			-25			-15			
Водопроницаемые прослойки	+20		+15		+10			+5		

Таблица 19

**Дополнительные поправочные коэффициенты к значениям междренных расстояний в связи с гидрологическими особенностями осушаемой территории и рельефа**

Среднегодовая сумма осадков, мм	750	700	650	600	550	500
Поправка, %	-25	-10	0	+10	+25	+30
Уклоны	до 0,002		0,002-0,01		0,01-0,2	
Поправка, %	0		+15		+30	
Напорные воды	Расстояния уменьшают на 20-30%					
Признаки поступления ожелезненных грунтовых вод	Расстояния уменьшают на 10-20%					
Замкнутые котловины	Расстояния уменьшают на 20-30%					

Метод определения междренних расстояний по гранулометрическому составу осушаемых почв получил широкое распространение в практике проектирования и строительства закрытого керамического и пластмассового дренажа. Однако он пригоден только для определения междренних расстояний в почвах, образованных на кислых породах и имеющих элементарное (пески, супеси) или микроагрегатное (покровные, озерные, моренные и др. суглинки и глины) строение. Для почв макроагрегатной структуры, например, для пойменных, некоторых луговых и иных структурных почв этот метод непригоден.

Это объясняется тем, что в осушаемых почвах с хорошо выраженной структурой нарушается прямая зависимость между содержанием физической глины и их водопроницаемостью. В последнем случае расчет междренних расстояний по содержанию физической глины, как правило, приводит к резкому и неоправданному сгущению дренажа и нецелесообразному обезвоживанию почв.

Для определения междренних расстояний этим методом студент использует данные гранулометрического состава почвы и характеристику ее генетического профиля.

## ЗАНЯТИЕ 6 (4 часа)

### **Математическая модель BUDGET. Расчет режима орошения для некоторых сельскохозяйственных культур**

Физически обоснованная математическая модель BUDGET состоит из набора подпрограмм, описывающих процессы орошения (нормы и сроки полива), перераспределения влаги в почве, последующего потребления влаги растениями и испарения с поверхности почвы.

Если наблюдаются в расчетах периоды водного стресса, то в модели учитывается длительность и глубина водного стресса и с помощью соответствующих коэффициентов для различных культур учитывается результирующее снижение урожайности.

Выбрав соответствующие критерии времени и глубины профиля могут быть созданы графики орошения.

Модель рассчитывает также процессы засоления, которые могут возникнуть при поливе некачественной (засоленной) водой. Засоление оценивается в терминах удельной электропроводности почвенных паст (соответствующие таблицы оценки засоления по электропроводности паст приводятся в данном пособии).

Программа состоит из набора проверенных подпрограмм, описывающих различные процессы, связанные с извлечением воды корнями растений и перемещением воды в почвенном профиле. В периоды водного стресса сельскохозяйственных культур результирующее снижение урожайности оценивается с помощью коэффициентов реагирования на урожайность. Выбрав соответствующие критерии времени и глубины, можно составить графики орошения.

Климатические данные состоят из ежедневных, средних 10-дневных или месячных испарений эталонных культур ( $E_{To}$ ) и наблюдений за осадками. Во время выполнения 10-дневные и месячные данные обрабатываются для получения ежедневных данных по испарению ( $E_{to}$ ) и о дожде. Задав и выбрав несколько подходящих параметров урожая в среде, управляемой меню, программа создает полный набор параметров, которые могут отображаться и обновляться при наличии дополнительной информации. Почвенный профиль может состоять из нескольких слоев почвы, каждый со своими специфическими характеристиками. BUDGET содержит полный набор

характеристик по умолчанию, которые могут быть выбраны и скорректированы для различных типов слоев почвы.

Программа позволяет:

- ✓ оценить водный стресс сельскохозяйственных культур в богарных и орошаемых условиях;
- ✓ оценить реакцию урожая растений (потери урожая) на оросительную воду;
- ✓ разрабатывать графики поливов конкретных культур в конкретных метеоусловиях;
- ✓ изучить накопление соли в корневой зоне в условиях орошения некачественными водами;
- ✓ оценить стратегии орошения (если есть необходимость в разработке направления развития орошения для конкретных условий).

### **Входные данные (препроцессор)**

Входные данные состоят из:

1. ежедневные, 10-дневные или ежемесячные **климатические данные**:

- Потребность атмосферы в испарении (т.е. эталонное испарение, ET<sub>0</sub>);
- Осадки

2. **Параметры урожая**: параметры, описывающие развитие урожая и поглощение воды корнями. Выбрав соответствующий:

- Класс типа урожая;
- Класс глубины корней (от неглубококорневых культур до культур с очень глубокими корнями);
- Класс чувствительности к водному стрессу (от чувствительного к водному стрессу до толерантного к стрессу);
- Класс степени покрытия почвы при максимальном пологе сельскохозяйственных культур;
- и указав общую продолжительность вегетационного периода, BUDGET генерирует полный набор параметров урожая. Сгенерированные параметры урожайности также могут корректироваться;

3. **Параметры почвы**: Почвенный профиль может состоять из нескольких слоев почвы, каждый со своими специфическими

характеристиками. BUDGET содержит полный набор характеристик по умолчанию, которые могут быть выбраны и скорректированы для различных типов слоев почвы;

4. **Данные об орошении:** Качество воды (соленость), интервалы полива и глубина внесения воды или критерии для составления графиков орошения.;

5. **Исходные условия содержания воды и солей** в почвенном профиле;

### **Выходные данные (постпроцессор)**

С описанными входными данными и для заданных начальных условий BUDGET имитирует перенос растворенных веществ и поглощение воды в указанном климате/ культуре / почвенной среде и для указанного варианта орошения.

1. В процессе моделирования **изменение содержания воды в почве и отложения солей в профиле** визуализируется путем отображения на диаграмме в конце каждого дня периода моделирования:

- содержание воды и солей в почве на разных глубинах почвенного профиля;

- уровень воды в почвенном резервуаре для воды;

- истощение корневой зоны.

2. В конце процесса моделирования программа BUDGET отображает:

- окончательный **профиль влажности почвы**;

- **конечное содержание солей в почвенном водном растворе в почвенном профиле**;

- общее значение для каждого из **параметров водного баланса почвы**;

- ожидаемый относительный **урожай сельскохозяйственных культур**; и

- **потребность в поливной воде**.

3. Во время моделирования BUDGET непрерывно регистрирует суточное содержание почвенной воды и солей в почвенном профиле, потоки почвенной воды, суточные значения различных параметров почвенного водного и солевого балансов, суточное истощение корневой зоны и потребность в чистом орошении. **Ежедневные записи хранятся в различных выходных файлах**, содержимое которых может быть отображено в конце выполнения моделирования с различными временными периодами (день, 10 дней, месяц или год) и сохранено для дальнейшего анализа.

Главное меню (**Main menu**) состоит из 3 разделов (рис. 13):

**А. База данных по климату/урожаю/почве:** где пользователь:

(1) выбирает, создает или обновляет файлы испарения (ETo), дождя (Rain), урожая (культуры) (Crop) и почвы (Soil) из базы данных Климата/ Урожая (культуры)/ почвы;

(2) указывает начало вегетационного периода;

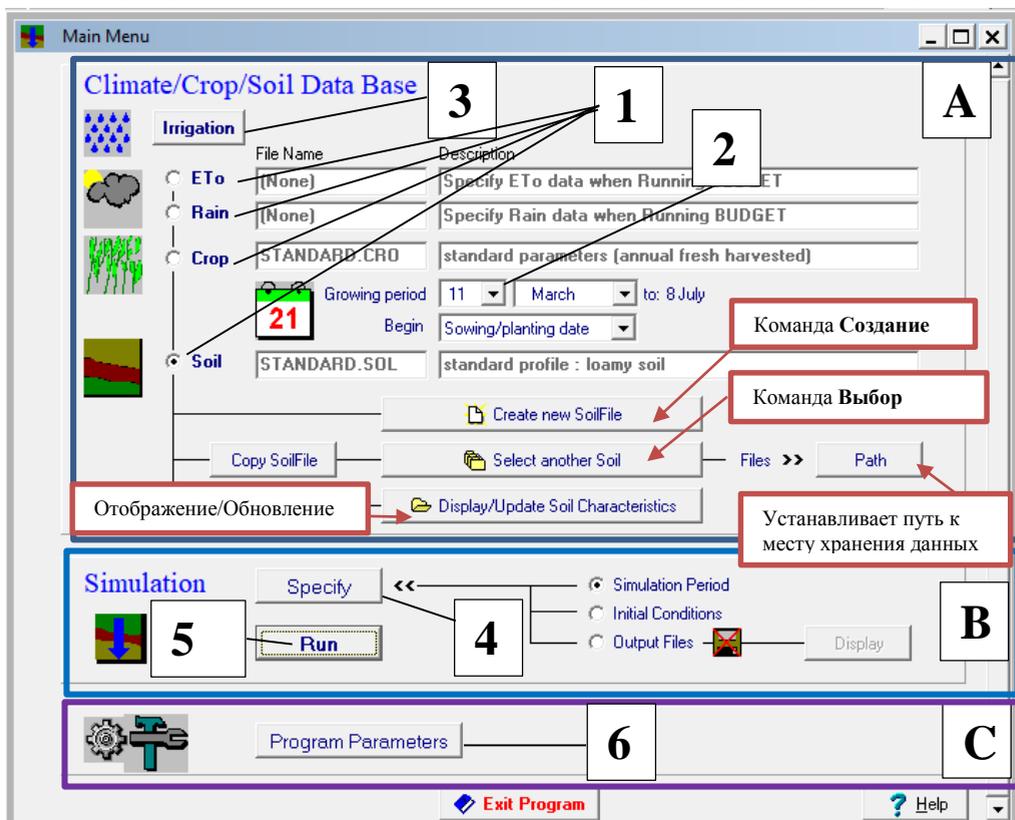
(3) указывает вариант орошения (если таковой имеется) и качество поливной воды;

**В. Моделирование:** где пользователь:

(4) определяет период моделирования, начальные условия и выходные файлы, которые необходимо создать;

(5) запускает симуляцию для указанной среды и условий.

**С. Программа:** где пользователь: (6) регулирует параметры программы.



**Рис. 13.** Главное меню программы BUDGET. Основные блоки и опции управления программы. Пояснения в тексте

## Задача 1. Моделирование влажности с прогнозной моделью BUDGET

**Дано.** Почва состоит из 2-х слоев, 0-30 см верхний слой, 30-100 см нижний. Данные для слоев для каждого варианта Вы берете из таблицы 20. Каждый слой разбивается по 10 см. Общая мощность почвы 100 см, гранулометрический состав и начальные условия – начальная влажность составляет долю от НВ (значение доли для каждого варианта указано, см. таблица 20). Значения НВ и другие гидрологические показатели для разного гранулометрического состава даны в таблице 21. Электропроводность 1-го слоя – 1 dS/m, 2-го – 3 dS/m.

Для этой задачи предлагается просчитать два варианта:

1-й вариант – **без полива**.(задача 1) 2-й вариант – при том же наборе входных данных, **но с поливом** (задача 2).

**Испарение (ЕТо).** Данные берутся из таблицы 22 (подекадно), мм/сут.

**Осадки (Rain).** Данные берутся из таблицы 23 (подекадно) мм/декада.

**Срок (урожай/культура).** Выбирается – стандартная культура (Standart.cro)

Расчетный период для стандартной культуры задается с **1 мая**.

Таблица 20

### Гранулометрический состав и начальные условия влажности

номер варианта	слой 1 (0-30)	слой 2 (30-70)	Начальная влажность
1	Sandy loam	Silt loam	0.6 НВ
2	loam	Sandy Loam	0.5 НВ
3	Silt loam	loam	0.6 НВ
4	Silt loam	Sandy loam	0.5 НВ
5	Loamy Sand	Sandy Clay Loam	0.6 НВ
6	Loam	Loamy Sand	0.5 НВ
7	Sandy Clay Loam	Loamy Sand	0.4 НВ
8	Sandy Clay Loam	Loamy Sand	0.6 НВ
9	Sandy loam	Sandy Clay Loam	0.7 НВ
10	Sandy loam	Loam	0.5 НВ
11	Sandy Clay Loam	Sandy loam	0.6 НВ
12	Sandy Clay Loam	Silt loam	0.7 НВ

Таблица 21

**Справочные значения гидрологических констант для разных типов  
гранулометрического состава**

Гранулометрический состав		ПВ, см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup>	НВ, см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup>	ВЗ, см <sup>3</sup> /см <sup>3</sup>	Кф, мм/сут
sand	песок	36	13	6	1500
Loamy Sand	суглинистый песок	38	16	8	800
Sandy loam	опесчаненный суглинок	41	22	10	500
Loam	суглинок	46	31	15	250
Silt loam	пылеватый суглинок	46	33	13	150
Silt		43	33	9	50
Sandy Clay Loam	опесчаненный глинистый суглинок	47	32	20	125

Таблица 22

**Эвапотранспирация (подекадно), мм**

дата	вар. 1	вар. 2	вар. 3	вар. 4	вар. 5	вар. 6	вар. 7	вар. 8	вар. 9	вар. 10	вар. 11	вар. 12
01.май	2.8	2.8	1.7	2	2.6	2.7	2.4	2.2	2.5	2.6	2.2	1.4
11.май	1.7	3.6	4.3	3.4	4	2.9	1.8	2	1.8	2.2	1.5	3.6
21.май	2.3	3.2	3.9	4.1	2.6	3.1	3.1	3.3	2.2	1.6	1.8	1.6
31.май	2.3	2.4	4.1	2.5	4.8	6	6.2	6.4	6.1	4.8	5.2	4.8
10.июн	3.9	4.4	2.5	3.9	2.5	3.6	2.7	2.2	2.4	1.9	3.4	2.3
20.июн	3.4	3.5	4.5	4.8	4.9	3.8	4.5	4.5	2.5	2.6	1.8	1.5
30.июн	2.2	1.3	1.2	2.1	4.1	4.9	4.7	2.9	3.7	5.1	2.3	2.6
10.июл	3.2	4.6	4.1	2.7	1.6	3.2	4.2	4.7	2.5	1.7	2.7	3.5
20.июл	5.2	4.2	3.9	4.4	4.4	4.4	4.6	3.6	4.7	2.5	2.6	2
30.июл	1.3	1.5	2.6	2.2	2.1	2.3	2.4	1.8	2.2	1.7	1.4	1.3
09.авг	1.6	1.9	1.3	1.6	1.4	2	1.9	2.6	2.1	2.4	2.7	2.8
19.авг	2.2	2.1	2	2.2	3.1	3.2	2.3	1.9	1.5	1.5	1	2

## Осадки, мм

Декады	вар. 1	вар. 2	вар. 3	вар. 4	вар. 5	вар. 6	вар. 7	вар. 8	вар. 9	вар. 10	вар. 11	вар. 12
1	7.7	10.1	22	4.4	14.1	3	0	33.7	6.2	9.25	8.55	1.5
2	20.2	5.7	8.1	33.9	14	23.6	0	28.9	0	23.95	18.8	11.8
3	0	0.2	13.9	32.5	26	61.8	0	20.8	35.5	29.25	43.9	30.9
4	48.9	4.3	49.7	25.2	56.7	53.8	1.2	0	48.9	40.95	55.25	27.5
5	15.1	25.3	30.3	19.3	13.8	46.3	23.1	33.6	78.2	16.55	30.05	34.7
6	21.4	63.4	19.9	23.5	1.6	16.4	7.1	43.9	37.7	12.55	9	11.75
7	37.8	43.7	11.9	0	0	2	27.5	42.8	27.8	0	1	14.75
8	25	17.9	25.3	7.3	43	38.5	16.2	30.3	19.8	25.15	40.75	27.35
9	0	30.4	41.8	60.1	7.6	10.5	0	47.9	24	33.85	9.05	5.25
10	2.8	8.5	9.3	67.6	11.4	8.5	15.1	15.8	31.1	39.5	9.95	11.8
11	0.4	6.5	7.1	16.7	27.9	0	3.9	9.2	14.7	22.3	13.95	1.95
12	9.9	8.3	63.6	16.4	19.6	0.5	68.6	0	0	18	10.05	34.55

В качестве отчета построить и описать:

А. вариант – **без полива** (только осадки и эвапотранспирация)

Б. Вариант **с поливом**. Все прежние параметры, но добавляем полив.

В отчете представить скрины задаваемых условий **всех входных параметров по эвапотранспирации, осадкам, почве и начальным условиям** (рис 18,19,22) и **выходных окон и диаграмм** по влажности и засолению на последний (28 августа) день выдачи (рис. 25-27).

Построить хроноизоплеты влажности и засоления в программе Surfer на графике диапазон оптимальной (0.7НВ–НВ) и продуктивной влаги (НВ-В3). Хроноизоплеты строить в **одинаковых шкалах и обязательно** подписать по осям и ед. измерения. Построить также хроноизоплеты влажности в относительных единицах, выделить диапазон легкодоступной влаги (до и после полива).

Ответить на вопросы.

Наблюдалось ли достижение НВ до полива и что изменилось после полива? В какой толще и в какое время после полива это произошло?

Выдача с профильными распределениями влажности, электропроводности, воздухосодержания. Вопрос – все ли оптимально? Где создаются критические условия?

Анализировать выдачу «Root zone depletion». Когда растения начинают испытывать водный стресс? Почему?

Анализ выдачи «Transpiration». В какие сроки транспирация растений максимальна? Почему?

## Ввод данных

Рассмотрим процедуру ввода входных параметров в модель BUDGET. Данные можно вносить в любой последовательности, но мы будем рассматривать ввод данных с верхних опций Главного меню (Main menu), двигаясь вниз.

1. Но сначала нужно задать период симуляции, который может, как в нашем случае, совпадать с периодом вегетации. Мы выбираем опцию «Crop», нажимаем «Select another Crop» и в новом окне (рис. 15) выбираем культуру из списка – STANDART.CRO. По умолчанию все входные файлы находятся в папке программы BUDGET и подпапке **Data**. Файлы для культур имеют расширение – CRO. Далее нажимаем «Main menu» для возврата в главное меню (стандартное завершение ввода данных для всех окон).

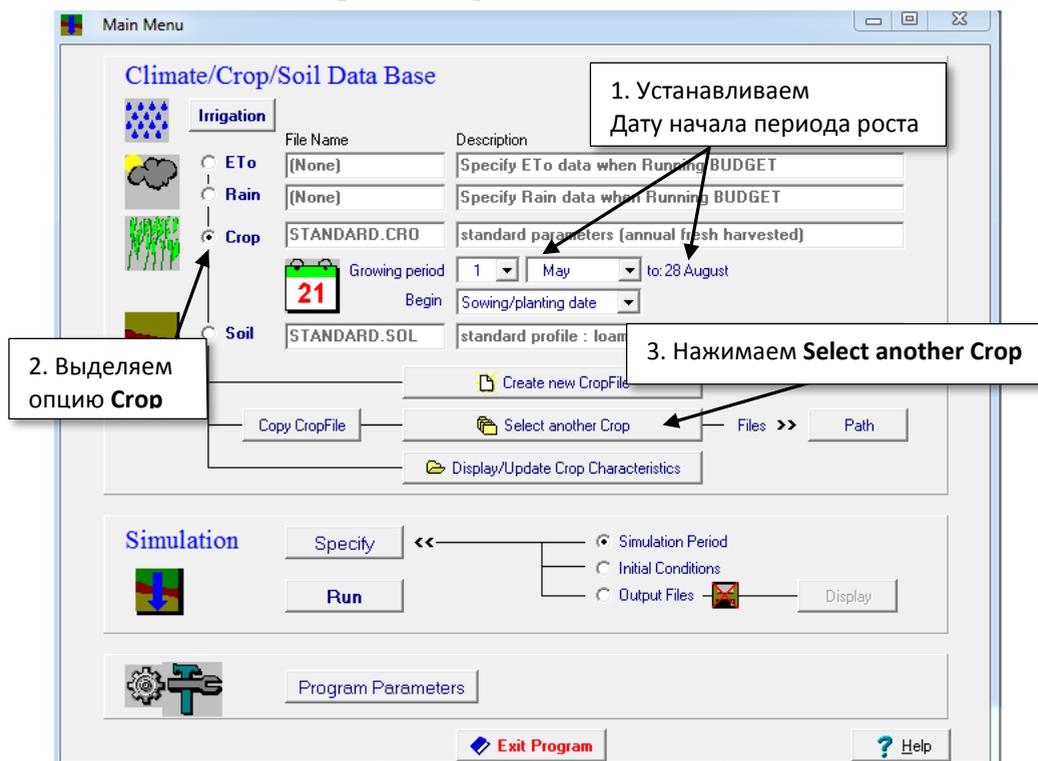


Рис. 14. Установка даты начала вегетационного периода и выбора культуры

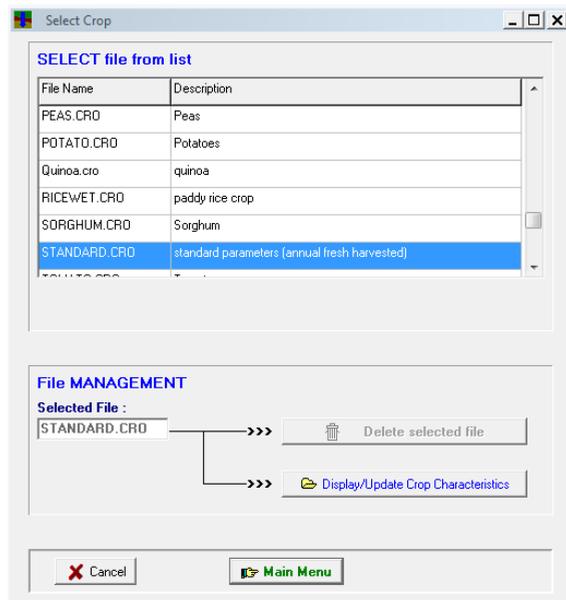


Рис. 15. Окно выбора культуры

Затем вводим данные по испарению.

## 2. Ввод данных по испарению (эвапотранспирация)

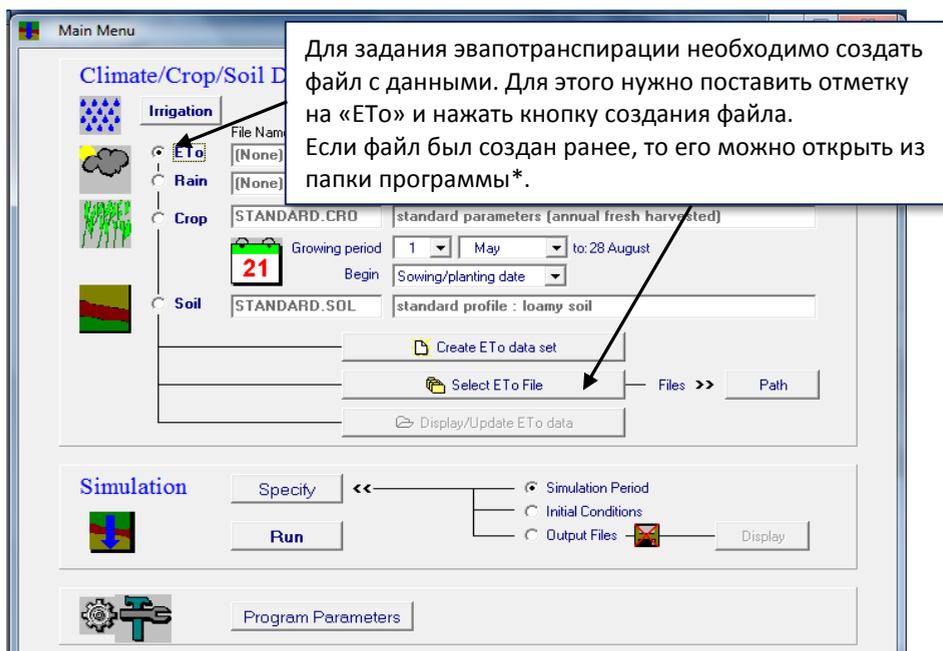
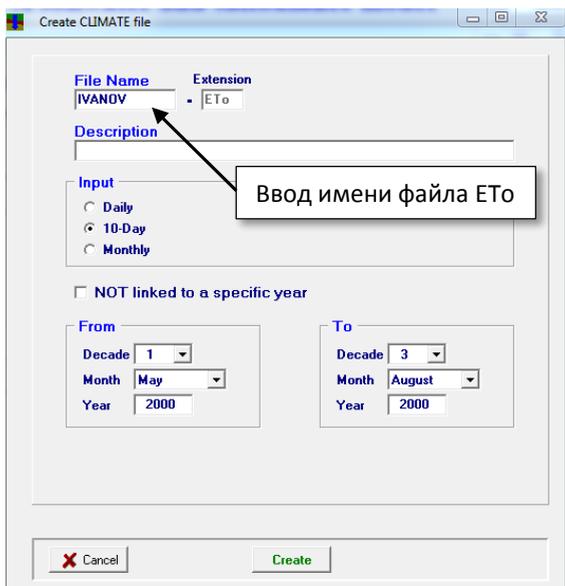


Рис. 16. Выбор опций для создания файла по эвапотранспирации

\*Файлы по эвапотранспирации имеют расширение ETo, например, Russia.ETo. Вы создаете файл со своей фамилией, и он сохраняется в папку Data с расширением ETo.

Созданные файлы (эвапотранспирации, осадков, почвенных данных) можно в дальнейшем открывать в программе, используя кнопку «**Select...**» Например, «**Select ETo File**», если выбрана опция ETo – эвапотранспирация. При выборе другой опции название кнопки будет меняться.

В новом окне «Create CLIMATE file» (рис. 17) необходимо выбрать временной шаг вводимых данных (ежедневно, подекадно, ежемесячно) и период вегетации – начальный и конечный день. Если мы задаем с 1 мая и вегетационный период длится 120 дней, то последний день получается – 28 августа. Если данные задаются по декадно, то указываем с 1 декады мая по 3 декаду августа, выбрав опцию **10-Day**. После создания файла появляется окно, в котором таблица формируется автоматически по указанному периоду и шагу и остается занести данные по эвапотранспирации в мм (рис. 18). Далее возврат в главное меню.



**Рис. 17.** Окно для создания файла по эвапотранспирации, выбор временного шага, начало – конец периода вегетации.

Вносим данные по эвапотранспирации (mm/day) и опять нажимаем «**Main menu**». Файл автоматически создается и сохраняется при этом.

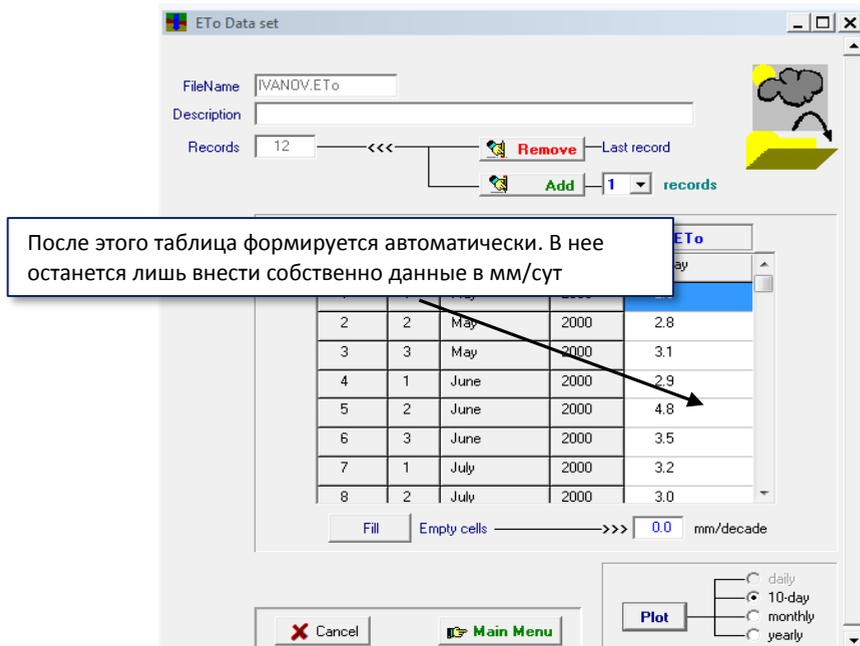


Рис. 18. Окно для заполнения данных по эвапотранспирации.

3. **Осадки.** В главном меню выбираем опцию «Rain». Аналогично как для эвапотранспирации, сначала необходимо создать файл, который имеет расширение PLU. Далее все шаги как для эвапотранспирации.

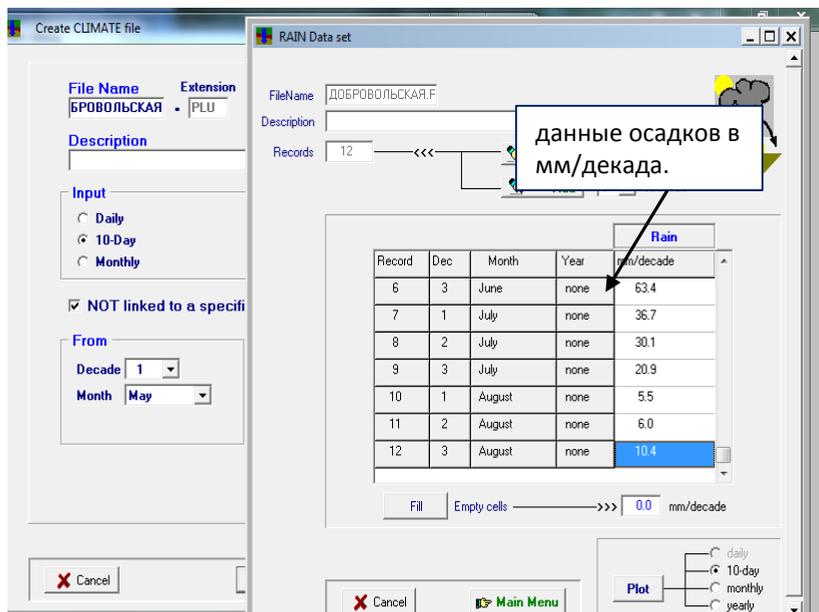


Рис. 19. Окно для заполнения данных по осадкам.

4. Далее создаем **файл почвы**. В Главном меню выбираем – Soil и нажимаем кнопку «**Create new Soil File**». Выбираем число слоев, их толщину в метрах и тип почвы по гранулометрическому составу в классификации USDA для каждого слоя.

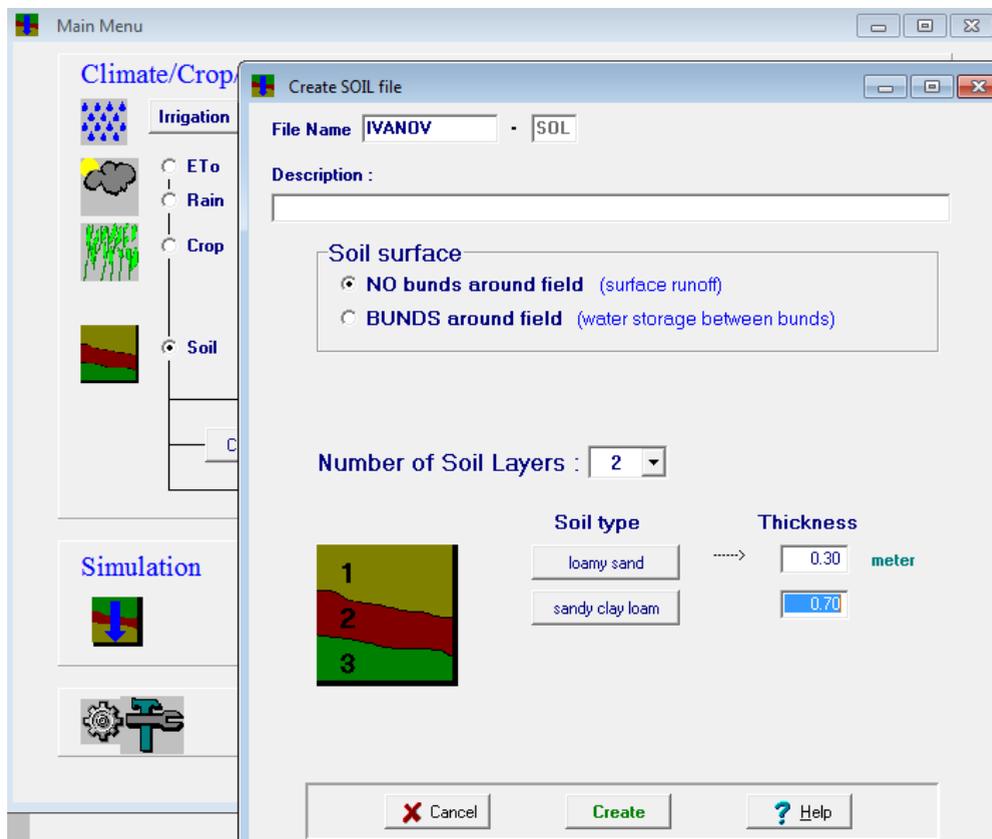


Рис. 20. Окно для заполнения данных по осадкам.

Нажимаем кнопку «**Create**» и в следующем окне, нажав «**Update list soil characteristics**», можно просмотреть основные параметры гидрологических констант и в случае необходимости, их изменить (рис. 21). После этого возвращаемся в Главное меню – «**Main menu**».

Soil Layer	SAT	FC	WP	tau	Ksat
	[vol%]	[vol%]	[vol%]	[·]	[mm/day]
sand	36.0	13.0	6.0	1.00	1500.0
loamy sand	38.0	16.0	8.0	0.95	800.0
sandy loam	41.0	22.0	10.0	0.75	500.0
loam	46.0	31.0	15.0	0.60	250.0
silt loam	46.0	33.0	13.0	0.50	150.0
silt	43.0	33.0	9.0	0.35	50.0
sandy clay loam	47.0	32.0	20.0	0.45	125.0
clay loam	50.0	39.0	23.0	0.40	70.0
silty clay loam	52.0	44.0	23.0	0.30	20.0
sandy clay	50.0	39.0	27.0	0.42	75.0
silty clay	54.0	50.0	32.0	0.20	15.0
clay	55.0	54.0	39.0	0.10	2.0

**Рис. 21.** Таблица почвенно-гидрологических констант для почв разного гранулометрического состава.

5. В разделе программы «Simulation» можно задать начальные условия и перечень выходных файлов. Необходимо установить бегунок на «Initial Conditions» и нажать кнопку «Specify».

В открывшемся окне почва будет разделена по слоям 10 см исходя из заданных горизонтов. По умолчанию для всех можно задать влажность = полному насыщению или НВ или влажности завядания, нажав на одну из соответствующих кнопок справа. Если в ваших начальных условиях есть доля от какой-либо величины, то это можно установить вручную.

В этом окне мы задаем начальные условия по влажности (на первый день, таблица 20) и данные по засолению почв в виде электропроводности – «Set Eco at» dS/m для каждого слоя – данные по электропроводности как на рис. 22.

**NB!** Влажность в нашей задаче мы будем задавать (согласно своему варианту, таблица 20), как долю от НВ и ее мы рассчитываем сами! Не путать с TAW – Total Available Water (диапазон доступной влаги от ВЗ до НВ).

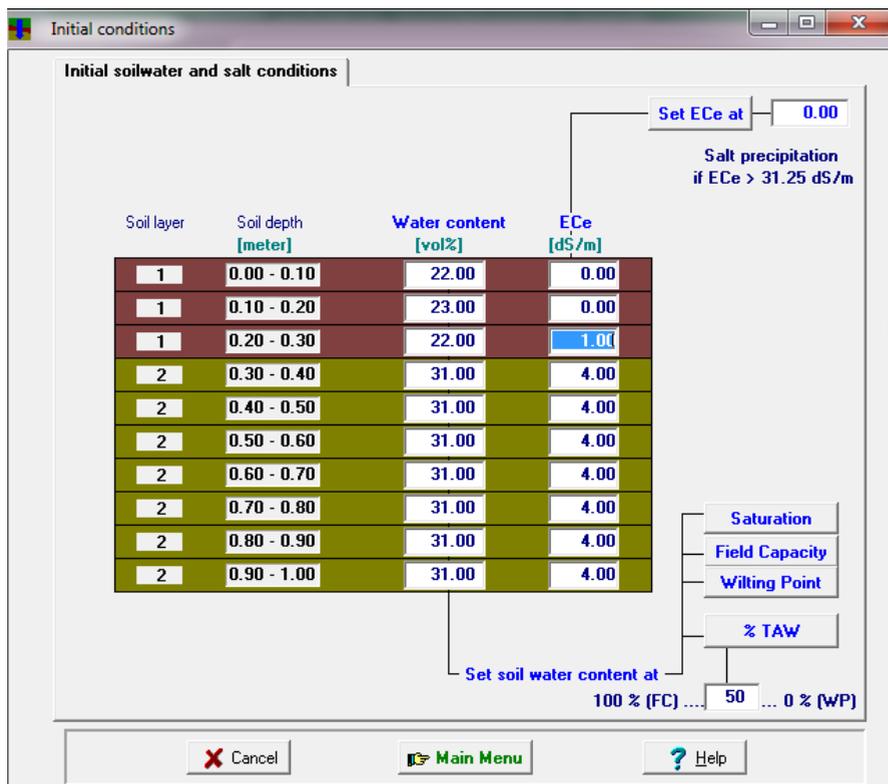


Рис. 22. Окно начальных условий по влажности почв и начальному засолению почвы.

6. **Файлы выдачи.** Затем нужно указать файлы выдачи и какие модельные данные мы хотим получить. Для этого отмечаем опцию «**Output Files**» и нажимаем кнопку «**Specify**». Отмечаем для нашей задачи – «**Water content of soil compartments**»

(смоделированные данные по влажности почвы) и «**Salinity content of soil compartments**» (смоделированные данные по электропроводности). В этом же окне указан путь и названия файлов, где формируются и хранятся выходные данные.

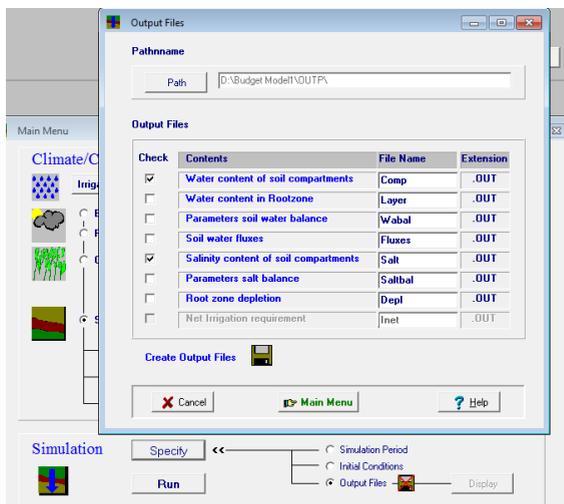


Рис. 23. Окно выбора выходных данных (файлов).

7. **Этап моделирования.** По окончании ввода данных необходимо нажать кнопку «Run» в Главном меню, появится окно моделирования. Все характеристики здесь указаны на первый день вегетации. Для запуска моделирования следует нажать **Start**, при этом моделирование может просчитывать весь период сразу (опция – **run**), или отдельно на каждый день (**day per day**).

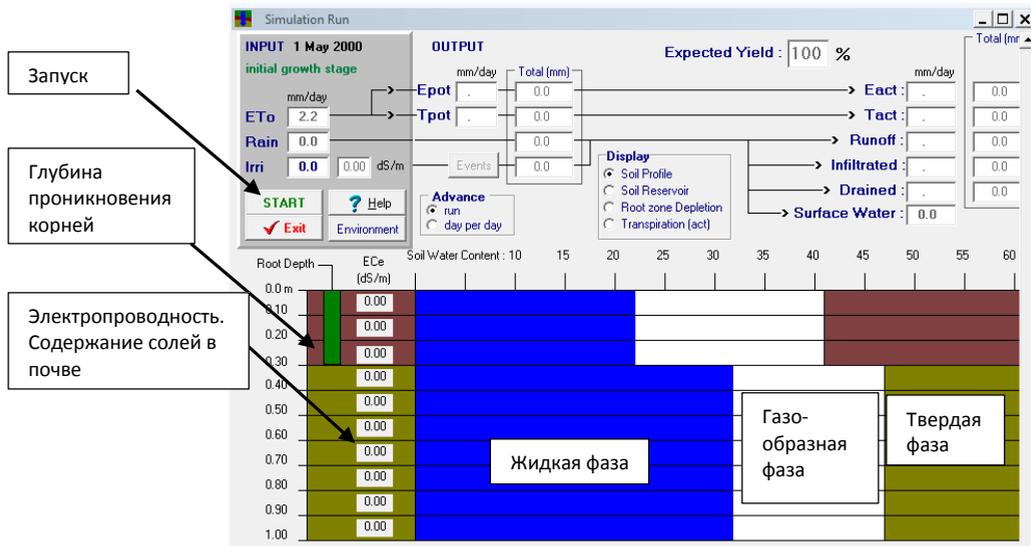


Рис. 24. Окно запуска моделирования и диаграммы симуляции процесса.

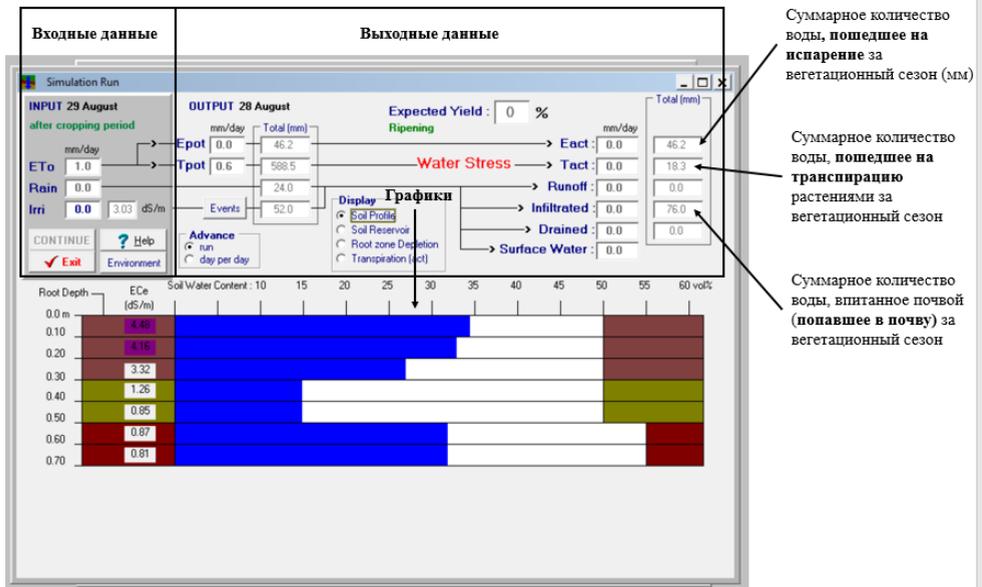


Рис. 25. Входные и выходные данные

В открывшемся окне мы можем выбрать разные варианты отображения результатов моделирования, выбирая разные опции в группе команды **Display**. Если выбрана опция **Soil Profile**, мы можем посмотреть схематичное соотношение и изменение трех фаз в почве – твердая фаза, жидкая фаза и газообразная по профилю, а также посмотреть глубину проникновения корней в почву и электропроводность.

Выбрав опцию **Root zone depletion**, мы получаем картину водопотребления (динамики влаги) в корневой зоне.

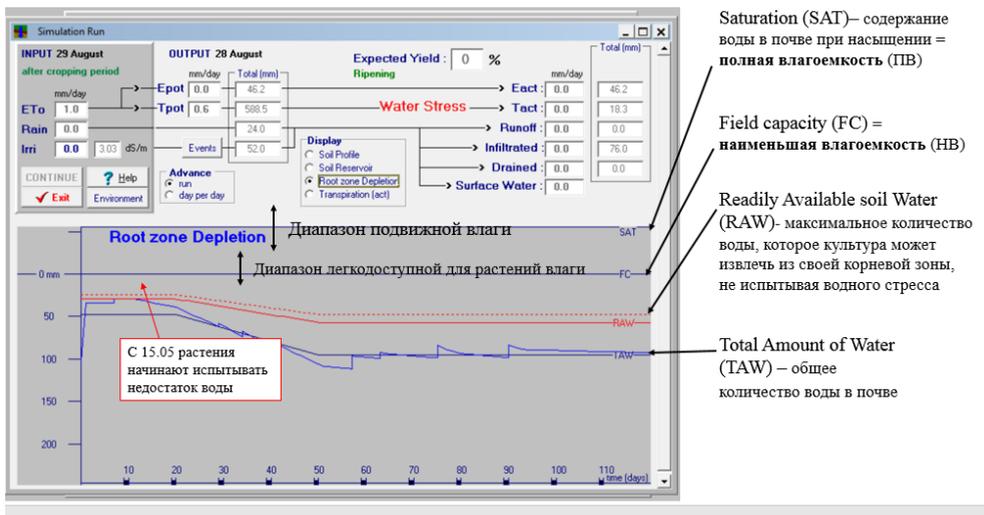


Рис. 26. Динамика влажности с отображением пороговых значений

Выбрав, опцию **Soil reservoir**, мы можем судить о достаточном или недостаточном обеспечении влагой растений в корневой зоне.

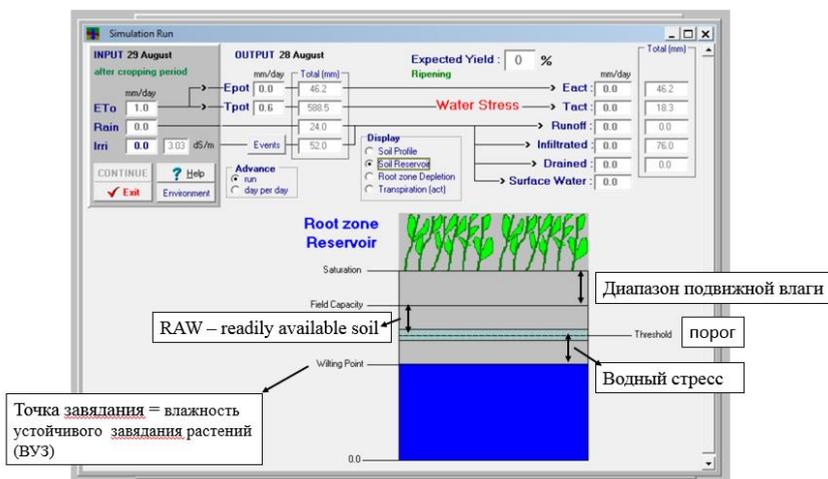


Рис. 27. Диаграмма обеспеченности влагой растений

Выбрав опцию **Transpiration**, можно наблюдать изменение актуальной транспирации при моделировании.

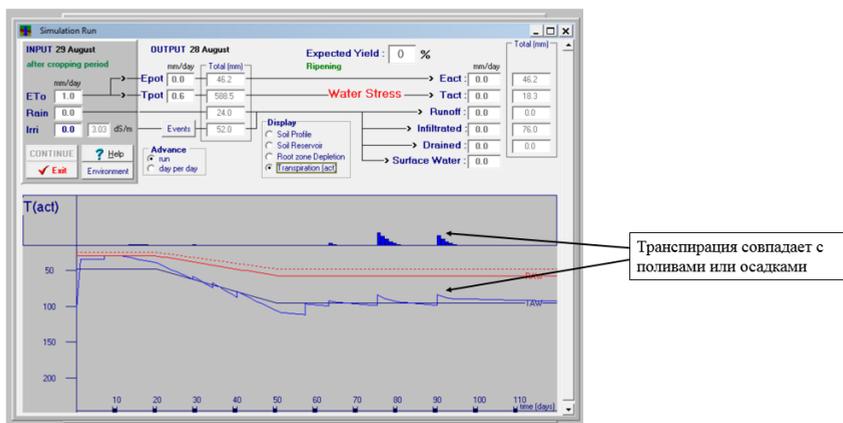


Рис. 28. Диаграмма моделирования эвапотранспирации

### Выходные данные.

При оценке засоления почвы по электропроводности нужно учитывать классы чувствительности растений к засолению почв (таблица 24).

Таблица 24

**Классы засоленности почвы и соответствующие значения по умолчанию для максимальной засоленности почвы  $E_{Ce}$  (max), при которой рост сельскохозяйственных культур прекращается**

Класс чувствительности растений к засолению почвы Class Sensitivity to soil salinity	Максимальная удельная электропроводность, $E_{Ce}$ max, дСм/м [dS/m]
Чувствительный Sensitive	7
Умеренно чувствительный Moderately sensitive	12
Умеренно терпимый Moderately tolerant	20
Терпимый Tolerant	30

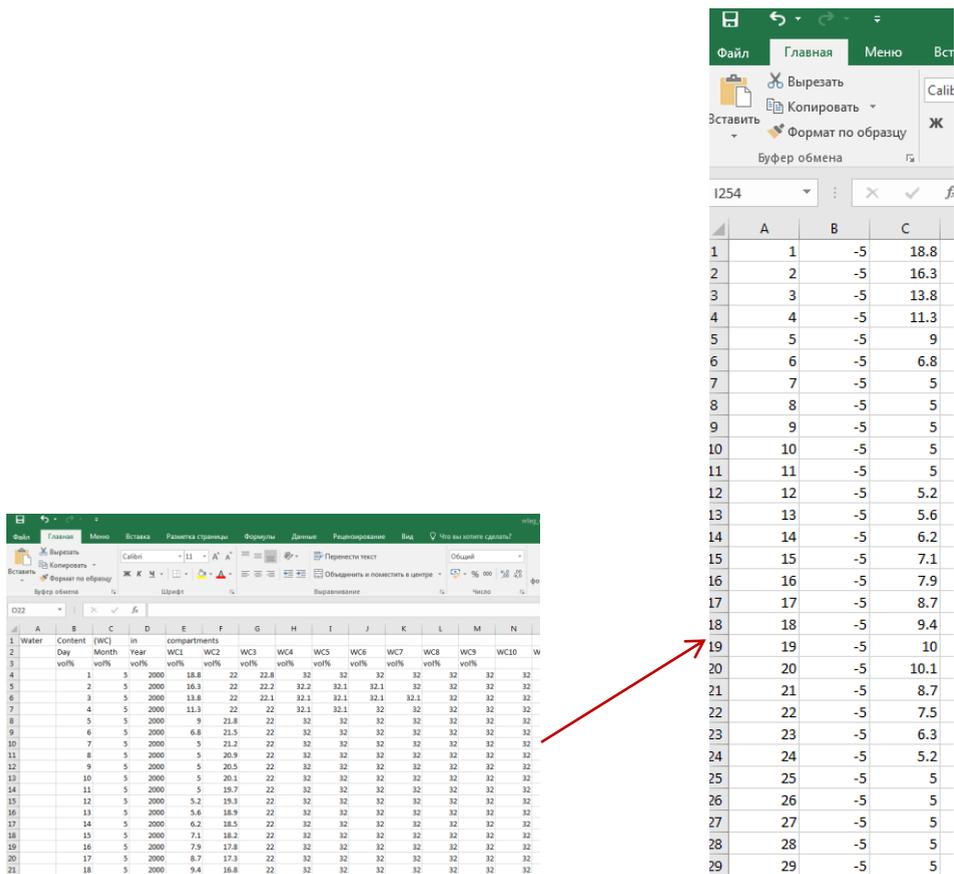
По результатам моделирования мы получаем вышеуказанные картины профиля, изменения модельной влажности относительно пороговых значений и массив данных по влажности и электропроводности в виде двух файлов,

которые нужно представить в графическом виде – в виде хроноизопланов с помощью программы Surfer. По ним нужно оценить общую картину изменения влажности и электропроводности в течении всего вегетационного периода и ответить на вопросы.

## **Перенос расчетных данных из Budget в Excel и Surfer для построения хроноизопланов влажности**

Выходные файлы Budget находятся в папке программы и подпапке OUTF – файлы Comp.OUT и Salt.OUT. Далее необходимо открыть файл Comp.OUT (данные по влажности) с помощью Excel. В меню открыть выбираем папку OUTF и «Типы файлов» – «все файлы», поскольку по умолчанию Excel показывает только свои файлы, с расширением xlsx (xls). Выбираем, например, Comp.OUT и нажимаем «Открыть».

В появившемся окне (шаг 1) указать формат исходных данных с разделителем и нажать «Далее». В следующем окне (Шаг 2) – указать разделителем пробел и поставить «галочку» в опции – «считать последовательные разделители одним» и нажать «готово». Полученную таблицу необходимо сохранить в файле под другим именем (например, Ivanov.xls). Если в вашей системе разделителем десятичных разрядов цифр является запятая, то нужно заменить все точки на запятые, и сохранить еще раз (Это легко проверить – если значения в ячейке после импорта располагаются слева – значит у вас разделитель – запятая). Ниже показано расположение данных в таблице после импорта файла. Вам нужно преобразовать массив данных. Для этого в первом столбце задается время – сплошная нумерация по дням за весь вегетационный период (1... 120 дней), во втором глубина. Глубина задается со знаком минус. Первая глубина (WC1) принимается за 0, потом –5 (WC2), – 15 (WC3) и т.д. В третий переносятся данные по влажности. Нам нужно сформировать новый массив данных, где X – будет время (даты выдачи), Y – глубина, Z – влажность, т.е. скопировать данные из файла Comp.OUT и записать под своим именем, например, Ivanov.xls. **Данные должны идти без пустых строк, одним сплошным массивом!** Файл Comp.OUT закрыть и оставить без изменений.



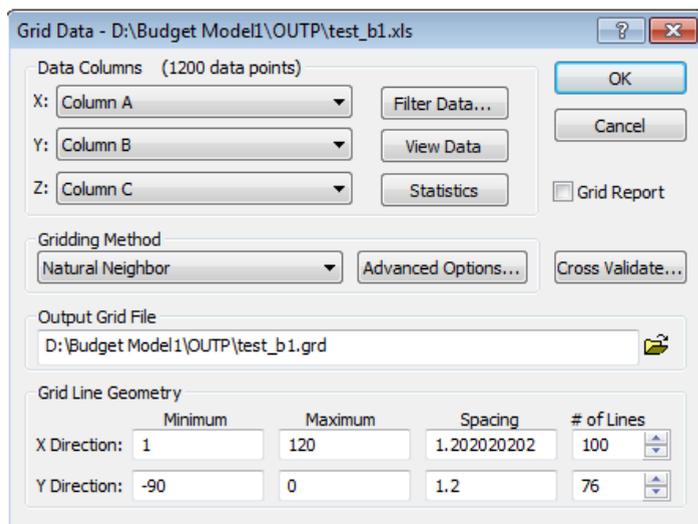
**Рис. 29.** Структура файла Comp.OUT и преобразование данных в новый массив для построения хроноизоплет

## Построение хроноизоплет в программе Surfer

Запустить Surfer. В программе Surfer используется два типа файлов – табличный, как в Excel (WorkSheet) и файл для отображения карт (изоплет) – Plot. Можно скопировать данные из Excel в новую таблицу Surfer (New WorkSheet), сохранить под новым именем или открыть файл Excel в Surfer.

**Шаг 1. Задаем сетку.** Если файл в Excel уже создан, то можно сразу перейти в меню Plot. Находим меню Grid (сетка). Выбираем команду «Data». Далее ищем свой файл Excel с результатами, подготовленными для изоплет (например, Ivanov.xls). В открывшемся окне мы выбираем, что у нас будет по осям (рис. 33). Если структура массива в Excel – время (A), глубина (B), влажность (C), то Surfer корректно определит данные по осям: столбец A

(время, даты выдачи) – ось X, столбец В (глубина) – ось Y, столбец С влажность (электропроводность) – ось Z. Если порядок столбцов другой, то оси можно задать вручную, соответственно своим данным. Один файл сетки мы делаем для хроноизоплет давления и по оси Z выбираем давление, для другого файла сетки – выбираем влажность (Z). Метод сглаживания выбираем Kriging. Ниже показана геометрия сетки – размах, шаг и число линий. Нажимаем Ок и в результате появится файл с тем же названием, но расширением grd, например, Ivanov.grd, который сохранится в директорию проекта.



**Рис. 30.** Окно параметров сетки для хроноизоплет

**Шаг 2. Построение изоплет.** Переходим в меню «Map» → подменю «New» → «Contour Map». Выбираем файл сетки, в нашем случае, Ivanov.grd. В результате программа нарисует хроноизоплеты влажности, но без легенды и только линии изоплет. Чтобы сделать изоплеты в цвете, мы должны двойным щелчком по графику вызвать меню свойств изоплет – «Map Contour: Properties». На открывшейся вкладке окна «General» отмечаем галочкой опции «Fill Contours» и «Color Scale». Затем в этом же окне переходим на вкладку «Levels». Нажимаем «Fill», далее «Foreground Color» и далее в «ColorMap» можем выбрать цветовую схему заливки контуров изоплет и для завершения последовательно нажимаем Ок в каждом окне (рис. 35).

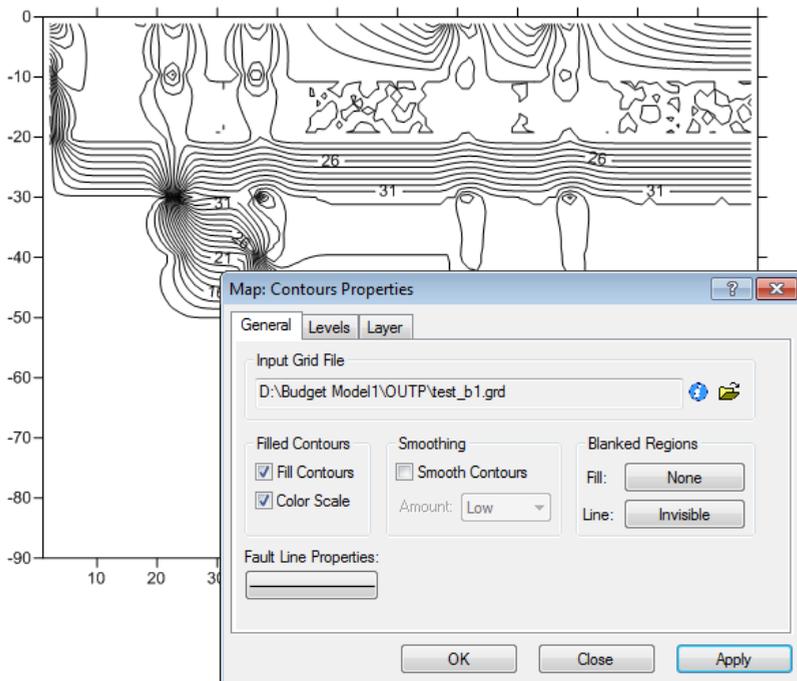


Рис. 31. Окно графических свойств хроноизоплет (заливка контуров, частота линий и др.)

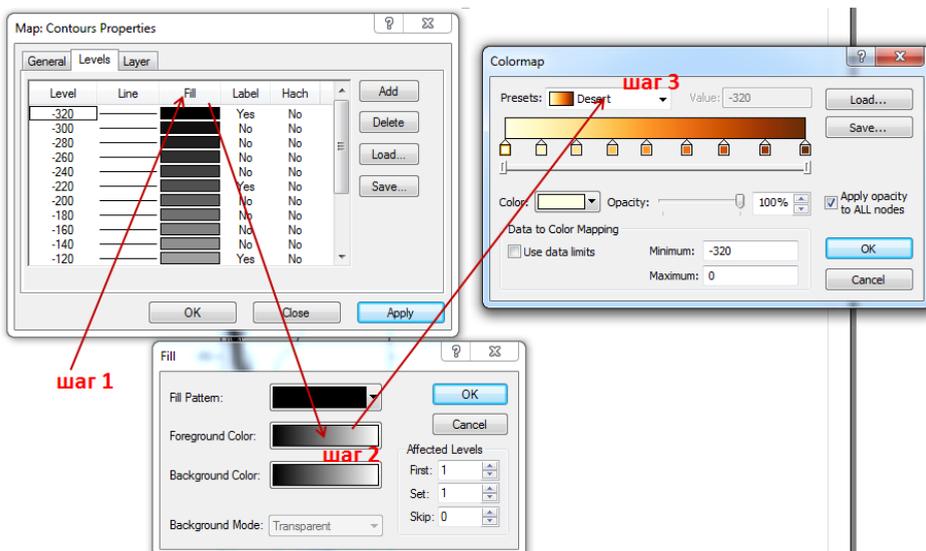
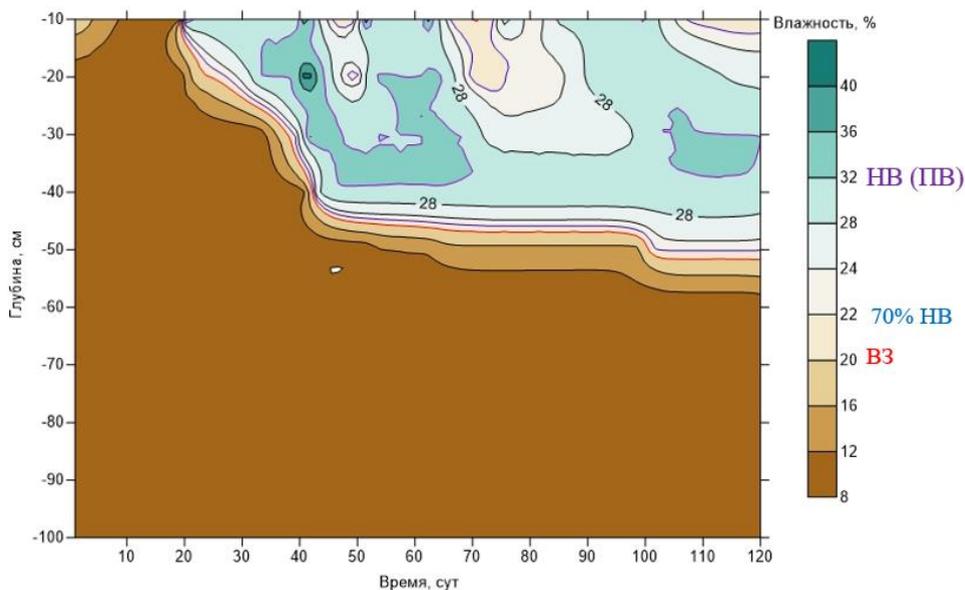


Рис.32. Пошаговые действия выбора цветовой схемы для заливки контуров изоплет.

Чтобы выделить отдельные изоплеты нужно во вкладке Level задать нужное значение, а если кликнуть на Line выбранного значения, можно задать толщину и цвет линии. В итоге мы получаем хроноизоплеты с выделенной зоной доступной влаги в течении вегетационного периода.



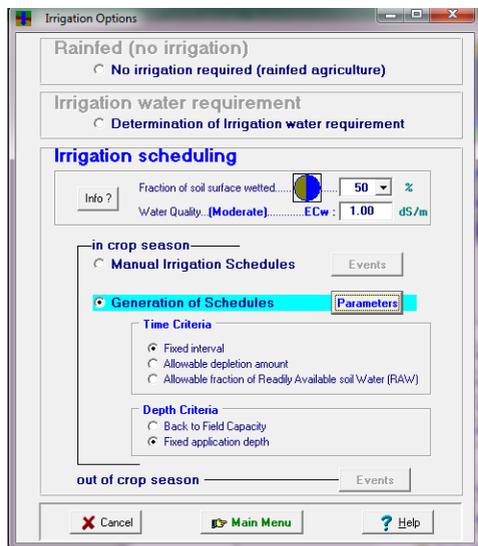
**Рис. 33.** Итоговая карта хроноизоплет с указанием почвенно-гидрологических констант: NB, 70% NB и ВЗ.

Аналогично строятся хроноизоплеты по засолению. Для влажности можно построить хроноизоплеты в относительных величинах влажности. Для этого значения влажности делят на наименьшую влагоёмкость (NB) для каждого слоя, учитывая табличные значения NB для гранулометрического состава почвы. 100 % или 1 будет равно NB. Шкалы для влажности и электропроводности должны быть едины. Задаем от одинаковые минимальные и максимальные значения для влажности (или электропроводности) до и после полива.

Далее просчитываем по второй задаче при тех же начальных условиях, осадкам и испарению, но уже с поливом. И добавляем в отчет к первому заданию скрины по поливу (как на рис. 34-35) и хроноизоплеты влажности и электропроводности.

## Задача 2. Моделирование влажности почвы с поливом

**Орошение.** Условия по испарению, осадкам и почве остаются как в первой задаче. При этом добавляем еще полив. Нажимаем кнопку **Irrigation** в **Главном меню (Main menu)**. Полив по узким бороздам (50%). Минерализация 1dsm/m. Опции отмечаем как на рис 34.



Далее задаем по дням полив как на рис 35.

Рис. 34. Окно параметров для орошения.

Cropping period				
	From	Growth stage	Length (days)	To
	1 May 2000	Initial stage	20	20 May 2000
	21 May 2000	Crop development stage	30	19 June 2000
	20 June 2000	Mid season stage	50	8 August 2000
	9 August 2000	Late season stage	20	28 August 2000

Irrigation parameters				
	From	When ?	Depth ?	Crop parameter
Date	DayNumber	Interval (days)	Depth (mm)	Growth Stage
1 May 2000	1	10	30	initial growth stage
20 May 2000	20	20	30	initial growth stage
19 June 2000	50	30	30	crop development stage
9 July 2000	70	20	30	mid season stage
29 July 2000	90	20	30	mid season stage

Рис. 35. Окно времени полива (даты), глубины и нормы орошения

Как и для первого задания строятся хроноизоплеты влажности и засоления описываются изменения до и после полива.

## ЗАНЯТИЕ 7 (4 часа)

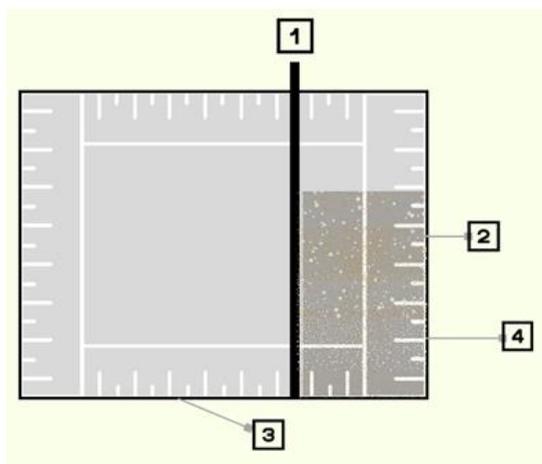
### Определение угла естественного откоса почвы в сухом и насыщенном водой состоянии

Угол естественного откоса (угол внутреннего трения) – угол, образованный свободной поверхностью рыхлой горной массы или иного сыпучего вещества с горизонтальной плоскостью.

Цель работы: исследовать зависимость изменения величины угла естественного откоса песка от влажности и гранулометрического состава смеси.

Ход выполнения работы:

1. Взять песчано-галечные смеси с разным массовым содержанием гальки (30%, 60%).
2. С помощью прибора (рис. 36) для определения угла откоса УВТ-3 (малый) в 3-х кратной повторности определить значение угла естественного откоса в сухом состоянии для каждой смеси «песок/галька». Записать полученные результаты (таблица 25), вычислить среднее значение.
3. Аналогичные измерения, провести в водонасыщенном состоянии,



для этого чашу прибора, заполненную смесью песок/галька наполнить водой. Полученные данные занести в таблицу, вычислить среднее значение.

4. Сравнить значения угла откоса в сухом и водонасыщенном состоянии. Объяснить полученные результаты.

**Рис. 36.** Схема прибора: 1. затвор, 2. грунт, 3. горизонтальная шкала, 4. вертикальная шкала

№ отсека	показания по шкале, мм		$\text{tg}\alpha_i$ угла естественного откоса	угол естественного откоса отдельной пробы $\alpha_i$	угол естественного откоса $\alpha$
	вертикальные	горизонтальные			
грунт в воздушно-сухом состоянии					
1					
2					
грунт в водонасыщенном состоянии					
1					
2					

Построить в EXCELe диаграмму отражающую зависимость угла откоса (в сухом состоянии) от содержания гальки в смеси. Объяснить полученные результаты. Диаграмму и таблицу с результатами сдать преподавателю.

### Задача 1. Определение угла естественного откоса в сухом и насыщенном водой состоянии

Задача:

1. В среде GeoSimple, EngGeo или Avtacad (с установленным ПС «Профиль») либо на миллиметровке – по выбору студента, в выбранном масштабе, построить поперечный профиль водоотводной канавы и прилежащей насыпи. Данные по  $h$ ,  $H$  и ширине бровки, а также данные по плотности песчаной насыпи указывает преподаватель. Угол откоса принять равным полученным в практической части значениям для угла откоса песка в воздушно-сухом состоянии.

Вычислить необходимое количество песчаного грунта, необходимого для создания насыпи около водоотводной канавы длиной 70 метров.

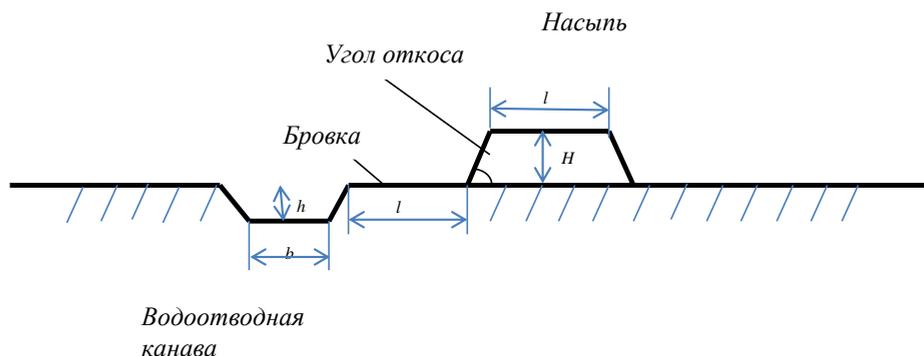


Рис. 37. Поперечный профиль водоотводной канавы и прилежащей насыпи

## КОЛЛОКВИУМ 2. ОСУШЕНИЕ

Гидрологические факторы заболачивания почв суши. Типы водного питания. Методы осушения.

Дренаж, виды дренажа. Дрены вертикальные и горизонтальные, дебит скважины [л/сек], депрессионная кривая («депрессионная воронка»), осесимметричная фильтрация. Плановая фильтрация, поток влаги к дрене, междреннее расстояние. Модуль стока.

Основные элементы дренажной сети: регулирующая сеть (осушители, тальвеговые каналы, борозды), проводящая сеть (транспортирующие собиратели, магистральные каналы, оградительная сеть (нагорные каналы, ловчие, защитные или пограничные); водоприемники (реки, большие ручьи и т.д.) гидротехнические сооружения на регулирующей, проводящей сети (мосты, трубчатые переезды, шлюзы-регуляторы, закрепление откосов, перепады, быстротоки и т.д.); дорожная сеть. Заохривание дрен, кольматаж.

Подземное питание. Типы подземного питания. Подпорный тип подземного питания

Нисходящий тип подземного питания. Гидрограф. Дренажный гидрограф. Параметры расчета глубины заложения дрен и междренных расстояний. Основные глубины заложения дрен и междренных расстояний для песчаных, глинистых почв и торфоземов.

Польдеры. Торфоземы, мелиорация торфяных почв. Особенности мелиорации торфяных почв на песчаных отложениях.

Заохривание дрен, меры борьбы с заохриванием.

Тепловые мелиорации. Условия применения. Оползни, сели, просадки. Угол откоса и угол внутреннего трения. Условия равновесия грунтовых масс на склонах.

Прогнозирование и мелиорация.

Лесомелиорация. Типы лесных полос. Мелиоративное значение лесополос.

Малая мелиорация. Мелиоративные устройства при коттеджном строительстве (ландшафтный дизайн). Мелиоративные устройства при приусадебном строительстве.

# Приложение

Таблица 1 (к Занятию 1, задаче 1)

## Сумма годовых осадков

годы	Варианты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	237.5	426.6	365.9	389	277.6	425.8	377.5	332.8	363.5	296.5	265.5	385.4
2	270.3	301.6	432.7	287.4	366.7	378.8	365.5	431	240.3	401.6	332.7	387.5
3	370.8	265.5	377.6	288.5	432.4	321.6	276.4	388.6	270.8	365.5	307.6	418.5
4	373.6	221.7	355.6	365.7	311.9	398.1	433	353.8	373.6	211.7	435.6	265.7
5	350.2	287.5	255.9	431	365.3	402.6	387	303.5	350.2	287.5	255.9	431
6	300	365.7	377.8	333.5	387.7	287.5	396.5	376.6	330	361.7	373.8	339.5
7	325.4	401.0	289.5	369.6	321.1	400.6	298.4	367.9	315.4	431	259.5	389.6
8	268.9	377.7	303.5	380.6	390.5	287.5	354.7	390	208.9	307.7	353.5	210.6
9	293.5	356	255.8	256.9	245.6	376.7	332.5	367.5	393.5	386	295.8	226.9
10	400.5	276.8	378.6	376.5	323.8	343.7	289.4	254.5	420.5	246.8	328.6	306.5
11	406.2	245.8	356.5	365	243.6	267.6	376.6	367.8	396.2	345.8	256.5	265
12	298.7	334.7	398.5	232.4	323.5	322.8	355.3	401.5	278.7	234.7	358.5	332.4
13	266.4	389	289	301.7	278.9	356.7	255.6	277	366.5	379	289	361.7
14	404.1	325.5	311.7	400.4	422.8	311	411.7	378.7	403.1	355.5	321.9	308.4
15	366.3	278	356.8	389.4	365.5	278.6	336.7	278	336.3	272	354.8	386
16	305.5	369.5	378.9	345.3	311	345.7	367	411	325.5	379.5	388.9	345.8
17	421.8	404.7	331.8	289.5	278.7	267.6	311.5	367.9	401.8	304.7	431.8	389.5
18	388.4	395	278.6	411.7	356.8	367	356	267.6	388.4	295	208.6	311.7
19	332.4	366.8	405.6	367.4	397.5	389.7	278.6	326	342.4	386.8	395.6	367.4
20	275.6	301.9	387.9	287.4	332.6	343.7	387.5	287	375.6	401.9	287.9	387.4
21	298.1	389	377.5	355.7	436.7	389	412.8	379.6	278.1	289	377.5	305.7
22	355.7	287.5	298.7	378.6	400.4	289	369.7	356.8	355.7	237.5	290.7	398.6
23	411.6	332.7	266.5	298.5	267.7	421	323.6	321.4	431.6	342.7	276.5	298.5
24	354.7	400.2	335.7	363.6	305.7	388.7	378	389.5	334.7	410.2	305.7	323.6
25	387	312.5	411	399.5	389.8	356	289.7	430.5	397	322.5	401	299.5
26	321.6	278	278	289.6	278.7	323.6	400	289.5	351.6	288	238	269
27	415.6	289.5	295.4	266.5	345.5	391.8	289.5	367.4	405.6	299.5	298.4	366.5
28	389.7	379	400.1	343.5	397.5	278.6	367.8	356	369.7	349	405.1	353.1
29	366.3	355.6	322.9	331.5	298.5	378.6	325.9	389.5	376.3	385.6	222.9	351.5
30	255.2	336.7	289.4	267.5	303.6	325.7	389.9	285	258.8	330.9	280.4	237.5
31	376.9	421.8	389	378.9	360.6	367	428	355.3	386.2	426.8	380	378
32	297.5	378.6	367.5	356.6	405.1	299	376.9	290.6	287.1	388.6	367.5	356.6
33	401.4	352.7	245.7	389.6	337.7	406.1	278	367.7	411	342.07	215	399.6
34	289.5	255	432	299.9	389.8	398.5	355.9	297	279.8	265	412	291.3

**Таблица 2 (к Занятию 1, задачам 3-6)**

Горизонт	Глубина, см	$\rho_b$ , г/см <sup>3</sup>	ППВ,%	ПВ,%
вариант 1				
А пах	0-25	1.15	33.1	36.3
А1	25-40	1.21	32.2	35.7
АВ	40-60	1.27	32	35
В1	60-70	1.35	31.2	34.4
вариант 2				
А пах	0-22	1.27	30.1	34.3
А1	22-40	1.32	29.2	33.7
АВ	40-60	1.37	28.8	33
В1	60-70	1.42	28.2	32.4
вариант 3				
А пах	0-25	1.25	32	35.3
А1	25-43	1.27	31.2	33.7
АВ	43-62	1.29	30.8	33
В1	62-70	1.35	30.2	32.4
вариант 4				
А пах	0-22	1.21	32.1	35.3
А1	22-40	1.25	31.2	36
АВ	40-58	1.27	30.8	33.1
В1	58-70	1.35	28.2	30.4
вариант 5				
А пах	0-22	1.19	31.7	36.3
А1	22-37	1.21	31	33.3
АВ	37-60	1.25	30.4	33.1
В1	60-70	1.37	26.3	29.4
вариант 6				
А пах	0-22	1.21	32	35.3
А1	22-43	1.25	31.2	34
АВ	43-60	1.27	30	33.1
В1	60-70	1.35	27.2	30.4

Горизонт	Глубина, см	$\rho_b$ , г/см <sup>3</sup>	ППВ,%	ПВ,%
вариант 7				
А пах	0-22	1.07	31.1	35.3
А1	22-40	1.32	30.2	32.5
АВ	40-70	1.41	27.3	30.1
вариант 8				
А пах	0-22	1.11	32.1	35.3
А1	22-40	1.25	31.2	33
АВ	40-60	1.27	30.8	33.1
В1	60-70	1.38	28.5	30.4
вариант 9				
А пах	0-22	1.2	23.4	33.5
А1	22-40	1.25	23.2	33.5
АВ	40-64	1.35	23	32.1
В1	60-70	1.38	22	30.4
вариант 10				
А культ	0-16	0.98	32.1	35.3
А культ	16-23	1.21	31	34
А1	23-40	1.25	30.4	33.1
АВ	40-60	1.37	26.5	30.4
В1	60-70	1.38	26.3	30.2
вариант 11				
А пах	0-22	1.21	30.3	35.3
А1	22-40	1.32	30.2	33
АВ	40-60	1.37	27.8	31.1
В1	60-70	1.4	27.5	30.4
вариант 12				
А пах	0-22	1.21	22.1	30.3
А1	22-46	1.35	20.3	30
АВ	46-62	1.35	21.1	28.1
В1	62-70	1.41	21.4	27.4

**Таблица 3 (к Знанию 1, задаче 4)**

**Влажность в начале и в конце вегетационного периода**

h, см	W, % в начале	W, % в конце
вариант 1		
0-10	30.3	13
10-20	27.6	15.5
20-30	25.5	19.5
30-40	25	20.3
40-50	24.9	20.7
50-60	24.5	21.2
60-70	24.3	21.6
вариант 2		
0-10	30	16
10-20	28.6	15.5
20-30	26.5	17.5
30-40	25.4	18.3
40-50	23.9	20.1
50-60	24	20.2
60-70	24.3	21
вариант 3		
0-10	30.1	14
10-20	27	15.5
20-30	25.2	18.5
30-40	25	19.3
40-50	24.5	20
50-60	24.2	21.2
60-70	24	21.5
вариант 4		
0-10	30	18
10-20	27.9	17.5
20-30	25.8	19.5
30-40	25.7	20.3
40-50	25.9	20.7
50-60	25.5	21.2
60-70	24.9	21.6

h, см	W, % в начале	W, % в конце
вариант 7		
0-10	31	17
10-20	29.9	17.5
20-30	26.8	18.5
30-40	26.7	19.3
40-50	26.7	19.7
50-60	26.5	20.2
60-70	26	20.6
вариант 8		
0-10	28.2	18
10-20	27.9	18.5
20-30	27.8	18.5
30-40	27.8	19.3
40-50	27.8	19.7
50-60	27.5	20.2
60-70	26.9	20.6
вариант 9		
0-10	17.8	14
10-20	18.3	14.5
20-30	18.3	14.5
30-40	18.3	14.6
40-50	18.7	14.7
50-60	18.7	13.8
60-70	18.9	13.8
вариант 10		
0-10	28.2	19.2
10-20	27.7	19.5
20-30	27.7	19.5
30-40	26.4	19.3
40-50	26	19.7
50-60	26.3	20.2
60-70	26.3	20.6

h, см	W, % в начале	W, % в конце
вариант 5		
0-10	30.4	19.2
10-20	28.6	19.8
20-30	28.6	19.5
30-40	28.6	20.3
40-50	28.6	22.7
50-60	27.5	23.2
60-70	26.9	23.2
вариант 6		
0-10	27	15
10-20	27.5	16.5
20-30	25.6	18.4
30-40	25.6	20.1
40-50	25.6	20.4
50-60	25.6	21.2
60-70	24.9	21.2

h, см	W, % в начале	W, % в конце
вариант 11		
0-10	25.9	13.2
10-20	25.9	15.4
20-30	25.8	17.2
30-40	25.8	19.3
40-50	26	19.7
50-60	26	20.2
60-70	26	20.6
вариант 12		
0-10	19.5	13
10-20	19.5	14.5
20-30	19.8	16
30-40	19.8	16.6
40-50	19.8	17
50-60	19.5	17.2
60-70	18.9	17.4

**Таблица 4 (к Занятию 1, задаче 6)**

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вп, м <sup>3</sup> /га	9500	9000	8750	8950	9200	7950	8950	8500	6500	8000	8500	6900
Оо-з, мм	43	41	53	33	40	100	52	33	43	47	33	50
α	0.4	0.35	0.4	0.5	0.31	0.25	0.4	0.5	0.33	0.37	0.5	0.4
Еоз, м <sup>3</sup> /га	210	200	250	210	220	300	215	210	180	190	250	200

Вп – водопотребление, м<sup>3</sup>/га; Оо-з – количество осадков осенне-зимнего периода, мм; α – коэффициент использования осадков; Еоз – испарение за осенне-зимний период, м<sup>3</sup>/га

Таблица 5 (к Занятию 2, задаче 1)

## Химический состав речных вод Краснодарского края, ммоль-экв/л

Варианты	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<b>Вариант 1</b>							
а) Река Маклета	10.9	29.1	42.2	-	5.1	15.6	62.1
б) Река Бейсуг	3.8	7.6	9.3	-	7.3	1.6	11.8
<b>Вариант 2. Река Магута</b>							
а) в мае	7.1	14.7	13.2	1.8	7.2	2.3	23.7
б) в августе	9.5	21.2	17.4	-	6	4	38
<b>Вариант 3. Река Маклета</b>							
а) В верхнем течении	9.5	17.5	16.5	-	6	3.9	33.5
б) В нижнем течении	11.6	26	27.9	-	6.5	10.2	48.6
<b>Вариант 4</b>							
а) Река Калалы в верхнем течении в мае	9.5	22.7	16.5	-	5.5	7.4	35.7
б) Река Кирпили в верхнем течении в мае	2.8	5.7	11	2.4	7.5	4.4	5.3
<b>Вариант 6. Река Калалы</b>							
а) В июле	10.6	22.5	23.3	-	5.9	10.7	38.9
б) В мае	9.6	22.9	18.2	-	5.5	7.5	37.7
<b>Вариант 7.</b>							
а) Река Соснка	4.7	19.7	32.8	-	6.1	3.9	17.2
б) Приток реки Соснки	11	17.6	9.1	1.2	6.1	3.2	27.2
<b>Вариант 8. Река Соснка в нижнем течении</b>							
а) В июле	4.6	25.8	8.3	-	4.5	3.9	30
б) В сентябре	10.6	16.2	26.1	0.6	6	5.1	41.4
<b>Вариант 9</b>							
а) Река Калалы, в верхнем течении	11.9	19.1	22.1	-	6.7	5.3	41.2
б) Река Чалбас в верхнем течении	6.4	16	13	-	6	2.9	26.5
<b>Вариант 10. Река Бейсужек</b>							
а) В верхнем течении	4	8	11	-	6.7	1.6	14.7
б) В нижнем течении	1.4	7.2	13.9	2.2	8	3	9.2
<b>Вариант 11. Река Ясени</b>							
а) В верхнем течении	7.1	17.6	29.1	-	7.6	3.7	42.5
б) В нижнем течении	7.4	17.6	33.4	-	6.1	4.4	47.9
<b>Вариант 12. Река Бейсужек</b>							
а) До впадения реки Журавка	3.1	5.2	8.7	-	7	1.4	8.6
б) После впадения реки Журавка	5.2	6.8	21.3	0.6	8.9	2.3	23.5

Таблица 6 (к Занятию 4, задаче 1-4)

Химический состав водной вытяжки (ммоль-экв/100 г. почвы)

Вар нт	Почва	Глубин а, см	Сух. оста- ток, %	Анионы, ммоль-экв /100 г				Катионы, ммоль- экв/100 г			р <sub>в</sub> , г/см <sup>3</sup>
				CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	лугово-каштановая	0-20	2.31		0.59	25.5	10.6	8.15	1.5	27	0.85
		20-40	2.5		0.62	20.6	16.8	5.81	5.6	23.3	1.32
		40-60	2.32		0.44	18.4	17.3	7.5	5.44	23.2	1.35
2	солончак приморский среднесуглинистый	0-4	2.04		0.24	23.4	10	5.64	7.41	20.6	1.2
		14-40	1.14		0.12	7.5	10	7.23	3.89	6.5	1.3
		14-40	1.81		0.11	18.4	10	5.28	10	13.3	1.33
3	солонец типичный глубоко-столбчатый глинистый	0-10	0.3		0.76	-	0.05	0.1	0.1	0.61	1.28
		10-30	0.66		1.02	-	5.81	0.3	0.21	6.32	1.36
		30-50	1.05		0.64	0.05	8.54	2.83	1.29	5.11	1.43
		50-70	0.44		0.57	0.05	2.25	0.05	0.05	4.77	1.47
4	солонец типичный глубоко-столбчатый глинистый	0-5	0.44		0.39	6.79	0.29	1.89	0.58	5	1.31
		5-25	0.57		0.34	9.46	0.1	2.15	0.75	6.96	1.17
		25-50	1.45		0.26	23.3	9.48	12.5	5.17	15.4	1.42
		50-70	1.61		0.21	25.8	5.31	9.19	5.42	16.7	1.32
5	солонец корковый среднесуглинистый	0-5	2.3	2.6	2.9	8.2	21.9	0.6	0.2	33.7	1.22
		5-20	1.7	1.8	2.9	6.3	13.6	0.9	0.2	23.5	1.33
		20-45	1.3	2.2	2.1	7.3	8.6	0.6	0.2	19.4	1.35
		45-80	0.8	1	2.4	4.9	3.7	0.3	0.2	11.2	1.37
6	солонец солончаковый тяжело-суглинистый	0-6	1.1	-	8	1.6	7.4	1.3	0.4	15.3	1.6
		6-25	1.2	-	3.3	2.1	10.9	1	0.6	14.7	1.68
		25-50	0.8	-	6.4	1.1	4.3	2.2	0.9	8.7	1.55
		50-70	0.8	1.3	6.4	1	5.8	0.7	0.9	12.9	1.64
7	солонец корковый среднесуглинистый	0-2	0.2	-	1.5	0.2	0.3	0.4	0.4	1.2	1.15
		2-7	0.3	-	4.1	1.3	0.7	0.6	0.2	5.3	1.23
		7-20	0.7	-	4.9	1.5	4.8	0.6	0.4	10.2	1.27
		20-40	1	0.5	4.2	0.3	7.3	0.9	0.9	10.5	1.39
8	светло-каштановая солонцеватая легко-суглинистая	0-20	0.29		1.2	2	0.8	0.3	0.2	3.5	1.31
		20-60	0.44		1	3.6	0.6	0.5	0.4	4.3	1.65
		60-100	1.44		0.5	6.3	15.6	12.1	2.4	7.9	1.44
		100-140	1.37		0.3	5.9	19.5	12.8	4.9	8	1.37

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	светло-каштановая солонцеватая легкосуглинистая	0-10	0.1		0.7	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	1.42
		10-25	0.33		0.5	4	0.2	0.2	0.2	4.3	1.65
		25-60	0.86		0.55	11.9	1.2	1.35	2.4	9.9	1.56
		60-100	1.46		0.3	13.5	7.5	5.3	5.8	10.2	1.4
10	солонец солончаковый легкосуглинистый	0-5	0.59	-	1.55	1.41	3.36	0.39	0.39	5.54	1.16
		5-10	0.51	-	1.22	3.24	4.89	0.31	0.07	8.97	1.23
		10-30	0.79	-	1.9	7.54	2.3	0.62	0.39	10.7	1.4
		30-70	1.15	0.1	0.93	16.3	7.3	1.88	1.74	21	1.6
11	солончак гидроморфный легкосуглинистый	0-5	0.19		0.66	0.03	1.56	1.75	0.5	-	1.25
		5-22	0.27		0.58	-	2.92	2.75	0.75	-	1.37
		22-45	1.26		0.41	0.26	15.9	14.5	1.15	0.74	1.4
		45-70	2.41		0.48	1.4	30.2	15.6	9.25	7.31	1.42
12	лугово-черноземная сильно-солончаковая среднесуглинистая	0-13	0.1		0.32	0.4	0.12	0.35	0.16	0.33	1.25
		13-28	0.14		0.44	0.72	0.17	0.5	0.25	0.58	1.37
		28-40	1.23		0.28	13.4	1.87	5.78	2.79	6.99	1.41
		40-85	1.39		0.28	11.8	3.16	4	4	7.26	1.39

**Таблица 7 (к Занятию 4, задаче 5)**

Вариант	h, см	$\rho_b$ , г/см <sup>3</sup>	Емкость поглощения, ммоль /100 г п.	Na (обменный), ммоль/100г почвы	Грунтовые воды, м
1	20	1.31	44.2	5.72	6
2	25	1.37	46.2	8.75	3
3	30	1.3	44.96	15.72	1.6
4	40	1.23	45.2	10.72	2.6
5	20	1.35	47	11.07	7
6	25	1.31	44.7	9.17	5
7	40	1.38	44.3	8.72	2.3
8	25	1.33	40.2	7.92	8
9	30	1.31	41.8	8.72	6
10	25	1.34	40.12	13.72	5
11	27	1.38	41.22	7.98	1.5
12	32	1.31	40	6.72	6

Таблица 8 (к Занятию 5 задаче 1)

## Параметры уравнения Хугхаудта

Вариант	Kf1	Kf2	D	Soc	h
1	1.45; 0.6	0.18	1.5	0.009	0.5
2	0.75	0.30; 0.95	2	0.01	0.8
3	0.8	1.2	2.5; 0.5	0.01	0.7
4	0.95	0.2	1.5	0.008	0.3; 0.5
5	1.10; 0.3	0.35	2	0.009	0.6
6	0.3	0.45; 1.0	1.5	0.009	0.7
7	0.25	0.7	1.5; 0.75	0.008	0.5
8	0.55	0.3	1	0.007; 0.01	0.6
9	0.6	0.2	1	0.007	0.3; 0.7
10	1.30; 0.45	0.85	2	0.015	0.4
11	1.15	1.00; 5	2.5	0.015	0.6
12	0.3	0.15	1.0; 3.0	0.007	0.5
13	1.9	0.9	2.5	0.015; 0.007	0.6
14	0.2	0.25	1.5	0.007	0.3; 1.0
15	0.45; 0.95	0.2	1.5	0.008	0.3
16	1	1.20; 0.30	2.5	0.015	0.4
17	0.75	0.45	1.5; 0.5	0.009	0.5
18	0.3	0.20; 1.00	1.5	0.009	0.3

Таблица 9 (к Занятию 5 задаче 2)

Определение междренних расстояний по гранулометрическому составу почвы.  
Глубина заложения дрен 70 и 100 см

Горизонт	глубина, см	Содержание частиц < 0,01 мм	Горизонт	глубина, см	Содержание частиц < 0,01 мм
Вариант 1. Дерново-подзолистая глеевая легкосуглинистая почва на двучлене, уклон менее 0.01			Вариант 2. Дерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая почва на покровном суглинке. Нижняя часть склона. Уклон 0.01		
Ap	0-24	25.0	Ap	0-21	23.8
Eg''	24-32	27.9	E	21-32	29.1
EBg'''	32-41`	44.5	EBg''	32-42	29.4
B1g''	41-69	40.8	B1g''	42-75	30.7
B2g''	69-117	45.1	B2g''	75-130	42.8
BCg'''	117-150	74.0	C	>130	41.5
Вариант 3. Дерново-подзолистая глеевая суглинистая почва на покровном суглинке. Уклон 0.02			Вариант 4. Дерново-подзолистая глееватая среднесуглинистая почва на маломощном двучлене. Уклон 0,005		
Ap	0-30	30.8	Ap	0-22	34.8
E	30-45	37.1	A1E	22-30	31.6
EB	45-58	49.2	EB	30-42	43.5
B1g	58-95	44.8	B1C1g'	42-60	49.4
B2g'	95-140	61.4	B1C2g'	60-120	67.8
Вариант 5. Дерново-подзолистая глеевая легкоглинистая почва. Уклон 0.01			Вариант 6. Дерново-подзолистая глееватая среднесуглинистая почва на маломощном двучлене. Уклон 0.015		
Ap	0-19	61.3	Ap	0-27	36.0
EBg'	19-32	67.8	E	27-48	49.1
B1g''	32-55	91.3	B1g'	48-70	51.3
B2g''	55-90	92.5	BC1	70-90	55.1
BCg''	90-150	93.0	BC2g'	90-140	67.8
Вариант 7. Дерново-сильноподзолистая глеевая легкосуглинистая почва на двучлене. Уклон <0,01			Вариант 8. Дерново-сильноподзолистая глеевая ортзандовая супесчаная почва. Основание склона. Уклон 0,015		
Ap	0-24	25.0	Очес	0-5	-
Eg''	24-32	27.9	A1g'	5-9	13.6
EBg'''	32-41	44.5	Eg''	9-44	18.9
B1g''	41-69	40.8	B1g''	44-62	13.5
B2g''	69-117	45.1	B2g''	62-83	6.5
BCg'''117-150	117-150	74.0	Ort	83-150	8.3
			Gr	150-180	7.8

Горизонт	глубина, см	Содержание частиц < 0,01 мм	Горизонт	глубина, см	Содержание частиц < 0,01 мм
Вариант 9. Дерново-подзолистая глинистая глеевая почва на покровном суглинке. Замкнутая депрессия.			Вариант 10. Дерново-подзолистая глееватая среднесуглинистая почва на маломощном двучлене. Уклон 0,025		
A1g'	0-20	56.5	Ap	0-22	34.0
Eg''	20-29	43.8	E	22-40	48.7
EBg'''	29-41	54.5	B1g'	40-65	50.7
B1g'''	41-72	55.7	BC1	65-83	58.4
B2g'''	72-110	59.6	BC2g'	83-133	70.0
BCg'''	110-145	61.3			
Вариант 11. Дерново-подзолистая глеевая легкосуглинистая почва на покровном лессовидном суглинке. Уклон 0,01			Вариант 12. Дерново-подзолистая глееватая почва на тяжелом лессовидном суглинке. Пашня.		
Ap	0-21	23.8	Ap <sub>g</sub> '-g''	0-18	40.1
E	21-42	29.1	Eg''	18-26	47.2
B1g''	42-75	29.4	EB <sub>g</sub> '-g''	26-48	52.5
B2g''	75-130	42.6	B1g''	48-98	59.4
G	>130	41.3	B2g''	98-150	51.6
Вариант 13. Дерново-подзолистая глееватая тяжелосуглинистая почва на покровном суглинке. Уклон 0.01			Вариант 14. Дерново-сильноподзолистая глеевая ортзандовая супесчаная почва. Уклон 0.015		
Ap	0-28	48.2	A1g'	0-10	11.6
E	28-39	37.1	Eg''	10-34	19.9
EB	39-60	46.6	B1g''	34-58	16.8
B1g	60-93	54.8	B2g''	58-75	8.5
B2g	93-120	55.7	Ort	75-137	10.3
Gr	>120	9.8	Gr	>137	9.8
Вариант 15. Дерново-подзолистая глееватая суглинистая почва на покровном суглинке. Уклон 0,02			Вариант 16. Дерново-подзолистая глееватая среднесуглинистая почва на маломощном двучлене. Уклон 0,005		
Ap	0-30	30.8	Ap	0-22	34.8
E	30-45	37.1	A1E	22-30	31.6
EB	45-58	49.2	EB	30-42	43.5
B1	58-95	44.8	B1C1g'	42-60	49.4
B2g'	95-140	61.4	B1C2g'	60-120	67.8

Для заметок

---