



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрометрии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему Создание датчика влажности почвы в  
среде Ардуино. Применение его на единичном водосборе  
и стоковой площадке на базе практики РГГМУ

Исполнитель Дембский Андрей Дмитриевич  
(фамилия, имя, отчество)

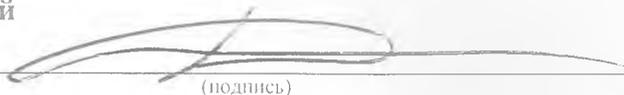
Руководитель доцент кафедры гидрометрии  
(ученая степень, ученое звание)

Гаврилов Илья Сергеевич  
(фамилия, имя, отчество)

Научный консультант Зам. зав. отдела стандартизации и  
метрологии ФГБУ ГГИ  
(ученая степень, ученое звание)

Тимофеев Антон Юрьевич  
(фамилия, имя, отчество)

«Б защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

К.Г.Н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич  
(фамилия, имя, отчество)

15 июля 2018 г.

Санкт-Петербург  
2018



## Содержание

Введение.....	3
1 Водные свойства и водный режим почв.....	4
1.1 Значение воды в почве.....	4
1.2 Форма воды в почве.....	5
1.3 Водные свойства почвы и основные почвенно-гидрологические константы.....	9
1.4 Типы водного режима почв и пути регулирования.....	15
2. Методы и средства измерения влажности почвы.....	18
2.1 Контактные методы.....	19
2.2 Прямой метод определения влажности почвы.....	19
2.3 Косвенные методы определения влажности почвы.....	21
2.4 Дистанционные методы.....	22
3 Программно аппаратный комплекс.....	23
3.1 Программное обеспечение Arduino IDE.....	26
3.2 Микроконтроллер Atmel ATmega328.....	27
3.3 Датчик влажности почвы SEN0193.....	29
3.4 Алгоритм обработки данных.....	31
3.5 Калибровка датчика влажности почвы SEN0193.....	32
4. Измерение показаний влажности на экспериментальной установке.....	35
4.1 Описание установки.....	35
4.2 Подготовка к эксперименту.....	36
4.3 Проведение эксперимента.....	37
5. Проведение натурных наблюдений.....	39
5.1 Анализ полученных данных.....	39
Заключение.....	41
Список использованных источников.....	42

## Введение

Почва является многофазной системой способной поглощать и удерживать воду. В ней постоянно содержится какое то количество влаги. Почва насыщается влагой из атмосферных осадков и грунтовых вод, при конденсации водяных паров из атмосферы. Содержание влаги в почве сильно влияет на гидрологические характеристики стока, такие как: уровни воды, расход воды и т.д. Измерение влажности почвы трудоемкий процесс. Измерительные устройства для орошения дорогостоящие, больших размеров и требуют постоянного сервисного обслуживания. Дешевые датчики недолговечны (работают 1-2 дня, затем корродируют, окисляются). В этих датчиках нет защиты от воздействия влаги на контактную группу, плату датчика. Цель работы: изучение всевозможных датчиков и возможность усовершенствования одного из них для долговечного использования и защита от воздействия влаги, создание программного обеспечения для выбора дискретности измерений и получения результатов в реальном времени, получение входящих данных для модели стока(Сокраменто, MLCM и т.д.)

## 1 Водные свойства и водный режим почв

Почва является многофазной системой способной поглощать и удерживать воду. В ней постоянно содержится какое-то количество влаги. Почва насыщается влагой из атмосферных осадков и грунтовых вод, при конденсации водяных паров из атмосферы, при орошении.

От почвенной влаги зависит жизнеспособность растений, почвенной фауны и микрофлоры, основное количество воды они получают из почвы. Содержание воды в почве сильно влияет на интенсивность протекающих в ней биологических, химических и физико-химических процессов, передвижение веществ и формирование почвенного профиля, водно-воздушный, питательный и тепловой режимы, ее физико-механические свойства, все эти факторы являются основой почвенного плодородия. Из этого следует, что содержание влаги в почве напрямую влияет на урожайность.

### 1.1 Значение воды в почве

Влага потребляется растениями в очень больших количествах. Для формирования 1 г сухого органического вещества потребляется от 200 до 1000 г воды. Объем воды, потраченный для создания единицы сухого вещества за вегетационный период, называется транспирационным коэффициентом. Но растения усваивают лишь часть почвенной влаги, удерживаемой силами меньшими, чем сосущая сила корней, продуктивная влага. При процессе фотосинтеза вода вместе с углекислым газом - первичный источник образования органического вещества растений. При питании растения почвенным раствором, в него также поступают различные питательные вещества. Лишь при стабильном и достаточном количестве влаги в почве, растения могут развиваться нормально. Избыточное или недостаточное количество влаги в почве негативно влияет на жизнедеятельность растений. В этом случае неэффективными становятся различные приемы, направленные на повыш

ение урожаев сельскохозяйственных культур (внесение удобрений, известкование и др.).

Водообеспеченность растений определяется не только количеством поступающей воды в почву, но и ее водными свойствами, способностью почвы впитывать, фильтровать, удерживать, сохранять воду и отдавать ее растению по мере потребления. При идентичных климатических условиях и одинаковой влажности, почвы содержат в себе различный объем доступной влаги, что зависит от механического состава почв, структурного состояния, содержания гумуса и других показателей, которые определяют водные свойства почвы.

## 1.2 Форма воды в почве.

При определении обеспеченности растений почвенной влагой, нужно иметь представление о формах и взаимосвязях влаги в почве. Вода в почве имеет возможность пребывать в трех агрегатных состояниях: в парообразном, твердом и жидком. Вода в парообразном состоянии содержится в почвенном воздухе и поступает из атмосферы, а также образуется в почве при испарении жидкой воды и льда, бесприпятственно передвигается в почве из более влажных мест в менее увлажненные (при условии одной и той же температуры во всех горизонтах почвы), а из горизонтов с большей температурой - в участки с меньшей температурой. Практическое значение парообразной почвенной влаги в земледелии ничтожно, однако в почвах засушливых районов за счет водяного пара в зимнее время в метровом слое аккумулируется до 10-14 мм влаги. Твердая вода непосредственно не используется растениями, хотя и может служить резервом доступной влаги (жидкой и газообразной).

На жидкую и парообразную влагу действуют различные природные силы: гравитационные, молекулярного притяжения твердой фазы почвы и силы притяжения между молекулами воды. От преобладания какой-либо из этих сил зависит подвижность и доступность почвенной влаги для растений.

Из основных форм почвенной влаги, различающихся между собой прочностью связи с твердой фазой почвы и уровнем подвижности, можно выделить: кристаллизационную, гигроскопическую, пленочную, капиллярную, гравитационную,

Кристаллизационная вода - это химически связанная вода, входящая в состав минералов либо в виде гидроксильных групп ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), либо в виде целых молекул (например, гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), мирабилита ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) и др.); формируется при прогреве почвы до температуры 400 - 600 °С. Химически связанная влага недоступна растениям и не принимает участия в протекающих в почве физических процессах.

Гигроскопическая вода. Часть влаги, пребывающей в воздухе в парообразном состоянии, поглощается поверхностью почвенных частиц, формируя гигроскопическую влагу - форму сорбционной воды, то есть влага, которая удерживается силами сорбции. Объем данной влаги зависит от: относительной влажности и температуры воздуха (чем больше влаги в воздухе и ниже температура, тем выше содержание влаги в почве), содержания органического вещества (чем выше содержание в почве гумусовых веществ, тем ее больше) и механического состава (при идентичных условиях, песчаная или супесчаная почва будет содержать меньше гигроскопической влаги, чем глинистая или суглинистая). Максимальный объем гигроскопической воды, потребленный почвой и выраженное в процентах от массы сухой почвы, именуется максимальной гигроскопичностью. Данный объем влаги может поглотить почва из воздуха, который имеет относительную влажность, примерно равную 100 %. Максимальная гигроскопическая влажность - величина

на, постоянная для всех видов почв, поскольку ее можно определить при постоянной относительной влажности воздуха и температуре. Для песчаных видов почв колеблется от 0,1 до 1,5 в глинистых, гумусированных-до 10-15, в органогенных-до 20-40 % от веса сухой почвы. На поверхности почвенных частиц молекулы гигроскопической воды держатся с достаточной силой, только продолжительным нагреванием почвы при 105 °С поможет их удалить. Из этого следует, что гигроскопическая влага недоступна для растений.

Максимальная гигроскопичность применяют для определения мертвого запаса влаги (МЗВ) в почве, при этом количестве влаги в почве растения стабильно завядают, поскольку растения не могут использовать эту влагу. Он равен  $1,5 \cdot МГ$ , т.е. в состав мертвого запаса влаги входит еще пленочная влага.

Почвенные частицы покрываются слоем пленочной влаги вслед за слоем гигроскопической влаги, пленочная влага удерживается силами межмолекулярного притяжения, поскольку удерживается она слабее, то является частично доступной (для взрослых растений). Кристаллизационная, гигроскопическая и пленочная формы воды относятся к прочносвязанной воде и составляют мертвый запас влаги.

Продуктивной называется такая влага, которая находится в почве сверх мертвого запаса. Данная влага способствует формированию урожая сельскохозяйственных растений.

Свободная влага не связана силами притяжения с почвенными частицами, доступна растениям, передвигается в почве под действием капиллярных и гравитационных сил. В связи с этим выделяют капиллярную и гравитационную воду.

Капиллярная вода заполняет тонкие (капиллярные) поры почвы и передвигается в них под влиянием капиллярных (менисковых) сил. От толщи

ны капилляра зависит высота подъема воды, чем он тоньше, тем вода поднимается выше. В зависимости от характера увлажнения различают капиллярно-подвешенную и капиллярно-подпертую воду. Если почва увлажняется сверху (атмосферные осадки, оросительные воды), то формируется капиллярно-подвешенная влага, которая находится в верхней части профиля почвы и не связана с грунтовыми водами.

Капиллярно-подпертая формируется при увлажнении снизу и поднимается от зеркала грунтовых вод. Капиллярной каймой называют почвенный слой, в котором распространяется капиллярно-подпертая влага, мощность почвенного слоя зависит от водоподъемной способности почвы. Для растений, капиллярная влага - это основной источник водного питания. Стойкая влага - это вид капиллярной воды, она находится в почвах с атмосферным увлажнением, является влагой, сдерживаемой между частицами почвы и не протекающей ниже.

Если капиллярные поры в почве наполнены водой, то при дальнейшем увлажнении будут наполняться некапиллярные промежутки. Данная влага называется гравитационной, она может свободно перемещаться в почве, ее движение подчиняется только силе тяжести. В почве гравитационная влага имеет возможность перемещаться только из верхних в нижние слои. При перемещении вниз, гравитационная влага может являться источником питания грунтовых вод или преобразуется в другие формы воды и распределяется по толще почвы. По причине недостатка воздуха и нарушения газообмена, гравитационная влага избыточна для растений, по этой причине мало продуктивна, хоть и весьма доступна. После таяния снега или продолжительных дождей наступает полное насыщение почвы, но данное явление непродолжительно.

Водное питание растений очень зависит от грунтовых вод. В северных районах, если уровень грунтовых вод подходит к верхней границе почвы, формируется заболачивание, в южных - засоление. Засоление происходит

при залегании грунтовых вод на критической глубине в диапазоне 1.5-2.5 м.

### 1.3 Водные свойства почвы и основные почвенно-гидрологические константы

Помимо атмосферных осадков, основным фактором формирования в одного режима почвы является водные свойства самой почвы. Главными в одними свойствами являются: водопроницаемость, водоподъемная способность (или капиллярность), влагоемкость.

Водопроницаемость - это способность почвы впитывать и пропускать через себя воду. Водопроницаемость измеряется объемом воды, протекающей через единицу площади поверхности почвы в единицу времени, выражается в мм водного столба в единицу времени. Впитывание влаги и ее фильтрация является процессом водопроницаемости. Если почва не насыщена водой, то происходит впитывание, при заполнении водой большей части пор почвы происходит фильтрация. Впитывание воды обусловлено сорбционными и капиллярными силами, фильтрация - силой тяжести. Водопроницаемость зависит от механического состава, структуры (у структурных почв выше, чем у бесструктурных), содержания гумусовых веществ (в целом от общего объема пор в почве и их размера), также на водопроницаемость влияет состав поглощенных катионов, так как кальций увеличивает водопроницаемость, а натрий ее уменьшает. Если почва по своему механическому составу легкая, то водопроницаемость высокая, а поры крупные. В почвах тяжелого механического состава с глыбисто - пылеватой структурой и плотных бесструктурных почвах водопроницаемость низкая. Подобные почвы резко увеличивают свои фильтрующие способности после структурирования (суглинистые и глинистые почвы, обладающие водопрочной комковато-зернистой структурой, также отличаются высокой водопроницаемостью).

Если влага в почве просачивается в течении первых 60 минут на глубину до 15 см, то у такой почвы водопроницаемость считается хорошей. Если влага в почве за первый час проходит от 5 до 15см, то почвы считается средне водопроницаемой, а если до 5 см, то слабоводопроницаемой. Уровень задеирования водных ресурсов сильно зависит от данного свойства. Если водопроницаемость слабая, то оросительная вода или атмосферные осадки частично стекают по поверхности, в таких ситуациях влага расходуется непродуктивно, развивается эрозия почвы, застаивается вода на поверхности, происходит вымокание культур. Если водопроницаемость очень высокая, не формируется хороший запас воды в корнеобитаемом слое почвы, а в орошаемом земледелии наблюдается большая потеря на полив.

Водоподъемная способность - такое свойство почвы, которое за счет капиллярных сил способно поднимать находящуюся в ней (влага в почвенных капиллярах образует вогнутый мениск, на поверхности которого создается поверхностное натяжение). Диаметры капилляров влияют на высоту капиллярного поднятия: чем они тоньше, тем выше поднятие, и наоборот. Минимальная водоподъемная способность наблюдается у песчаных почв, максимальная- у глинистых и суглинистых. Максимальная высота подъема воды над уровнем грунтовых вод для песчаных почв 0,5 - 0,8 м, для суглинистых 2,5 - 3,5 м, в глинистых почвах 3,0 - 6,0 м. Размеры пор и их вязкость влияют на скорость подъема воды, обусловливаемой ее температурой. По тонким капиллярам вода поднимается медленнее, чем по крупным порам. Вязкость воды уменьшается при повышении температуры, в связи с этим, скорость ее капиллярного поднятия увеличивается. На скорость капиллярного подъема в значительной мере играют растворенные в воде соли. Пресные грунтовые воды, в отличие от минерализованных, поднимаются к поверхности с меньшей скоростью.

При помощи капиллярных явлений и способностям почв к подъему воды, грунтовые воды принимают участие в дополнительном питании растений водой, особенно в засушливые годы, развитии восстановительных процессов и засолении почвенного профиля.

Влагоемкость - свойство почвы удерживать и впитывать необходимое количество влаги. Выражается в % к весу сухой почвы. Эта способность зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса, состава поглощенных катионов. Глинистые почвы, богатые коллоидами с высоким содержанием гумуса, характеризуются высокой влагоемкостью. Почвы, которые имеют в своем составе известь, хлориды, обладают высокой влагоемкостью. Различают следующие виды влагоемкости: максимальную гигроскопическую, капиллярную, полевую и полную.

Максимальная гигроскопическая влагоемкость (МГВ) - это максимальный недоступный растениям объем влаги (мертвый запас влаги), прочно удерживающийся молекулярными силами почвы (адсорбцией). Величина этой влагоемкости зависит от суммарной поверхности частиц, а также содержания гумуса: чем больше в почве илистых частиц и гумуса, тем она выше.

Капиллярная влагоемкость - максимальное количество воды (капиллярно-подпертой влаги), которое удерживается в почве над уровнем грунтовых вод при заполнении капиллярных пор. Кроме свойств почвы, величина капиллярной влагоемкости зависит от высоты над зеркалом грунтовых вод. Вблизи грунтовых вод она наибольшая, а с поднятием к поверхности уменьшается и на границе капиллярной каймы равна наименьшей влагоемкости.

Наименьшая влагоемкость (НВ) или предельная полевая влагоемкость (ППВ) - это наибольшее количество воды, которое остается в почве после ее полного увлажнения и бесприпятственного стекания избыточной воды.

Величина наименьшей влагоемкости зависит от гранулометрического и минералогического состава, плотности и пористости почвы. Она соответствует величине капиллярно-подвешенной воды. Наименьшая влагоемкость-важнейшая характеристика водных свойств почвы, дающая представление о наибольшем количестве воды, которое почва способна накопить и длительное время удерживать. Наименьшая влагоемкость составляет (в % от веса абсолютно сухой почвы): для песчаных - 4-9, супесчаных - 10-17, легко и среднесуглинистых 18-30, тяжелосуглинистых и глинистых 23-40. Наибольшие значения ППВ характерны для гумусированных почв тяжелого механического состава, обладающих хорошо выраженной макро- и микроструктурой.

Полной влагоемкостью (ПВ) называется наибольшее количество воды, которое может вместить почва при полном заполнении всех ее пор водой при отсутствии оттока (численно равна пористости почвы).

Оптимальной влажностью для большинства культурных растений условно принято считать влажность, приблизительно равную 50 % полной влагоемкости данной почвы. Для большинства зерновых культур оптимальная влажность составляет 30-50 %, для зернобобовых - 50-60 %, технических растений и корнеплодов-60-70 %, сеяных луговых трав (злаков и бобовых)-80-90 % ПВ почвы. Поэтому оптимальная влажность почвы для разных растений и почв должна несколько отклоняться от условно принятой.

Полевая влажность (ВП) характеризует содержание влаги в почве на данный момент, выражается в % к массе сухой почвы. Из общего количества влаги, содержащейся в почве при ее полном насыщении, выделяют такие пограничные значения влажности, при которых меняются поведение воды и ее доступность растениям. Границы значений влажности, характеризующие пределы появления различных категорий почвенной влаги, называются почвенно-гидрологическими константами. Наиболее широко используются следующие: максимальная гигроскопическая влагоемкость, влажность

ь разрыва капилляров (ВРК), влажность завядания (ВЗ), наименьшая влагоемкость (НВ) и полная влагоемкость (ПВ). При влажности НВ вся система капиллярных пор заполнена водой, поэтому создаются оптимальные условия влагообеспеченности растений. По мере испарения и потребления воды растениями теряется сплошность заполнения водой капилляров, уменьшаются подвижность воды и доступность ее растениям. Влажность, при которой происходит разрыв сплошного заполнения капилляров водой, называется влажностью разрыва капилляров (ВРК). Это важная гидрологическая константа почвы, характеризующая нижний предел оптимальной влажности. Для суглинистых и глинистых почв ВРК составляет 65-70 % НВ.

Влажность завядания растений - это почвенная влажность, при которой у растений появляются признаки завядания, не исчезающие при помещении растений в атмосферу, насыщенную водяными парами, т.е. это нижний предел доступной растениям влаги (численно равна  $1,5 * МГ$ ). Влажность завядания зависит от вида растений и свойств почвы. Чем тяжелее механический состав почвы, чем больше в ней органического вещества, тем выше ВЗ. В среднем она составляет: в песках-1-3 %, в супесях-3-6 %, в суглинках-6-15 %, в торфяных почвах-50-60 %. Для растений доступна только та часть почвенной влаги, которая может быть усвоена в процессе жизнедеятельности. Она называется продуктивной влагой, так как используется для образования урожая и вычисляется как разница между ППВ и ВЗ. Зная количество продуктивной влаги, можно рассчитать урожай растений (1 % продуктивной влаги дает 1 ц зерна) и дефицит влаги.

Продуктивный запас влаги (ПЗВ) в определенном слое (или почвенном профиле) вычисляют, зная общий запас воды (ОЗВ) в этом слое и запас

труднодоступной воды (ЗТВ). Запас воды определяют для каждого почвенного горизонта по формуле:

$$B = W_n * d_v * H \quad (1)$$

где В-запас воды, м<sup>3</sup>/га для слоя Н, W<sub>п</sub>-полевая влажность, d<sub>v</sub>-объемная плотность почвы, г/см<sup>3</sup>, Н-мощность горизонта, см. Запас труднодоступной воды рассчитывают по той же формуле, но вместо W<sub>п</sub> берут ВЗ. Для пересчетов запасов воды, выраженных в м<sup>3</sup>/га, в мм их умножают на 0,1 (запас воды в 1 мм водного столба на площади 1 га равен 10 т воды). Разность между этими показателями дает продуктивный запас влаги: ПЗВ = ОЗВ-ЗТВ. Оценка запасов продуктивной влаги представлена в таблице 1.

Таблица 1. Оценка запасов продуктивной влаги в почве

Мощность слоя, см	ПЗВ, мм	Оценка запасов воды
0 – 20	> 40	Хорошие
	40 – 20	Удовлетворительные
	< 20	Неудовлетворительные
0 – 100	> 160	Очень хорошие
	160 – 130	Хорошие
	130 – 90	Удовлетворительные
	90 – 60	Плохие
	< 60	Очень плохие

## 1.4 Типы водного режима почв и пути регулирования

Под водным режимом почв понимают совокупность всех процессов поступления влаги в почву, ее передвижения, удержания и расхода. Через водный баланс, характеризующий приход и расход почвенной влаги, данную характеристику можно представить количественно..

Главный приходный элемент водного баланса-осадки, дополнительные-грунтовые воды и поверхностный сток. Расходные элементы водного баланса: физическое испарение воды почвой, транспирация (испарение влаги растениями), поверхностный сток и инфильтрация в грунт.

Водный режим разных видов почвы отличается из-за почвенных и климатических условий. Для решения задачи по установлению вида водного режима используют коэффициент увлажнения (КУ, ГТК), который показывает отношение годового количества осадков к испаряемости. Испаряемость-максимальное возможное количество воды, которое может испариться с открытой водной поверхности или с поверхности постоянно переувлажненной почвы в данных климатических условиях за определенный период времени, выражается в мм. Может колебаться в различных зонах (Г.Н.Высоцкий) от 0,1 до 3: лесная- 1,33, лесостепная-1, черноземная-0,67, сухие степи-0,33, пустыни-0,15. В соответствии с этим коэффициентом увлажнения выделяются основные типы водного режима: мерзлотный, промывной, периодически промывной, непромывной, выпотной и ирригационный.

Мерзлотный тип-характерен для территории сплошного распространения многолетней мерзлоты (в тундре, являющийся водоупором в данных широтах. Специфику этого типа водного режима создает близко залегающий постоянно мерзлый водоупорный горизонт, вследствие чего, несмотря на небольшое количество осадков, в теплое время года почва значительно перенасыщена водой.

Промывной тип чаще встречается в почвах лесной зоны (тайги, влажных тропиков и субтропиков, умеренных широколиственных лесов), где и испаряемость меньше количества осадков ( $KУ > 1$ ). Каждый год в этих широтах почвы и породы до грунтовых вод промываются водой, протекает процесс интенсивного выщелачивания, за границы почвенного профиля выносятся продукты почвообразования и формируются кислые почвы (подзолистые, дерново-подзолистые, красноземы и др.). Также может протекать процесс заболачивания почвы, при условии близкого залегания грунтовых вод и наличия водоупорного горизонта.

Периодически промывной тип ( $KУ \gg 1$ , от 0,8 до 1,2) характеризуется сбалансированностью осадков и испаряемости: в сухие годы осадки увлажняют почвенную толщу, не достигая грунтовых вод (непромывной режим), а во влажные годы происходит сквозное промачивание (промывной режим) почвогрунтов. Промывается один раз в несколько лет, характерен для лесостепной зоны, формируются серые лесные, черноземы выщелоченные и оподзоленные.

Непромывной тип ( $KУ < 1$ , от 0,1 до 0,6) характерен для степной, сухостепной и пустынной зон, где испаряемость превышает сумму атмосферных осадков (рис.10, б). Осадки распространяются только в верхних почвенных горизонтах и не достигают грунтовых вод. Между верхним промачиваемым и капиллярным слоем находится «мертвый горизонт» с постоянной влажностью, близкой к влажности завядания. Запасы воды, накопленные к весне за счет осенних осадков и талой воды, интенсивно испаряются и потребляются растениями. Формируются черноземы степной зоны, каштановые, бурые полупустынные, серо-бурые пустынные и др.

Выпотной тип ( $KУ < 1$ ) образуется в местах с близким залеганием грунтовых вод в зоне сухих степей, полупустынь и пустынь, где сумма осадков сильно ниже испаряемости. Не только грунтовые воды расходуются на испарение, также участвуют осадки. При высоком содержании солей в грун

товых водах с восходящим током воды в почву поступают легкорастворимые соли и почвы засоляются (солонцы и др.)

Ирригационный тип складывается в искусственно орошаемых почвах и характеризуется чередованием промывного и непромывного режимов. При поливе создается промывной тип, который затем сменяется непромывным. В почве непрерывно наблюдаются как нисходящие, так и восходящие потоки воды.

В зависимости от водного режима формируются автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные почвы.

Аutomорфные почвы-почвы, формирующиеся при условии ровной поверхности и склонах, при отсутствии препятствий для стока грунтовых вод. Поскольку грунтовые воды залегают достаточно глубоко, они не влияют на формирование почвенного профиля. Преобладают аэробные условия.

Полугидроморфные почвы формируются при кратковременном застое поверхностных вод или залегании грунтовых вод на глубине 3-6 м (капиллярная кайма может достигать корней растений и нижних почвенных горизонтов).

Гидроморфные почвы формируются в условиях избыточного увлажнения в результате длительного застоя поверхностных вод или близком залегании грунтовых (менее 3 м). Капиллярная кайма может достигать поверхности почвы, преобладают анаэробные процессы.

Поскольку внешние условия являются не единственным фактором формирования почвенной влаги (свойства почвы также являются данным фактором), то приоритетными становятся производственные приемы, улучшающие ее водный режим. Водный режим почвы регулируется различными мелиоративными и агротехническими мероприятиями, при учете специфических почвенно-климатических условий и потребностей выращиваемых культур к воде. Только коэффициент увлажнения близкий к единице является

оптимальным условием для роста культурных растений и их развития. Для устранения избыточного увлажнения болотных почв применяют открытый или закрытый дренаж. Водный режим почв с временным избыточным увлажнением улучшается с применением агротехнических приемов, среди которых следует выделить гребневание и бороздование: гребни увеличивают испарение, а по бороздам происходит сток воды. В районах, где наблюдается неустойчивое увлажнение и засушливость, обязательны к применению мероприятия, помогающие рациональному использованию влаги и ее накоплению. Для этого применяют снегозадержание с помощью стерни, кулисных растений, валов из снега, формируют сети прудов и водоемов, широко используют орошение в сочетании с высокой агротехникой, направленной на максимальное использование осадков. Для уменьшения поверхностного стока проводят вспашку поперек склонов, прерывистое бороздование, щелчевание и полосное размещение сельскохозяйственных культур. Накоплению и сохранению влаги в почве способствуют поверхностное рыхление или боронование весной (позволяет избежать физического испарения воды), мульчирование различными материалами, применение минеральных и органических удобрений приводит к более экономному использованию влаги.

## 2 Методы и средства измерения влажности почвы

Для определения влажности почвы существуют различные методы. Такое разнообразие объясняется тем, что человек и наука всегда стремились найти более точный, быстрый и простой способ определения требуемого параметра.

До появления современных приборов и технологий использовался контактный метод определения влажности почвы. После, когда новые технологии стали использоваться в метеорологии, а свойства земли и минералов содержащихся в ней позволили расширить диапазон измерений, появились дистанционные методы измерения влажности почвы.

## 2.1 Контактные методы

Контактные методы заключаются в непосредственном взаимодействии с почвой. Они разделяются на прямые методы и косвенные. Прямые методы основываются на извлечении воды из вещества и дальнейшем сравнении характеристик. В косвенных методах вычисляется величина, связанная с влажностью исследуемого материала. Косвенные методы требуют заранее проведенной калибровки с целью установления зависимости между параметрами влажности материала и измеряемой величиной. Все косвенные методы калибруются на основе данных, полученных прямым методом.

## 2.2 Прямой метод определения влажности почвы

В прямых методах производится разделение почвы на сухое вещество и влагу. Этот метод включает в себя измерение влагосодержания и влажности путем соотношения масс. Влагосодержанием называют абсолютную влажность, а под влажностью понимают относительную влажность. Полученная величина в обоих случаях является безразмерной.

Влагосодержание высчитывается следующим уравнением:

$$V = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{сух.почв}}} \quad (2)$$

,где  $M_{H_2O}$  - масса воды, кг;  $M_{\text{сух.почв}}$  - масса сухой почвы, кг.

При необходимости выразить влагосодержание в процентах, формула принимает следующий вид:

$$V = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{сух.почв}}} 100\% \quad (3)$$

Влагосодержание может принимать значения от 0% до бесконечности. Влажность высчитывается следующим уравнением:

$$W = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{влажн.почв}}} \quad (4)$$

, где  $M_{H_2O}$  - масса воды, кг;  $M_{\text{влажн.почв}}$  - масса влажной почвы, кг.

Так же как и влагосодержание, влажность можно выразить в процентах :

$$W = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{влажн.почв}}} 100\% \quad (5)$$

Влажность может принимать значения от 0 до 100%.

Наиболее популярным является термогравиметрический метод. Взвешивания производят на технических весах первого класса с точностью 0.01 г. Первым взвешивается исследуемый образец почвы массой примерно 5 г, просеянной через специальное сито с отверстиями 1 мм. Образец почвы помещается в специальный сушильный шкаф, где на протяжении 3 часов сушат почву при температуре 100 - 105 °С. По истечении нужного срока почву охлаждают и взвешивают, и снова помещают в сушильный шкаф, но уже на 2 часа. Такие измерения производятся до тех пор, пока масса высушенного образца почвы не будет отличаться от предыдущего значения, или отличие составляло бы не более 0.01 г.

Способ сушки можно ускорить, помещая образец почвы в сушильный шкаф при температуре 150-160 °С. При такой температуре влага будет удаляться значительно быстрее, но точность анализа будет ниже, так как при этой температуре процессы окисления и распада органического вещества будут происходить интенсивнее, чем при температуре 100 — 105 °С.

Вместо сушильного шкафа для сушки также используют теромизлучатели и электрические осветительные лампы.

Так же существуют и другие методы определения влажности почвы:

-экстракционные методы основаны на извлечении влаги из исследуемого образца почвы водопоглощающей жидкостью (диоксан, спирт) и определении характеристик жидкого экстракта, зависящих от его влагосодержания: плотности, показателя преломления, температуры кипения или замерзания;

- пикнометрический метод: определение плотности объемным методом, спомощью помещения почвы в жидкости разного удельного веса или же дополнительное увлажнение до водоудерживающей способности. Данный метод является больше лабораторным и менее точным, чем термогравиметрический

.

### 2.3 Косвенные методы определения влажности почвы

Косвенные методы - это методы, где используются физические характеристики почвы, зависящие от влажности или ее среды. В этих методах оценка влажности материала определяется по изменению различных его свойств. К ним относятся механические методы, основанные на измерении изменяющихся с влажностью механических характеристик твердых материалов. Такие методы требуют заранее проведенной калибровки прибора с целью установления зависимости между влажностью почвы и исследуемой физической величиной.

Примеры косвенных методов определения влажности:

-гигрометрические методы, основаны на взаимосвязи относительной влажности воздуха в поровом пространстве и влагосодержанием почвы, путем определения влажности с помощью температуры точки росы в поровом пространстве почвы; разности температур сухого и смоченного термометров; деформации и водопоглощающих материалов, помещенных в почву и набухающих от сод

ержания влажности. Преимущество данного метода - пригоден при малых значениях влагосодержания, в электрических методах рассматривается зависимость электрических свойств почвы от изменения влажности: электропроводность, диэлектрическая проницаемость, а также диэлектрическая проницаемость буферной промежуточной среды - влагообменника, взаимодействующего с окружающей его почвой. Проблема использования этого метода заключается в том, что электрическое сопротивление земли зависит не только от ее влагосодержания, но и от химического состава, плотности, температуры почвенных растворов, плохого контакта между электродами и почвой, процесса градуировки; определение влажности во взятых образцах почвы по поглощению радиоионизации заключается в следующем: между радиопередатчиком и приемником размещают воду или влагосодержащий материал. Ослабление радиосигнала, воспринимаемого радиоприемником, напрямую зависит от толщины материала и его плотности, а так же влажности. Применительно к почве, метод имеет небольшие ограничения из-за ее большой неоднородности, этот фактор требует градуировки прибора на каждой почве при стандартном ее уплотнении. Искажения результатов может быть связано и с наличием различных металлических примесей.

#### 2.4 Дистанционные методы

Дистанционные методы осуществляются съемкой или производством и измерений на поверхности Земли без физического контакта с поверхностью, осуществляемая с помощью летательного аппарата или наземной платформы с находящимися на них системами регистрации электромагнитного или гравитационных полей и определенного диапазона радиоионизации с выдачей информации в виде сигналов, графиков и кривых спектральной яркости. На территориях с разряженным и низким покровом растительности, влажность почвы достаточно отчетливо проявляется на снимках. Теоретические основы космических и аэрометодов исследования земной поверхности применительно к определению влажности верхнего слоя почвы рассмотрены во многих работах, од

нако применение данных методов в сельском хозяйстве является технически сложным из-за дорогостоящего оборудования.

Одной из важнейших частей дистанционного зондирования является анализ изображений. Такой способ анализирования может выполняться визуально, с помощью компьютера, а также целиком и полностью компьютером.

### 3 Программно-аппаратный комплекс

Программно-аппаратным комплексом в данной работе была выбрана среда Arduino. Arduino представляет собой простое в использовании аппаратное и программное обеспечение, поэтому отлично подходит для проектов разной сложности и направленности.

Множество других контроллеров имеет схожие характеристики, но выбором послужила плата Arduino по этим основным причинам:

- низкая стоимость;
- кроссплатформенная (ОС Windows, Linux и Macintosh);
- простая и доступная среда программирования;
- открытое для расширения и изменения программное обеспечение;
- открытое для расширения и изменения оборудование.



Рисунок 3.1 - Плата Arduino UNO.

Arduino UNO - это небольшая по размерам плата на основе микроконтроллера ATmega328. Плата имеет возможность питания как через USB интерфейс, так и с помощью блока питания 5в.

Плата Arduino UNO имеет рабочее напряжение 5 В, flash-память 32 КБ (2К из которой используется для загрузчика), 8 аналоговых выходов, 14 цифровых выходов, постоянный ток на вход/выход 40 мА, потребляемая мощность 19 мА, вес 7 г.

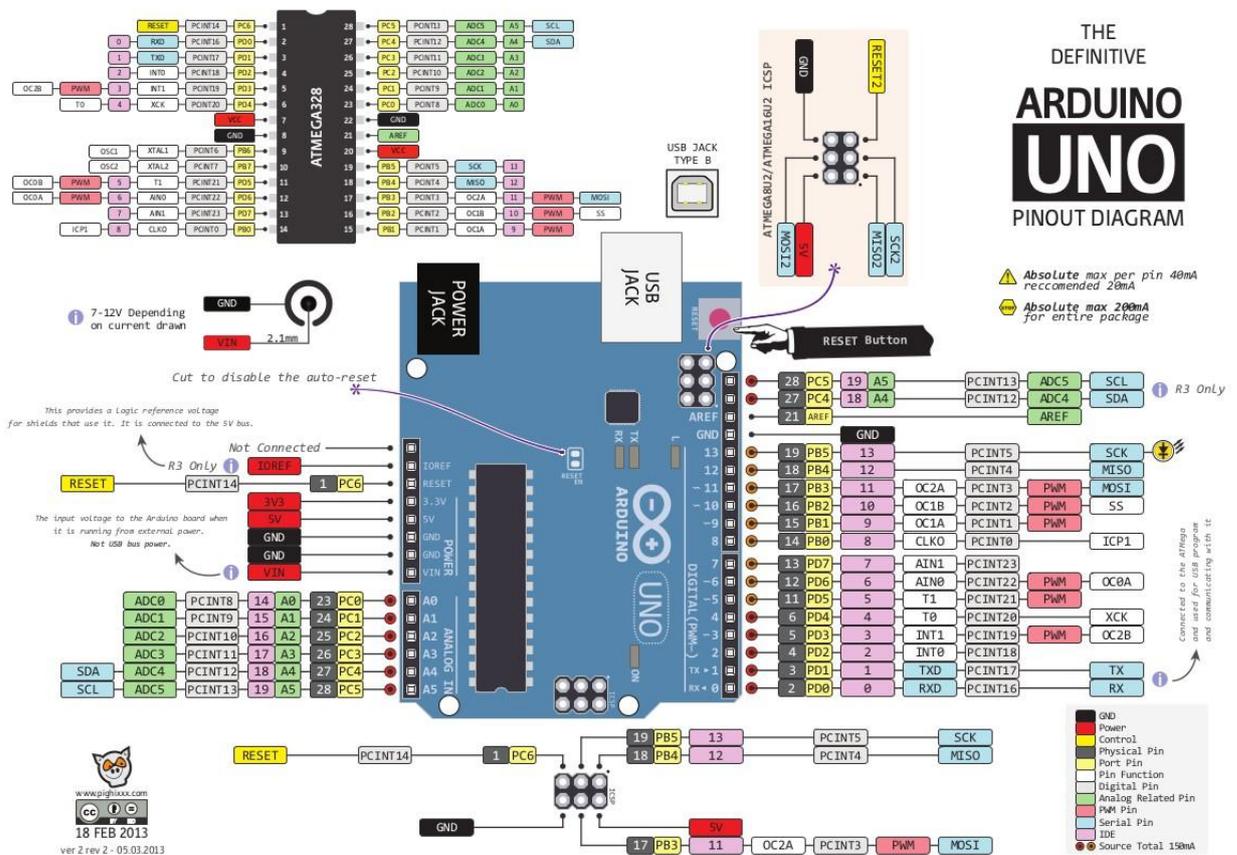
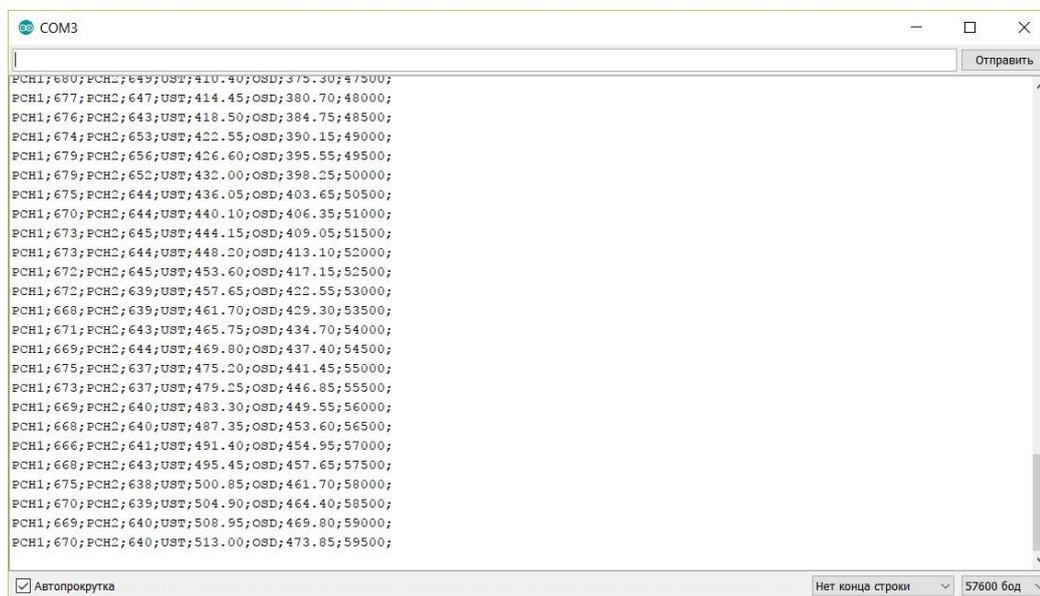


Рисунок 3.2 - Распиновка Arduino UNO

Каждый из 14 цифровых контактов на плате имеет возможность применяться как вход или выход, используя функции pinMode (), digitalWrite () и digitalRead (). Все контакты используют напряжение в 5 В. Каждый контакт имеет возможность принимать или обеспечивать наибольшую силу тока в 40 мА, оснащен внутренним нагрузочным резистором (по умолчанию отключен) на 20-50 кОм и обеспечивает 10 бит разрешения (то есть 1024 различных зна

чения). Помимо этого, часть контактов имеет определенные функции. К примеру, контакт 0 (RX) и 1 (TX) применяется для приема (RX) и передачи (TX) последовательных данных TTL. Данные пины подсоединены к соответствующим контактам последовательного чипа FTDI USB-to-TTL. Контакты A4 (SDA) и A5 (SCL) поддерживают I2C (TWI) вместе с использованием библиотеки Wire.

Arduino UNO имеет возможность синхронизации с компьютерами, другими Arduino или иными микроконтроллерами разными способами. Микроконтроллер ATmega328 обеспечивает UART TTL (5 В) последовательную связь, доступную на цифровых контактах 0 (RX) и 1 (TX). Чип FTDI FT232RL на плате этой последовательной связи через USB и драйверами FTDI (встроены в среду Arduino IDE) эмулирует COM-порт для операционной системы. Программное обеспечение Arduino имеет последовательный монитор, позволяющий отсылать простые текстовые данные на контроллер Arduino и обратно.



The screenshot shows the Arduino Serial Monitor window titled 'COM3'. The main text area contains a list of data points, each on a new line. Each line represents a sensor reading with the following format: `PCN1;PCN2;UST;OSD;5000;`. The values for PCN1, PCN2, UST, and OSD vary across the lines, while the final value (5000) is constant. The data points are as follows:

```
PCN1;680;PCN2;649;UST;410.40;OSD;375.30;47500;
PCN1;677;PCN2;647;UST;414.45;OSD;380.70;48000;
PCN1;676;PCN2;643;UST;418.50;OSD;384.75;48500;
PCN1;674;PCN2;653;UST;422.55;OSD;390.15;49000;
PCN1;679;PCN2;656;UST;426.60;OSD;395.55;49500;
PCN1;679;PCN2;652;UST;432.00;OSD;398.25;50000;
PCN1;675;PCN2;644;UST;436.05;OSD;403.65;50500;
PCN1;670;PCN2;644;UST;440.10;OSD;406.35;51000;
PCN1;673;PCN2;645;UST;444.15;OSD;409.05;51500;
PCN1;673;PCN2;644;UST;448.20;OSD;413.10;52000;
PCN1;672;PCN2;645;UST;453.60;OSD;417.15;52500;
PCN1;672;PCN2;639;UST;457.65;OSD;422.55;53000;
PCN1;668;PCN2;639;UST;461.70;OSD;429.30;53500;
PCN1;671;PCN2;643;UST;465.75;OSD;434.70;54000;
PCN1;669;PCN2;644;UST;469.80;OSD;437.40;54500;
PCN1;675;PCN2;637;UST;475.20;OSD;441.45;55000;
PCN1;673;PCN2;637;UST;479.25;OSD;446.85;55500;
PCN1;669;PCN2;640;UST;483.30;OSD;449.55;56000;
PCN1;668;PCN2;640;UST;487.35;OSD;453.60;56500;
PCN1;666;PCN2;641;UST;491.40;OSD;454.95;57000;
PCN1;668;PCN2;643;UST;495.45;OSD;457.65;57500;
PCN1;675;PCN2;638;UST;500.85;OSD;461.70;58000;
PCN1;670;PCN2;639;UST;504.90;OSD;464.40;58500;
PCN1;669;PCN2;640;UST;508.95;OSD;469.80;59000;
PCN1;670;PCN2;640;UST;513.00;OSD;473.85;59500;
```

At the bottom of the window, there is a checkbox for 'Автопрокрутка' (checked), a dropdown menu for 'Нет конца строки', and a dropdown menu for '57600 бод'.

Рисунок 3.3 - Скриншот монитора порта

Светодиоды RX и TX на плате мигают во время передачи данных через чип FTDI и USB-соединение с компьютером (но не для последовательной связи на выходах 0 и 1). Библиотека SoftwareSerial дает возможность производ

ить последовательную передачу данных через любой цифровой пин Arduino Nano. Помимо этого, микроконтроллер ATmega328 имеет возможность работать со связью I2C (TWI) и SPI. Программное обеспечение Arduino имеет библиотеку Wire для более простого взаимодействия с шиной I2C. Для использования SPI-связи, см. Техническое описание ATmega328.

### 3.1 Программное обеспечение Arduino IDE

Программное обеспечение Arduino IDE позволяет без лишних трудностей писать рабочий скетч и загружать его в память микроконтроллера. Данное программное обеспечение имеет возможность кроссплатформенной установки и может взаимодействовать с любой платой Arduino.

Рабочая программа пишется на специальном языке, имеющим схожий синтаксис с C++ и C#. Среда программирования позволяет перед загрузкой в плату Arduino обнаружить ошибки в коде программы. В след за устранением ошибок программа загружается в микроконтроллер. Монитора порта (иконка увеличительного стекла) дает возможность наблюдать за процессом работы. К программному коду возможно добавить различного рода библиотеки, которые расширяют его функционал.

```
vds1_25052017 | Arduino 1.8.1
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
vds1_25052017
unsigned long cnt_exit = 0; //переменная для счетчика в устье
unsigned long cnt_prec = 0; //переменная для счетчика на осадках
unsigned long m_timer = 0;
int sensorPin1 = A1;
int sensorValue1 = 0;
int arrsensorValue1[10];
int valsensorValue1;
int sensorPin2 = A3;
int sensorValue2 = 0;
int arrsensorValue2[10];
int valsensorValue2;

//*****//
//*****//
//*****//
void flw_cnt_exit() //функция прерывания на устье
{
    cnt_exit++;
}

void flw_cnt_prec() //функция прерывания на осадках
{
    cnt_prec++;
}
//*****//
//*****//
//*****//
void setup()
{
    pinMode (2, INPUT); //0-ой вектор прерываний
    pinMode (3, INPUT); //1-ый вектор прерываний
    pinMode (13, OUTPUT); //svetodiод

    attachInterrupt (0, flw_cnt_exit, RISING); //вешаем на прерывание функцию прерывания на устье
}
```

Рисунок 3.4. - Скриншот программного обеспечения Arduino IDE

### 3.2 Микроконтроллер Atmel ATmega328

Atmel ATmega328 это одночиповый 28-ми контактный 8-ми битный микроконтроллер с flash-памятью 32 КБ. Если смотреть на быстродействие микроконтроллера, применяя 1 такт на каждой команде, имеется возможность получить до 20MIPS (мега команд в секунду) с тактовой частотой 20 МГц. Что в 4 раза превосходит скорость аналогичных микроконтроллерах, также работающих на частоте 20 МГц, но требующих 4 такта на каждую команду, в связи

с этим, наибольший MIPS только 5 МГц, что представляет собой нормальный результат для большинства простых приложений.

ATmega328a обладает несколькими интерфейсными режимами, имеющими большое количество возможностей для связи с другими периферийными устройствами или микроконтроллерами. Он обладает встроенными интерполяциями USART, I2C и 2x SPI. USART возможно применять для связи с другим микроконтроллерами или персональными компьютерами, а интерфейсы SPI и I2C применимы для синхронизации с модулями или дисплеями.

ATmega328 имеет рабочий диапазон напряжений от 1,8 до 5,5 В, позволяющие микроконтроллеру питаться от одной кнопки 3 В, если таковы требования проекта. Суммарно данное устройство потребляет 0,2 мА, есть возможность уменьшения данных значений до 0,75 мкА за счет урезания тактовой частоты до 32 кГц, если емкость аккумулятора в проекте сильно ограничена.

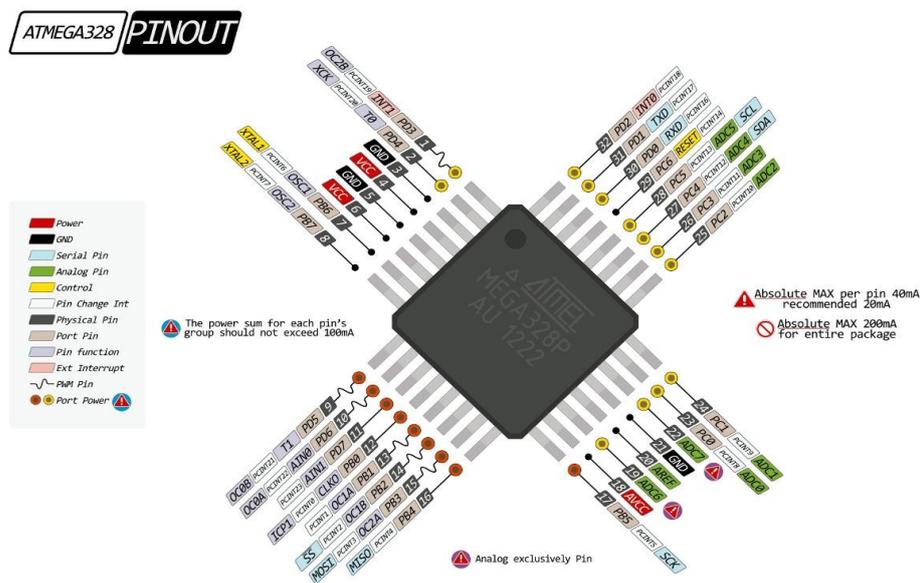


Рисунок 3.5 - Микроконтроллер Atmel ATmega328

### 3.3 Датчик влажности почвы SEN0193

Данный датчик является емкостным, то есть представляет собой два плоских конденсатора с диэлектриком. Обычно, в подобных датчиках в качестве диэлектрика используется воздух, так как его диэлектрическая проницаемость тесно связана с влажностью, но этот вариант плохо подходит для измерения влажности в твердых телах. Для измерений влажности в почве используются диэлектрики других видов, но принцип остается тем же - диэлектрическая проницаемость напрямую связана с влажностью.



Рисунок 3.6 - Датчик влажности почвы SEN0193

Из преимуществ данного датчика стоит отметить невысокую стоимость, стойкость к коррозии и точность измерения. В отличие от резистивных датчиков влажности, которые не обладают стойкостью к коррозии, страдают от воздействия внешних факторов и не обладают достаточной точностью измерения, хоть и стоят заметно дешевле.

Если говорить о недостатках, то датчик представляет собой лишь компонент системы измерения, для его подключения и настройки необходимо обладать базовыми навыками программирования микроконтроллеров и работы с электротехникой. Также стоит отметить, что данный датчик не даст требуемых измерений сразу после его подключения к плате с микроконтроллером и нуждается в тарировке. Изначально он выдает лишь сигнал, по которому можно судить лишь об изменении влажности в почве, но не о конкретных данных.

Краткие технические характеристики:

Рабочее напряжение: 3,3 ~ 5,5 В постоянного тока

Выходное напряжение: 0 ~ 3,0 В постоянного тока

Рабочий ток: 5 мА

Интерфейс: RH2.0-3P

Размеры: 3,86 x 0,905 дюйма (Д x Ш)

Вес: 15г.

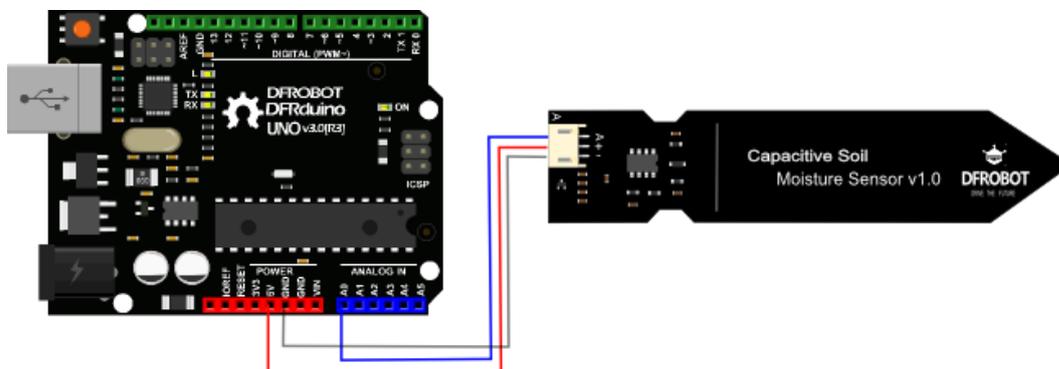


Рисунок 3.7 - Схема подключения датчика.

На рисунке выше показана схема подключения, использованная в данной работе. Датчик имеет коннектор с тремя разъемами:

1. VCC - питание датчика
2. GND – земля
3. A0 - пин для передачи аналоговых значений.

Эти разъемы подключаются к плате микроконтроллера посредством соединительных проводов к соответствующим контактам на плате.

После чего датчик вставляется в измеряемую почву, либо закапывается и можно начинать наблюдения.

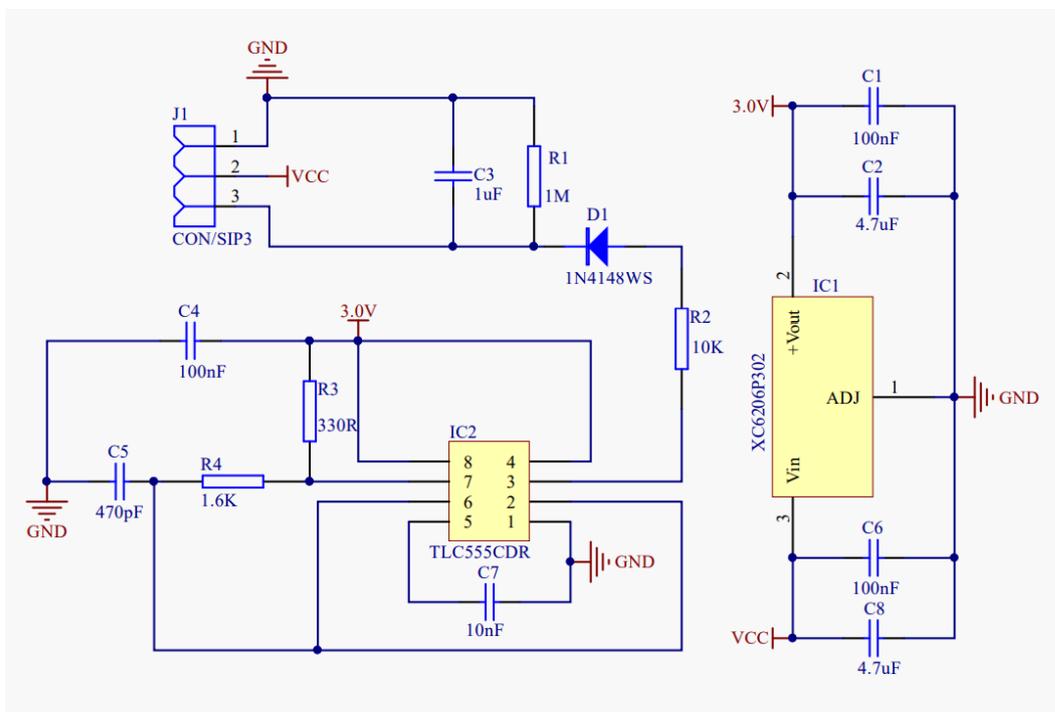


Рисунок 3.8 - Схема датчика влажности почвы SEN0193

### 3.4 Алгоритм обработки данных

Поскольку необработанные данные наблюдений с датчика представляют собой лишь значения в диапазоне 0-580, что представляет собой обработанный сигнал с датчика в цифровой форме. Эти данные можно вывести на экран с помощью программного обеспечения Arduino или, к примеру, среды программирования Python.

390 23:12;42  
390 23:12;47  
389 23:12;52  
387 23:12;57  
387 23:13;02  
385 23:13;08  
384 23:13;13  
383 23:13;18  
382 23:13;23  
381 23:13;28  
381 23:13;33  
379 23:13;38  
380 23:13;43  
379 23:13;48  
379 23:13;53  
379 23:13;58  
380 23:14;03  
380 23:14;08  
381 23:14;13  
381 23:14;18  
383 23:14;23  
385 23:14;28  
388 23:14;33  
388 23:14;38  
390 23:14;43  
391 23:14;48  
392 23:14;53  
392 23:14;58  
391 23:15;03  
392 23:15;08

Рисунок 3.9. - Пример необработанного ряда данных

### 3.5 Калибровка датчика влажности почвы SEN0193

Получившиеся значения необходимо представить в виде влажности почвы, что можно сделать путем калибровки системы. Желательно производить калибровку для каждого типа почвы, поскольку плотность и состав у почв различаются от ее вида и местоположения.

В данной работе калибровка рассматривается на примере песка. В первую очередь, нужно определить минимальное и максимальное значение в показаниях датчика. Для песка это стало 310 и 580 соответственно. При значении 580 - почва абсолютно сухая, при значении 310 - значение влажности почвы равно 100%. Зависимость полученных данных от истинной влажности почвы позволит получить корректные значения.

Для калибровки датчика использовался жестяной стакан, сухая навеска песка, весы и печь. Жестяной стакан взвешивался, в него насыпалась навеска сухого песка, происходило повторное взвешивание, после чего навеска измерялась датчиком влажности. Затем добавлялась вода, стакан взвешивался и проводи

лось измерение датчиком. После всех этих процедур, стакан ставился в печь на 10 минут, затем измерения повторялись.

Таблица 3.1 - Пример полученных данных

Уровень сигнала	Время	Масса навески, г
311	14:03	650,75
312	14:16	649,95
400	14:31	644,15
400	14:44	637,05
402	14:59	630,45
436	15:13	621,60
448	15:26	611,25
460	15:41	597,90
494	15:53	590,15
516	16:05	582,85
538	16:18	576,70
560	16:32	568,54

После чего в программе Excel была создана таблица с диапазоном измеренных и фактических значений. Также была создана таблица с измеренными значениями и применена функция «FORECAST».

Данная функция Вычисляет или предсказывает будущее значение по существующим значениям. Предсказываемое значение —

это значение  $y$ , соответствующее заданному значению  $x$ . Значения  $x$  и  $y$  известны; новое значение предсказывается с использованием линейной регрессии

- Если  $x$  не является числом, функция ПРЕДСКАЗ возвращает значение ошибки #ЗНАЧ!.
- Если аргументы "известные\_значения\_y" и "известные\_значения\_x" пусты или количество точек данных в этих аргументах не совпадает, функция ПРЕДСКАЗ возвращает значение ошибки #Н/Д.
- Если дисперсия аргумента "известные\_значения\_x" равна 0, функция ПРЕДСКАЗ возвращает значение ошибки #ДЕЛ/0!.
- Уравнение для функции ПРЕДСКАЗ имеет вид  $a+bx$ , где:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2} \quad (7)$$

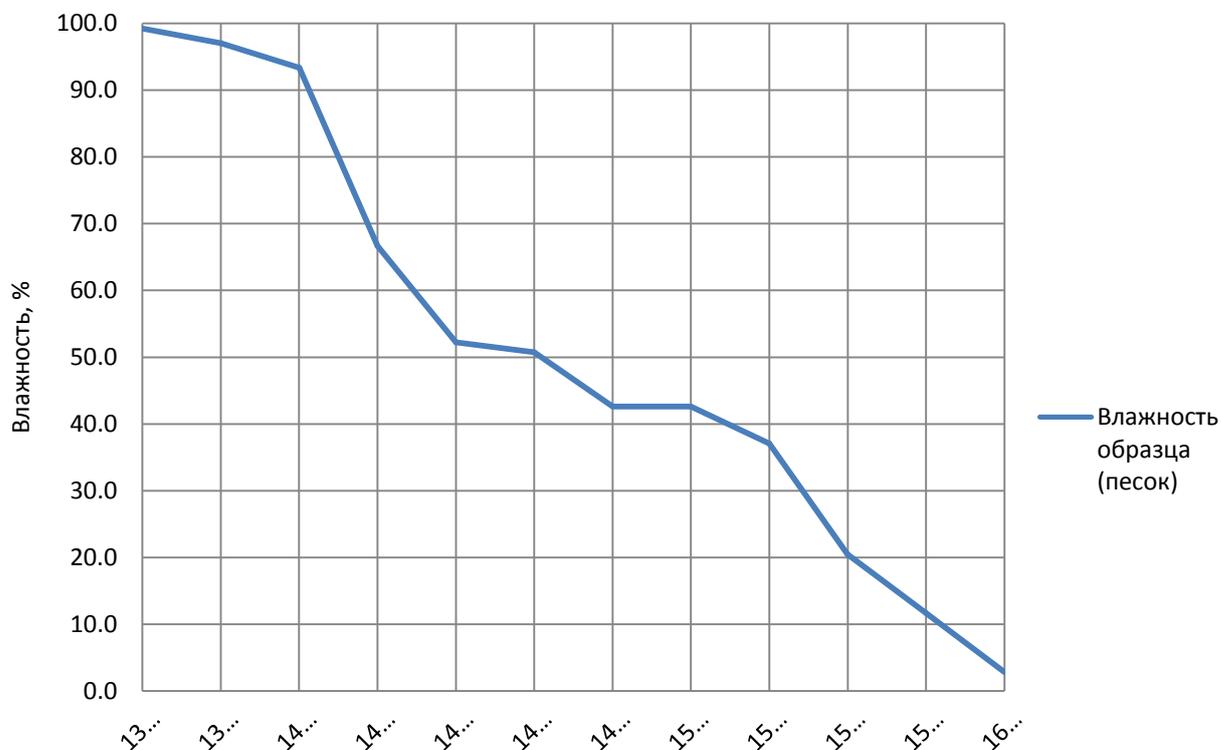
где  $x$  и  $y$  - средние значения выборок СРЗНАЧ(известные\_значения\_x) и СРЗНАЧ(известные\_значения\_y).

Таблица 3.2 - Данные после обработки.

Влажность навески, %	Уровень сигнала	Время	Масса навески, г
99,6	311	14:03	650,75
99,3	312	14:16	649,95
66,7	400	14:31	644,15
66,7	400	14:44	637,05
65,9	402	14:59	630,45
53,3	436	15:13	621,60
48,9	448	15:26	611,25
44,4	460	15:41	597,90
31,7	494	15:53	590,15
23,7	516	16:05	582,85
15,6	538	16:18	576,70
7,5	560	16:32	568,54

После обработки данных был построен график с использованием полученных во время проведения опытов значений. На данном графике можно увидеть, как изменялись показания датчика во время просушивания навески вети.

Рисунок 3.1.0 График изменение влажности по времени



#### 4. Измерение показаний влажности на экспериментальной установке

##### 4.1 Описание установки

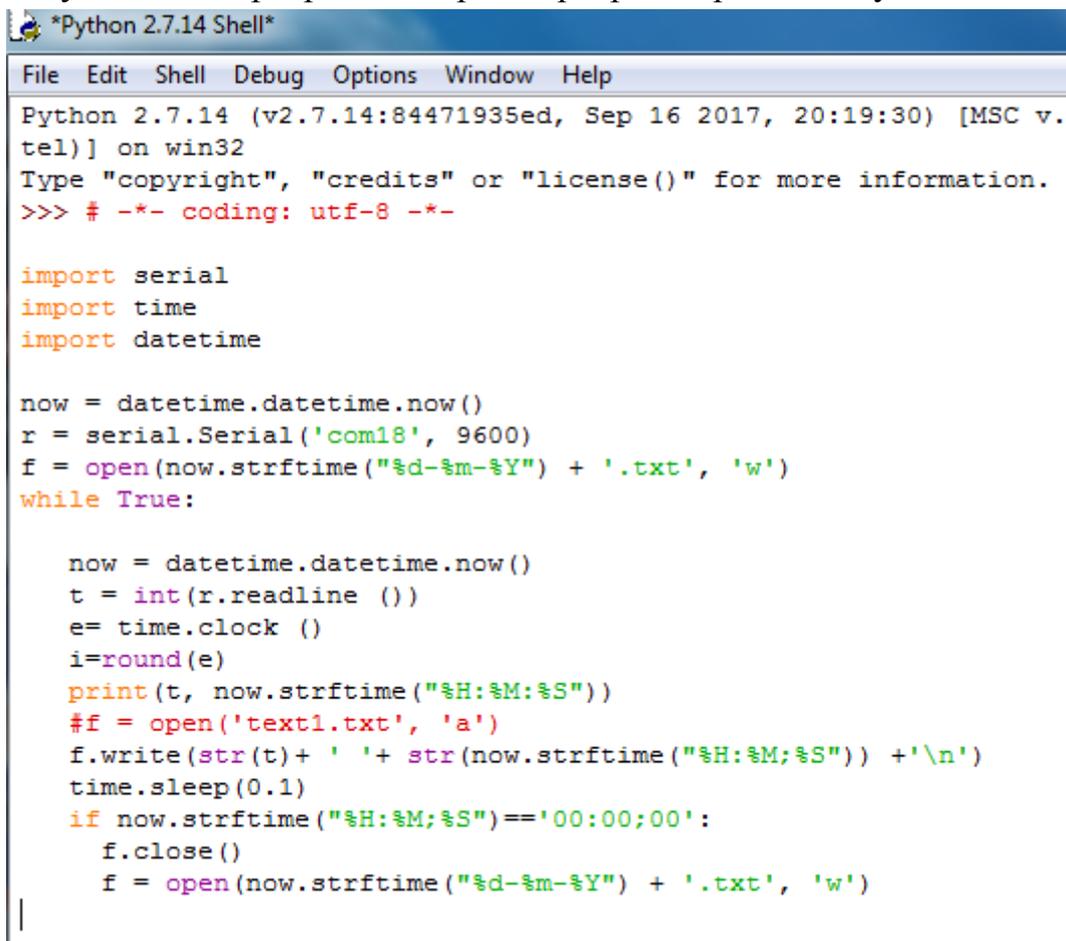
Модель включает в себя лист поролон, имитирующий почвы, который располагается на двух листах фанеры, представляющих из себя два крыла водосбора. Вода стекает в желоб из алюминия. Осадки на водосбор подаются через серию рассеивателей с индивидуальной подачей от распределительного коллектора из магистрального трубопровода. Силиконовые трубки диаметром 8 мм осуществляют подачу на рассеиватели. Брус с сечением 100x45 мм обеспечивает достаточную жесткость конструкции и установленным на нее каркасом из деревянных реек.

## 4.2 Подготовка к эксперименту

Этапы подготовки к эксперименту: в первую очередь, требовалось задать начальные условия, которые подразумевали под собой регулировку шпилек для установки необходимых углов наклона берегов, установку продольного уклона русла, увлажнение водосбора, задание необходимых свойств подстилающей поверхности.

Вторым этапом стало подключение экспериментальной системы к компьютеру. Поскольку мониторинг порта в среде Arduino позволяет лишь наблюдать за изменениями, была написана программа на языке программирования Python, которая считывала информацию с порта, добавляла к каждому измеренному значению точное время и записывала все эти данные в текстовый файл, который создавался на каждые последующие сутки.

Рисунок 4.1 - Программа в среде программирования Python



```
*Python 2.7.14 Shell*
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 2.7.14 (v2.7.14:84471935ed, Sep 16 2017, 20:19:30) [MSC v.
tel)] on win32
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>> # -*- coding: utf-8 -*-

import serial
import time
import datetime

now = datetime.datetime.now()
r = serial.Serial('com18', 9600)
f = open(now.strftime("%d-%m-%Y") + '.txt', 'w')
while True:

    now = datetime.datetime.now()
    t = int(r.readline ())
    e = time.clock ()
    i=round(e)
    print(t, now.strftime("%H:%M:%S"))
    #f = open('text1.txt', 'a')
    f.write(str(t)+ ' ' + str(now.strftime("%H:%M:%S")) + '\n')
    time.sleep(0.1)
    if now.strftime("%H:%M:%S")== '00:00:00':
        f.close()
        f = open(now.strftime("%d-%m-%Y") + '.txt', 'w')
```

### 4.3 Проведение эксперимента

Эксперимент проводился в течении 12 минут, результатами наблюдений стали следующие графики.

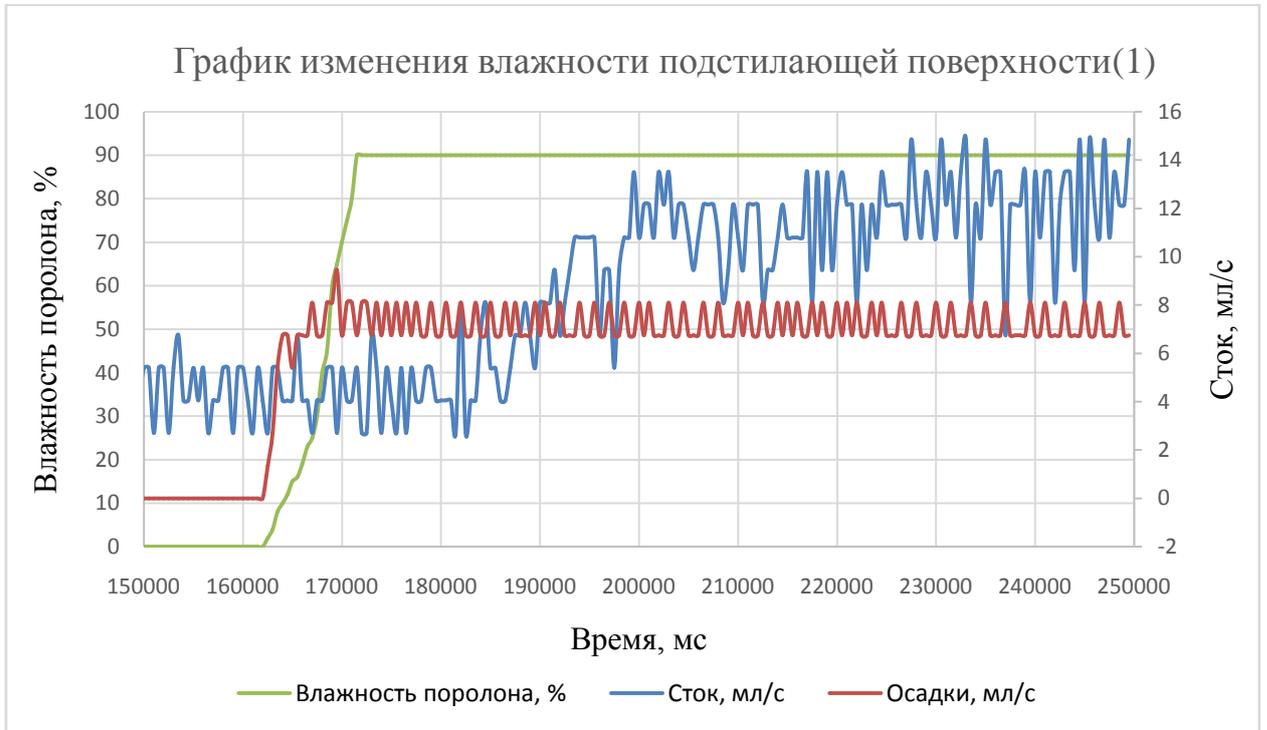


Рисунок 4.2 - График изменения влажности подстилающей поверхности

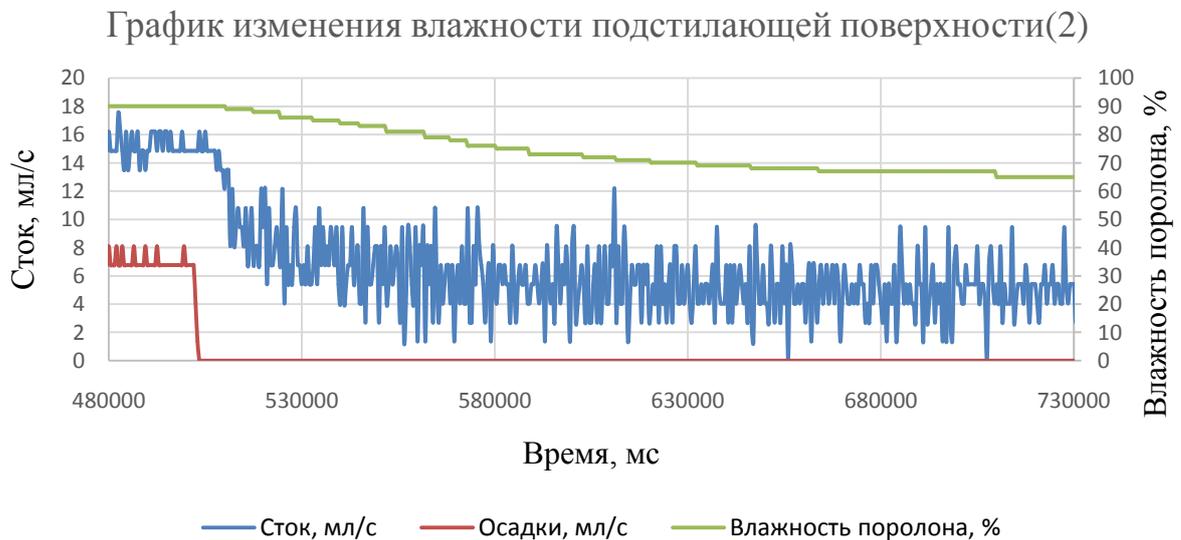


Рисунок 4.3 - График изменения влажности подстилающей поверхности

На данных графиках заметно изменение влажности поролона от объема стока и осадков. Форсунки, имитируя осадки, прыскают воду на поролон и на

графике показания его влажности увеличиваются. Влажность достигла 90% из-за особенности материала. После выпадения осадков можно заметить, как влажность поролона постепенно уменьшается.

Таблица 4.1 - Результаты наблюдений

Время, мс	Осадки, мл/с	Расход воды, мл/с	Влажность поролона, %
500	0	4,05	0
1000	0	4,05	0
1500	0	4,05	0
2000	0	5,4	0
2500	0	4,05	0
3000	0	4,05	0
3500	0	5,4	0
4000	0	5,4	0
4500	0	5,4	0
5000	0	5,4	0
70500	8,1	13,5	90
71000	6,75	17,55	90
71500	6,75	14,85	90
72000	8,1	14,85	90
72500	6,75	17,55	90
73000	8,1	17,55	90
73500	6,75	16,2	90
74000	8,1	16,2	90
74500	6,75	16,2	90
75000	8,1	14,85	90
570000	0	5,8	80
580000	0	4,3	75
630000	0	4,1	73
680000	0	4	70
730000	0	3,7	67
750000	0	3,4	65

## 5. Проведение натуральных наблюдений

Для проведения натуральных наблюдений датчик был герметизирован и закопан на глубину 1 метр на базе практики РГГМУ в д. Даймище. Наблюдения проводились теми же методами, что и на экспериментальной установке. Датчик был подключен к плате Arduino, данные наблюдений записывались с помощью ранее написанной программы на языке Python. Наблюдения проводились в течение 7 дней, все это время показания датчика непрерывно записывались в виде текстовых файлов.

### 5.1 Анализ полученных данных

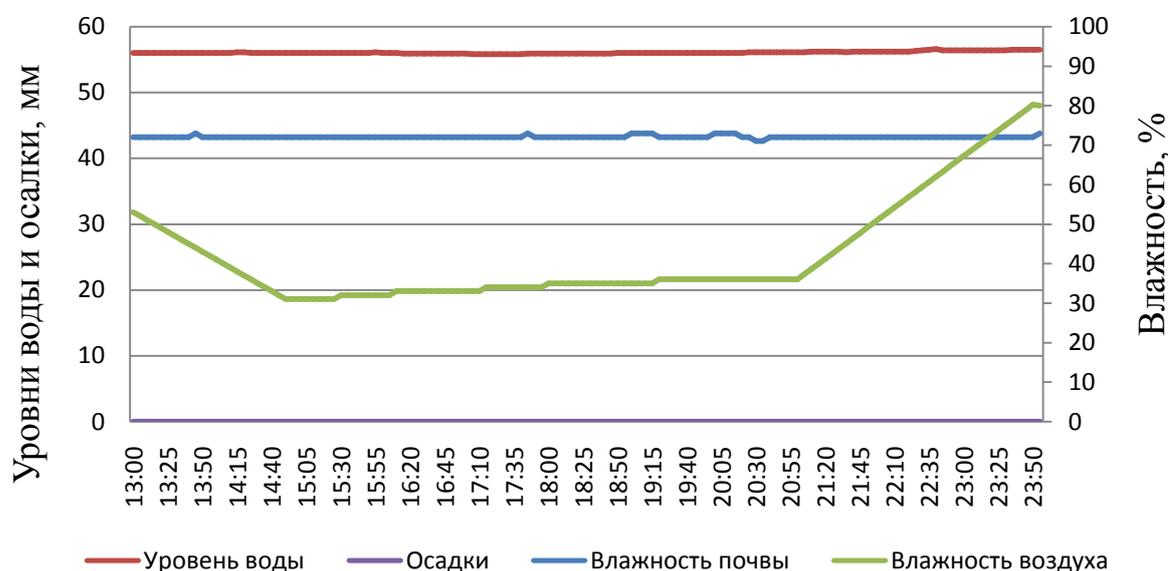


Рисунок 5.1 - Комплексный график наблюдений за 27.05.18

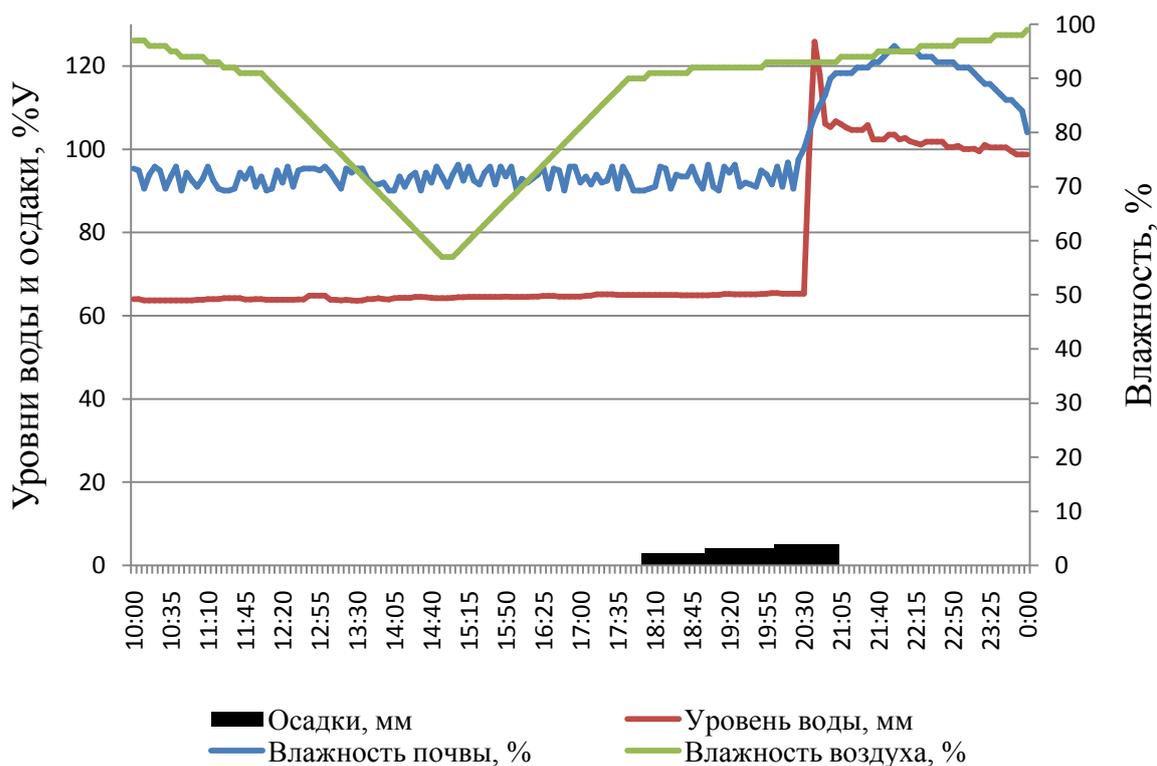


Рисунок 5.2 - Комплексный график наблюдений за 28.05.18

Как видно из графиков, влажность почвы повышается с выпадением осадков и повышением уровня воды в ручье, 28.05.18 осадки выпадали в течении 3-х часов, задержка на графике связана с инфильтрацией и зависит от характеристик почвы. Май в 2018 году оказался достаточно неблагоприятным для наблюдений, поскольку за весь месяц в данном районе выпало лишь 20мм осадков, но даже при таком малом количестве осадков прослеживается четкая зависимость на графике.

## Заключение

По итогу проведенной мною работы, из всех существующих датчиков был выбран емкостный датчик влажности почвы и разработана для него система защиты от влаги. Также создано ПО, позволяющее наблюдать данные измерений в реальном времени, записывать их с различной дискретностью. Датчик был протестирован на экспериментальной установке водосбора и закопан на стоковой площадке в д. Даймище на р. Привратный. Результаты: Датчик работает уже более месяца, данные о влажности почвы с датчика поступают в реальном времени. В дальнейшем планируется создать систему наблюдения из данных датчиков для измерения на разных глубинах по аналогии с термокосою, но измеряющих влажность почвы.

## Список использованных источников

1. Т.П. Марчик, А.Л. Ефремов, Почвоведение с основами растениеводства [Текст], Гродно, 2006 – 184с.
2. Берлинер М.А. Измерения влажности[Текст], М.А. Берлинер. - Л.: Энергия, 1973. - 401 с.
3. В.Ю. Гилёв, Физика почв[Текст], учебное пособие, Пермь, 2012 – 37 с.
4. Дмитриев А.В. Основы дистанционных методов измерения влагозапасов в снеге и влажности почв по гамма-излучению Земли [Текст] / А.В. Дмитриев, Ш.Д. Фридман. - Л.:Гидрометиздат, 1979. - 304 с.
5. Arduino [Электронный ресурс] <https://www.arduino.cc/>
6. Петин В.А., Биняковский А.А., Практическая энциклопедия Arduino[Текст], ДМК-Пресс, 2017 г – 187 с.
7. Microsoft[Электронный ресурс] <https://support.office.com/ru-ru>
8. DFRobot[Электронный ресурс] <https://www.dfrobot.com/wiki>