

**Н.А.Муромцев, Ю.А.Мажайский, К.Б.Анисимов,
Н.А.Семёнов**

**Закономерности гидротермического режима почв
и влагообеспеченности растений**

Рязань 2018

УДК 631.4:631.432:631.41:633.2.03

ББК 40.6

В60

Рецензенты:

Авторский коллектив

Н.А.Муромцев, Ю.А.Мажайский, К.Б.Анисимов, Н.А.Семёнов

Закономерности гидротермического режима почв и влагообеспеченности растений. Рязань: ФГБОУ ВПО РГТУ. 2018. 210 с.

Рассмотрены закономерности водного режима влаги и влагообеспеченности дерново-подзолистой суглинистой почвы, формирующейся под воздействием атмосферных осадков и частично почвенной верховодки. Сильное иссушение дерново-подзолистой суглинистой почвы в 2014 г. в лесной зоне скорее характерно для супесчаных почв сухостепной зоны. Почвенные засухи значительно снижают выход полезной продукции, но в то же время приобретенная устойчивость к ним, проявляющаяся в более экономном расходовании влаги и увеличении нижней границы её доступности.

С повышением давления влаги (от 0 до 80 кПа) коэффициент влагопроводности аллювиальной почвы уменьшается в 10-15 раз, а дерново-подзолистой – в 35-76 раз. Максимальные значения влагопроводности (в любой почве) практически близки к значениям коэффициента фильтрации.

Соотношение объемов подпитывания и инфильтрации влаги при различных средних уровнях грунтовых вод составляет следующие величины: при УГВ=70 см 86 и 17 мм, УГВ=95 см – 97 и 45 мм; УГВ=120 см – 28 и 34 мм и при УГВ=145 см – 13 и 51 мм. Разрыв капиллярных транзитных путей при высоком содержании влаги заключается в разных (неодинаковых) её расходах. Явление, не описанное ранее в отечественной гидрологической литературе, названо *гидротермическим фазовым переходом почвенного раствора*.

Предложены автоматическая система орошения растений, прошедшая испытание в производственных условиях и система полива грунтовыми водами, основанная на тензиометрическом принципе.

ISBN

ББК 40.6

ВВЕДЕНИЕ

Водный режим и гидротермический режим являются важной проблемой сохранения и повышения плодородия почв. Исследования гидротермического режима и влагообеспеченности растений проведены преимущественно на дерново-подзолистой суглинистой почве Зеленоградского стационара Почвенного института РАН, лизиметрических полигонов Мещёрского филиала ВНИИГиМ (Солотча Рязанской области) и ВНИИ кормов им. В.Р.Вильямса (Лобня Московской области). Помимо этого использованы материалы аллювиальных почв среднего течения рек Москвы и Арчеды (Волгоградской области), а также и некоторые другие почвы.

Обоснование оптимальных параметров мелиоративных систем, эффективность их эксплуатация и приемы повышения плодородия земель во многом зависят от изученности гидрофизических и гидротермических свойств почв. Как известно (Мажайский, 2001 б) основная часть почвенной влаги расходуется на испарение. Величина испарения в гумидной зоне составляет в пределах 1.5 – 4.0 мм (Семенов и др., 2005; Жибуртович и др., 2012;). Климат по вполне понятным причинам выступает решающим фактором формирования водного режима почвы. Во многих работах (Харченко, 1975; Мажайский и др., 2003; Роде, 2008; Муромцев, Мажайский и др., 2013) установлено, что основные элементы климата наиболее полно учитываются коэффициентом увлажнения (КУ), который представляет собой отношение среднемноголетней годовой суммы осадков (ОС) к годовому слою испарения.

Многообразие природных факторов, воздействующих на состояние почвенной влаги, вызывает необходимость исследования сложной биоценотической системы «приземный воздух – растительный покров – почва». Серьёзной социально-экономической проблемой сегодня является деградация почв и почвенного покрова земель. Эта проблема создаёт угрозу экологической, экономической, продовольственной безопасности России. Обоснование оптимальных параметров природных систем, эффективность и приёмы повышения плодородия земель во многом зависят от изученности

гидрофизических свойств и режимов почв. В связи с этим актуальным является необходимость разработки теоретических и прикладных подходов к определению оптимального водного режима, водоудерживающих сил и гидротермических почвенных свойств. В том числе актуально изучение и оптимизация гидротермического режима дерново-подзолистых, аллювиальных и других почв, как важного компонента производственных средств Московского региона Нечерноземья.

Исследования водного режима дерново-подзолистых и аллювиальных суглинистых и супесчаных почв проводили многие ученые: Судницын, 1979; Воронин, 1984; Муромцев, 1991; Мажайский, 2002; Желязко и др., 2006; Жибуртович и др., 2012; Муромцев, Мажайский и др., 2013 и другие. Особенности трансформации запасов влаги в этих почвах могут объясняться различным положением в рельефе, приводящем к внутрипочвенному и поверхностному перераспределению влаги.

Однако многие аспекты почвенных гидрологических режимов исследованы недостаточно. Одним из малоизученных вопросов является взаимосвязь вертикальных потоков влаги в почве. Методической основой исследований этого важного гидрофизического процесса является водный баланс, вычисляемый путём моделирования водного режима в контролируемых условиях. Возрастание запасов влаги происходит вследствие атмосферных осадков и предполагается путём подтягивания влаги из нижележащих слоев. В зимний период и в периоды с отрицательными значениями температуры – вследствие диффузии парообразной влаги, а в талой почве с положительной динамикой температуры – и в жидком виде.

До настоящего времени практически экспериментально не изучено явление изменения (трансформация) потенциала (давления) почвенной влаги при переходе температуры почвы через ноль в область отрицательных значений. Этот процесс во многом может определять осуществление почвенных функций в периоды оттепелей и иметь большое значение для характеристики гидрологических свойств и водного режима дерново-

подзолистых почв. Конечной целью почвенных гидрофизических и гидромелиоративных исследования может являться глубокое познание комплекса процессов, протекающих в системе «атмосфера – растение – почва». Как возможный источник водоснабжения и минерального питания растений, следует отметить недостаточную изученность почв, особенно для условий гумидной зоны.

Следует целесообразно оценить критические величины давления почвенной влаги с целью диагностики оптимального гидротермического и водного режимов пахотных дерново-подзолистых и аллювиальных почв. Исследовать пути регулирования водного режима этих почв и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур целесообразно использовать на основе давления (потенциала) почвенной влаги с учётом гранулометрического состава и возраста растений.

Под понятием «потенциал» или «давление» почвенной влаги следует понимать полезную работу, которую необходимо совершить посредством приложения извне сил для изотермического и обратимого переноса единицы массы или единицы объема свободной химически чистой воды с заданного уровня в почвенный раствор (Глобус, 1977; Муромцев, Мажайский и др., 2013). При отнесении количества работы к массе перенесенной воды, получается размерность «потенциал» – Дж/кг, Эрг/г, а к объему перенесенной воды – размерность «давление» кПа, атм., бар, мм рт. ст. В дальнейшем целесообразно использовать преимущественно термин «давление», поскольку в экспериментах напрямую получаем величину давления – кПа.

Общую работу, совершаемую системой, обычно рассматривают как сумму работ (Глобус, 1969): работа PdV , осуществляемая системой при изменении ее объема и постоянстве внешнего давления, и механическую работу dW_m , включая сюда работу в силовых полях, которую может выполнить система. Таким образом, общую работу можно представить в виде:

$$dW = pdV + dW_m \quad (1)$$

При изобарно-изотермических условиях состояния системы уменьшение её свободной энергии (свободная энергия Гиббса – F) при переходе из одного состояния в другое равно производимой системой работе, а произведенная работа есть мера уменьшения её энергии, т.е.:

$$dF = -dW_m \text{ или } -dF = dW_m \quad (2)$$

Относительная величина изменения свободной энергии есть величина отрицательная и, следовательно, она меньше нуля.

На полный потенциал (давление) почвенной влаги влияют многие факторы (Роде, 1965; Судницын, Муромцев, Чан конг-Тау, 1971), Величина суммарного (полного) потенциала/давления при изотермических условиях в интегральной форме выражается через четыре составляющих его компоненты:

$$P_{\pi} = P_k + P_{oc} + P_e + P_{\Gamma} \quad (3)$$

В этом уравнении P_{π} – полный потенциал (давление) влаги при изотермических условиях; P_k – капиллярно-адсорбционный потенциал (матричный), обусловленный свойствами твердой фазы почвы; P_{oc} – осмотический потенциал, вызванный наличием солей в почвенном растворе; P_e – потенциал внешнего газового давления (пневматический потенциал); P_{Γ} – гравитационный потенциал, связанный с относительным положением исследуемой почвы в поле тяжести земли. Вопросу влияния солей на состояние почвенной влаги посвящено много работ отечественных и зарубежных ученых (Глобус, 1977; Муромцев, 1979; Судницын, 1979).

В дальнейшем современной «новой», так называемой гидрофизикой и гидрофизическому подходу, суть заключается в том, что закономерности движения, трансформации и формирования влаги и химических веществ в почве оценивается с позиций неравновесной термодинамики почвенной влаги; с использованием термодинамического (химического) потенциала влаги. Он позволяет объективно и количественно оценить состояние влаги одновременно и отдельно во всех частях единой экологической системы «приземный воздух – растительный покров – почва – грунтовые воды». Сюда же относятся специфические методы определения основных термодинамических

характеристик: потенциала/давления влаги, коэффициента влагопроводности и динамических критериев влагообеспеченности растений.

Хорошо известно, что все живительные соки природы (вода и растворенные в ней химические вещества) передвигаются, как на поверхности и в теле земли, так и в отдельно взятом растении. Благодаря этому осуществляется исключительно градиенту (перепаду) сил: осмотических, гидравлических, гравитационных, механических и других (Глобус, 1969; Судницын, 1979; Мелиоративная энциклопедия, 2004; Hosseini S.M. et al., 2011). Градиенты сил, под действием которых движутся все субстанции (свет, тепло, влага, электромагнитные поля и другие) представляет собой перепад сил на единицу расстояния. Если силы любого вида в двух произвольно взятых точках пространства (дневной поверхности земли, растения и прочего) будут равны, то движения веществ и энергий в этом направлении происходить не будет. Это означает, что растения не смогут потреблять влагу и химические вещества из почвы, и неминуемо погибнут.

Градиент (перепад) потенциала (давления) влаги обеспечивает как внутрпочвенный влагообмен, так и обмен влагой и элементами питания растений в системе почва–растение–атмосфера (Воронин, 1984; Муромцев, Мажайский и др., 2013; Pertovici Tudor et al., 2010). Перепад потенциала влаги, окружающей всасывающие корни и в самих корнях, с одной стороны, и между потенциалом влаги в корнях и листьях растений, – с другой.

Таким образом, в соответствии с изложенными представлениями состояние воды в системе «почва–растение–атмосфера» можно представить в виде непрерывной водной нити (водного тяжа), идущей непосредственно из слоя почвы, прилегающего к корневым волоскам, затем переходящей в корни, от них в стебель и далее в листья. Этот водный тяж находится в непрерывном и постоянном (в вертикальном и горизонтальном направлении) движении. Первопричиной движения является расход влаги из системы на испарение ее через устья растения в атмосферу и за счет поступления влаги из почвы. Происходит как бы наращивание водной нити снизу при расходе её сверху.

Скорость этого движения определяется интенсивностью транспирации, и существенно зависит от влагопроводности почвы (Муромцев, Мажайский и др., 2013).

ГЛАВА 1. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подчеркнём, что основные исследования проведены на дерново-подзолистой среднесуглинистой слабооглеенной почве Зеленоградского стационара Почвенного института РАН, расположенного в Пушкинском районе Московской области. Исследования также использованы дерново-подзолистая суглинистая почва лизиметрических полигонов Мещёрского филиала ВНИИГиМ (Рязанская область) и ВНИИ кормов им. В.Р.Вильямса (Московская область). Помимо этого использованы материалы аллювиальных почв среднего течения рек Москвы и Арчеды и частично тёмно - серой лесной суглинистой почвы Мещёрской низменности (Мажайский, 2001a; Мажайский и др., 2005, 2014).

1.1. Дерново-подзолистая среднесуглинистая слабооглеенная почва Зеленоградского стационара

Московская область расположена в средней части Русской (Восточно-Европейской) равнины, в междуречье р. Волги и р. Оки и является одной из центральных областей Российской Федерации. По рельефу она достаточно неоднородна. Большая её часть находится в пределах Смоленско-Московской возвышенности, простирающейся с юго-запада на северо-восток. Эта территория представляет волнистое плато с переувлажнёнными понижениями, расчлененное глубокими и широкими долинами рек.

Пушкинский район относится к холмистой и пологоволнистой моренной равнине Клинско-Дмитровской гряды, для которой характерна эрозионно-балочная сеть. Рельеф слабохолмистый и мелкохолмистый, преобладают процессы овражной эрозии и оползни. Абсолютные высоты 150-200 м, на севере района могут достигать 250 м (Почвы Московской области..., 2002).

Территория Пушкинского района сложена меловыми отложениями верхнего и нижнего отдела (трепелы, глинистые опоки, глины, пески и песчаники; пески с фосфоритами, песчаники, глины) и юрскими отложениями (темные глины и пески с фосфоритами). Четвертичные отложения представлены водно-ледниковыми и мореными отложениями Московского возраста, часто перекрытыми покровными суглинками мощностью 2-5 метра. Иногда морена выходит на поверхность, но только в сильно эродированных участках.

Рельеф территории села Ельдигино Пушкинского района Московской области в целом спокойный, с общим уклоном в направлении на юго-запад к Пестовскому и Учинскому водохранилищам. Речная сеть принадлежит бассейнам реки Клязьмы, ее левых притоков Воря и Уча. Небольшой отрезок реки Клязьмы идет вдоль южной границы района. Восточную часть района ограничивает р. Воря с притоком речки Талицы. На севере берет начало р. Яхрома.

Климат Пушкинского района умеренно континентальный с достаточно теплым летом и умеренно холодной зимой с устойчивым снежным покровом. Среднегодовая температура воздуха $+3.0 - +3.5$ °C. Средняя температура января -11°C , среднее количество осадков в январе 35 мм, толщина снежного покрова от 40 сантиметров и более. Средняя дата образования снежного покрова 24-27 октября, средняя дата разрушение снежного покрова 3-7 апреля. Средняя температура июля $+17.8$, количество осадков 80 мм. Максимальная температура, наблюдающаяся на этой территории этого района $+37$, минимальная -45 . Годовое количество осадков 550-600 мм, умеренная увлажнённость, максимальное количество осадков приходится на осенне-весенний период. Величина относительной влажности в районе колеблется от сезона к сезону и от года к году. По среднемноголетним данным, она составляет 60 - 70 %. Максимум осадков, как правило, приходится на июль месяц, минимум – на февраль - апрель. Сумма активных температур выше $+10 - 1900-2100$. Средняя продолжительность безморозного периода 125–130 дней.

Гидротермический коэффициент (отношение количества осадков к испаряемости) 1.2-1.3 (Атлас Московской области, 1976). Однако в определенные месяцы вегетационного периода испаряемость может преобладать над осадками. Таким месяцем является май, нередко июнь. Майский дефицит атмосферного увлажнения обычно не сопровождается значительным иссушением почвы. К этому времени еще не успевают израсходоваться весенние влагозапасы. Весной и особенно летом часто бывают ливневые дожди, что нередко вызывает линейную и площадную эрозию (Почвы Московской области..., 2002; Мажайский и др., 2014). Режим подземных вод характеризуется сезонными колебаниями, связанными главным образом с атмосферными осадками и испарением, а вблизи рек и озер находится под влиянием их режима. Воды четвертичных отложений, находящиеся в зоне активного водообмена, имеют минерализацию преимущественно от 0.1 до 0.5 г/л, и относятся к типу гидрокарбонатных кальциевых (Алексеевский, 1970; Глазовская, 1988; Алексеенко, 1990).

Режим рек Пушкинского района, как и всей Московской области, типичен для равнинной части Европейской территории России. Характерным является высокое весеннее половодье, низкая зимняя и летняя межень, относительно небольшой паводок в осенний период. На внутригодовое распределение речного стока оказывает влияние климатический фактор (соотношение осадков и испарения в бассейне реки в разные сезоны года), а также величина водосбора, его залесённость, озёрность и заболоченность, искусственные сооружения (плотины, водохранилища, пруды), нарушающие естественный режим рек (Ресурсы ..., 1973; Мажайский и др., 2003).

Растительный покров территории определяется принадлежностью её к зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов и прохождением по ней границ южно-таежной и широколиственно-лесной подзон, где преобладают смешанные елово-сосновые и хвойно-широколиственные леса. Земли лесного фонда занимают около 42% территории области. Естественный растительный покров представлен также лугами (заливными и суходольными),

кустарниковыми зарослями в поймах рек, растительными сообществами болот и побережий водоемов, водными растениями.

Согласно справочнику (Агроклиматический справочник..., 1967) в условиях Пушкинского района и всей территории Московской области возможно выращивание многих сельскохозяйственных культур. В частности, получают хорошие урожаи следующих культур: яровой и озимой пшеницы, ржи, ячменя, овса, гороха, жёлтого и синего люпина, и овощных культур. Также достаточно хорошо произрастают злаковые (овсяница, житняк, тимopheевка и другие) и бобовые травы (эспарцет, донник, люцерна, клевер и другие) в составе многолетних травосмесей.

В составе почвенного покрова Пушкинского района преобладают дерново-подзолистые почвы (65%) разной степени оподзоленности, в основном средне - и сильноподзолистые, сформированные на тяжелых и средних суглинках. Болота и заболоченные почвы встречаются редко и небольшими массивами. Также распространены болотно-подзолистые почвы в юго-восточной части района (Атлас Московской области, 1976).

Рассматриваемая территория достаточно сильно распахана и вовлечена в сельскохозяйственный оборот. Большинство пахотных почв относятся к группе освоенных. В передовых хозяйствах есть поля и с окультуренными почвами. Большинство полей на госсортучастках также представлены дерново-подзолистыми окультуренными почвами. Сильно окультуренные встречаются редко, обычно на огородных участках (Почвы Московской области..., 2002).

В верхнем горизонте слабоподзолистой разновидности обычно бывает больше иловатых частичек, чем в средне - и сильно подзолистых разностях. Обеднение илами верхних горизонтов средне - и сильноподзолистых почв связано с выносом мелкозернистой массы в нижележащие горизонты B_1 и B_2 , в которых отмечается резкое увеличение илов и суммы частичек меньше 0.01 мм. В истощенной почве наблюдается сильное обеднение илами верхних гор. A_n и A_2 . Это объединение более резко отмечается в гор. A_n , что, вероятно, связано с явлениями смыва с поверхности почвы наиболее тонких частичек, которые не

склеены в водопрочные агрегаты, а находятся в сильно распыленном состоянии.

В пахотном слое окультуренных почв отмечается некоторое увеличение илов, вследствие систематического внесения органических удобрений. Поэтому улучшенные почвы менее распылены, чем истощенные разности. Наиболее ценные мелкие частицы в них предохранены от смывания и выдувания. Данные механического анализа указывают на обогащение илами иллювиальных горизонтов. Чем выше степень окультуренности почвы, тем растянутее получается иллювиальный горизонт, т.е. по профилю наблюдается смещение глубины наибольшего накопления илов (Мажайский и др., 2005; Семёнов и др., 2005).

Если в истощенной почве наибольшее накопление илистых частиц наблюдается в гор. В₁, то в окультуренной – это увеличение приурочено к гор. В₃. Накопление илов в иллювиальном горизонте подзолистых почв ведет к снижению их скважности и водопроницаемости. Показатели, характеризующие физические свойства почв, согласуются с данными механического, состава рассматриваемых почв. Сильноподзолистые разности обладают наименьшей скважностью в верхних горизонтах, что свидетельствует о плохом водно-воздушном режиме, а вместе с этим о худшей жизнедеятельности микроорганизмов в них (Качинский, 1970).

Вследствие сильной распыленности пахотного слоя и малой водопрочности его агрегатов в истощенной почве наблюдается заметное снижение скважности, указывающее на ухудшение в них водно-воздушных свойств. Скважность в пахотном слое улучшенных почв значительно выше, чем в истощенных почвах, где скважность пахотного слоя очень близка к иллювиальному горизонту.

Увеличение общей скважности при окультурировании почв ведет к улучшению водопроницаемости и аэрации подзолистых почв, что, в свою очередь, оказывает благоприятное влияние на развитие микробиологической деятельности и на рост корневой системы растений.

Во влажные годы почвы с повышенной скважностью меньше страдают от избытка влаги и недостатка кислорода. В истощенных почвах главная масса воды (более 50%) просачивается в первый час, а затем количество просачивающейся воды резко снижается – до 10-15% от общего расхода за шесть часов. Такой резкий скачок объясняется тем, что в первый момент вода устремляется вглубь почвы по трещинам, затем происходит набухание структурных отдельностей, трещины сплываются, и дальнейшее просачивание воды сильно замедляется (Качинский. 1970; Желязко и др., 2006).

В окультуренных почвах просачивание воды наблюдалось более или менее равномерно в течение всего времени определения. В первый час просачивается воды около 34%, а в последующие 5 часов просачивается в среднем 10-15 % от общего количества просачивающейся воды в течение опыта. По глубине просачивания воды также наблюдается заметное различие между окультуренной и истощенной почвами. В последней вода задерживается над иллювиальным горизонтом, тогда как в улучшенной почве она проникает до глубины 50-60 см.

Морфологическое описание приведено дерново-подзолистой среднесуглинистой слабооглеенной почвы Зеленоградского стационара. Дерново-подзолистая среднесуглинистая слабооглеенная почва характеризуется следующим морфогенетическим профилем (Муромцев, Анисимов, 2015).

$A_{\text{пах}}$ (0-30 см) – светло-серый с палевым оттенком, свежий, легкий суглинок, структура комковато-глыбистая, многочисленные корни. В нижней части влажноватый, уплотнён, структура комковато-призматическая с признаками плитчатости, много мелких темных ортштейнов, переход замечен по окраске, структуре и плотности.

Bt_1 (40-60 см) – Неоднородно окрашенный, серовато-белесый с мелкими фрагментами бурого цвета, влажный, средний /тяжёлый суглинок, плитчато-призматическая структура, охристые пятна, мелкие ортштейны, плотный с

белесыми прослойками, пятнами, потеками, Fe/Mn примазки, редкие темно-серые мелкие пятна и полосы.

Bt₂ (60-100) см. Плотный тёмно-бурый тяжелый суглинок с серыми полосами и жилами; с сизыми пятнами, прожилками и разводами оглеения, крупно-призматической структуры, по разломам почвенной массы охристые пятна оглеения.

Далее приводим интересный профиль дерново-подзолистой почвы на покровном суглинке, описанном сотрудниками кафедры физики и мелиорации почв факультета Почвоведения МГУ. Описание профиля дерново-подзолистой суглинистой почвы на покровных суглинках, подстилаемых некарбонатной мореной на территории Зеленоградского стационара Почвенного института им. В.В.Докучаева (рис. 1.1):



A_{пах} (0-30 см) - пахотный, темный серо-бурый, влажноватый, среднесуглинистый, комковатый, уплотненный с щелевидными и трубчатыми порами, граница ровная, резкая по цвету;

AE (30-40 см) - темный серо-бурый, влажноватый, тяжелосуглинистый, комковатый, уплотненный с щелевидными и трубчатыми порами, граница волнистая, резкая по цвету;

Bt (40-60 см) - желтовато-бурый, влажноватый, тяжелосуглинистый, призматическо-ореховатый, уплотненный, с белесой скелетаной и тонкими прерывистыми серыми пленками, с редкими тонкими корнями.

Рис.1.1. Профиль дерново-подзолистой почвы Зеленоградского стационара Почвенного института.

Общий вид (опытные площадки 1 - 4) и уровень поверхности (5.4 - 1.0 м) опытного поля Зеленоградского стационара представлены соответственно на рис. 1.2 и 1.3.



Рис. 1.2. Общий вид опытного поля Зеленоградского стационара отмечены расположения площадки (1 - 4).

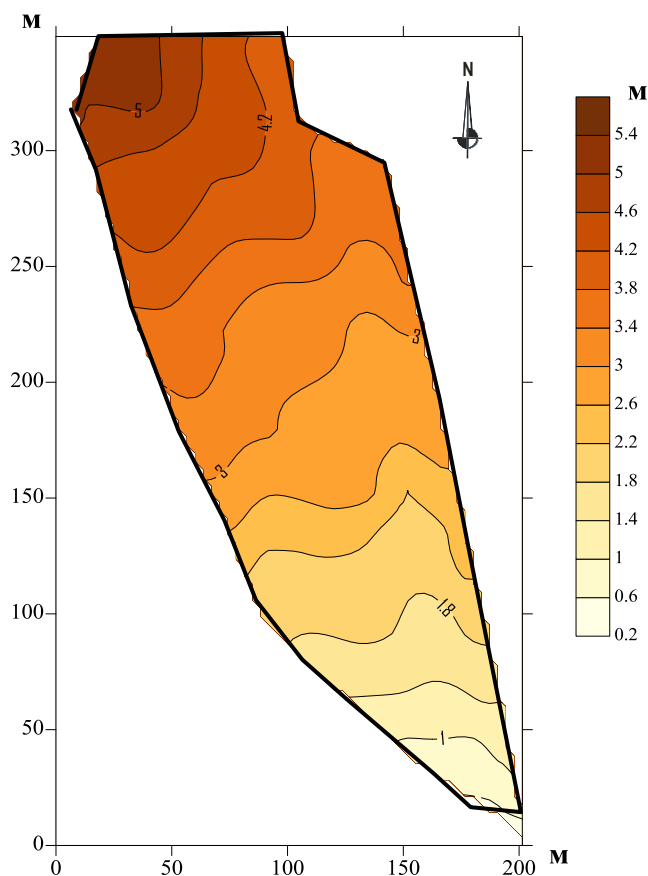


Рис. 1.3. Общий вид опытного поля уровня поверхности (5.4 - 1.0 м).

Основные водно-агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы Зеленоградского стационара представлены на рис. 1.2, 1.3 и табл. 1.1 (Муромцев, Анисимов, 2015).

Гранулометрический состав метрового слоя почвы представлен довольно в узких пределах от среднего до тяжёлого суглинка. Верхний полуметровый её слой обычно характеризуется как средний суглинок, а нижняя часть (50–100 см) имеет тяжелосуглинистый состав. Плотность сложения (средние значения) этих толщ почвы находится в пределах 1.50 и 1.64 г/см³ соответственно. Максимальная гигроскопическая (МГ) влажность составляет 8.2 и 13.5%, влажность завядания (ВЗ) – 10.0 и 18.5%, а наименьшая влагоемкость (НВ) – 35.3 и 31.4% соответственно в слоях 0-50 и 50-100 см.

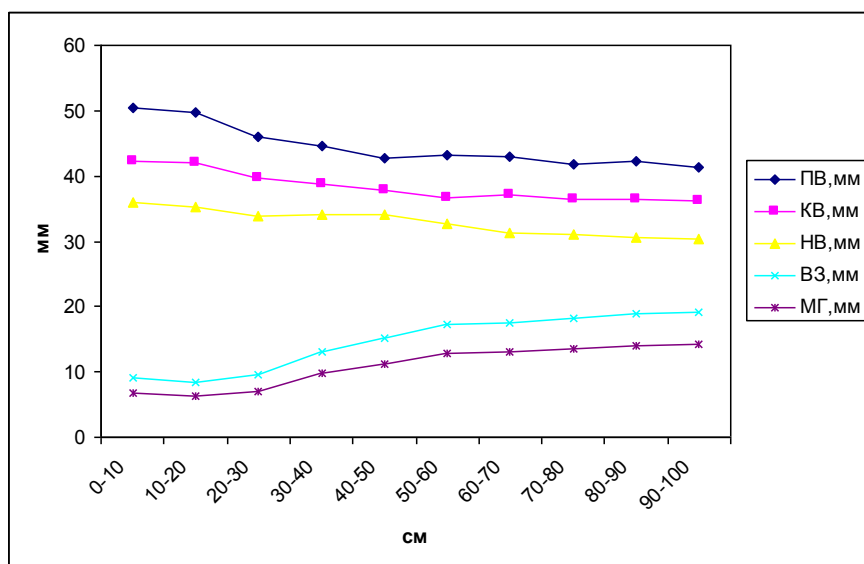


Рис. 1.4. Основные водно – агрофизические свойства дерново-подзолистой суглинистой почвы Зеленоградского стационара.

Примечание: ПВ – полная влагоемкость, мм; КВ – капиллярная влагоемкость, мм; НВ – наименьшая влагоемкость, мм; ВЗ – влажность завядания, мм; МГ – максимальная гигроскопичность, мм.

Таблица 1.1. Основные водно-физические свойства дерново-подзолистой суглинистой почвы Зеленоградского стационара.

Н, см	ПВ,мм	КВ,мм	НВ,мм	ВЗ,мм	МГ,мм	Порозность, % от объема	Плотность, г/см ³	НВ, %
0-10	50.4	42.3	36.0	9.0	6.7	49.2	1.36	25.6
10-20	49.7	42.0	35.3	8.5	6.3	49.1	1.41	24.0
20-30	46.1	39.8	33.9	9.5	7.1	46.3	1.50	22.6
30-40	44.6	38.7	34.1	13.0	9.7	42.5	1.53	22.0
40-50	42.7	37.8	34.0	15.1	11.3	42.4	1.56	21.3
50-60	43.2	36.7	32.8	17.2	12.8	40.4	1.57	20.4

60-70	43.0	37.2	31.4	17.5	13.0	39.1	1.56	19.0
70-80	41.8	36.5	31.0	18.3	13.6	38.9	1.57	18.5
80-90	42.3	36.5	30.6	18.8	14.0	38.6	1.60	18.3
90-100	41.4	36.3	30.4	19.1	14.2	38.3	1.62	18.1

Опытные сельскохозяйственные культуры использованы следующие: многолетние травы, эспарцет и кукуруза на силос соответственно в годы 2014, 2015 и 2016 годы.

1.2. Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва ВНИИ кормов им. В.Р.Вильямса и Мещёрского филиала ВНИИГиМ.

Исследования проведены в лизиметрах ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса (Луговая Московской обл.), описанных в работах Короткова (1975, 1980), и лизиметрах-сборниках (Семёнов и др., 2005). Полив почв лизиметров осуществляли при достижении содержания влаги в верхнем 0-30-сантиметровом слое почвы на уровне 0.7 НВ (наименьшей влагоемкости). Модели растительного покрова соответствовали таковому на опытных делянках и включали в себя различные компоненты злаковых и бобовых культур с доминированием чаще всего ежи сборной.

В лизиметрах были использованы следующие почвы: аллювиальная суглинистая, дерново-подзолистая суглинистая глубокооглеенная, дерново-подзолистая супесчаная.

Дерново-подзолистая суглинистая глубокооглеенная на покровном суглинке (слабо выраженный склон опытного участка ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса) имеет следующее морфологическое строение.

A_d (0-6 см) - дернина, светло-серая с буроватым оттенком, свежая, связная, мелкокомковато-пылеватая, рыхловатая.

A_1 (6-20 см) - серый, слегка желтовато-палевый, свежий, плотный, мелкокомковато-пылеватый, легкий (до среднего) суглинок, множество тонких корней, переход заметный.

A_2 (20-29 см) - серый с белесоватым оттенком, свежий, плотнее предыдущего, непрочно-комковато-пористый (видна слоистость, пластичность),

отдельные ржаво-бурые пятна, кварцевый блеск, языковат, средний суглинок, корешки, переход заметный.

B₁ (29-62 см) - желтовато-буроватый с белесыми затеками (длинными узкими языками из гор. A₂) влажноват, крупно-комковато-глыбистый (разламывается на призмы, ореховат), на гранях излома с порошистой светло-белесой присыпкой, корешки, средний (до тяжелого) суглинок, очень плотный, черные точки железисто-марганцевых соединений, переход заметный по окраске.

B₂ (62-115 см) - более однородный по цвету, чем предыдущий, желтовато-палевый, сыроват, крупноореховатый, глыбистый, тяжелый суглинок, в нижней части глееватый, камешки, плотноват, тонкие линзы песка, черные по цвету включения марганца и железа, на изломе структурный грани цвет слегка вишневат-малиновый, переход постепенный.

B₃ (15-150 см) – палево-желтый, сырой, опесчаненный (до среднего) суглинок, глыбистый, марганцовистые точки и жилки, плотноват, перемешан песчинками (нож входит с хрустом). В нижней части наблюдаются прослои песка, желтый по окраске, влажный, с блеском, глееватый, переход постепенный по окраске, заметный по сложению.

C 150-210 см – светло-желтый с палевым оттенком, сырой, липкий, более легкий по сравнению с механическим составом предыдущего – пылеватый легкий суглинок, оглеен, линзы желтого по цвету песка (среднего размера песчинки), при отборе образца на такой глубине материнская порода обваливается, возможно, наличие водоносного слоя (верховодка).

Почва характеризуется следующими значениями основных показателей физического состояния в гор. A₁: удельной массы 2.56 г/см³, плотности почвы 1.42 г/см, общей порозности 55.4 %, наименьшей влагоемкости (НВ) 30.9 %, влажности завядания 5.83 % и максимальной гигроскопичности 3.93 %. В гор. B₂ (62-115 см) эти показатели имеют значения соответственно: 2.70 г/см, 1.68 г/см, 35.4 %, 7.45 и 11.17%. В нижней части гор. B₂ (примерно со 100 см) наблюдается легкое оглеение, выраженное железисто-марганцевыми

включениями. По мнению Ф.Р. Зайдельмана (1985) это является характерным признаком начинающегося (начальная стадия) заболачивания.

Почва по всему профилю обогащена фракцией крупной пыли (частицы 0.25-0.01 мм). Количество физической глины (<0.001 мм) свидетельствует о том, что почва относится к дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой, крупнопылевато-иловатой на покровном суглинке. Она обеднена элементами питания растений (за исключением слоя 0-10 см), имеет кислую реакцию ($pH > 5.2-6.0$). Значительное количество подвижных форм алюминия, низкое содержание гумуса ($A_1 = 2.1 \%$, $A_2 = 0.5 \%$, $B_2 = 0.3 \%$) и поглощенных оснований ($A_1 = 10.2$ мг-экв/100 г почвы, $A_2 = 4.4$ мг-экв/100 г почвы).

Объемная масса, порозность, максимальная гигроскопичность, ВЗ и НВ изменяются почвенной толщи в следующих пределах соответственно: 1.14-1.77 г/см³, 55.4-35.4 %, 4.35-7.45 %, 6.53-11.17 % и 30.9-21.2 %.

Аллювиальная луговая суглинистая почва Москворецкой поймы в гор. А (0-48 см) представляет собой суглинок серо-буроватого цвета ореховато-призматической структуры. С глубины 40 см появляются сизоватые пятна оглеения. Содержание физической глины увеличивается с 32.5 % в слое 0-20 см до 43.0 % в слое 30-50 см. Структура горизонта мелкокомковатая, зернистая, сложение в слое 0-35 см плотное, ниже 25-48 см - рыхлое. Много кротовин, червоточин, мелких пустот. Педы в верхней части прочные делятся на 3-4 порядка, в нижней – непрочные (6-7 порядков). Мелкоагрегатные и внутриагрегатные поры очень узкие. На глубине 48-50 см прослеживается песчаная прослойка оглеенная с сизоватыми пятнами и буровато-коричневой окраски. Структура ее непрочно-комковатая. Далее выделяется гор. В₁С (55-90 см), представляющий суглинок буровато-коричневого цвета с легким сизоватым оттенком и ржавыми пятнами. Структура мелкокомковатая с некоторой долей призмовидности. Сложение рыхлое, непрочное, педы делятся на 5-6 порядков.

В слое 0-48 см аллювиальная почва характеризуется средними значениями общей порозности, плотности, НВ и влажности завядания растений (ВЗ) соответственно: 47.2 %, 1.13 г/см³, 28.7 и 7.7 %. Уровень грунтовых вод

(УГВ) в меженный период находится в пределах 170-200 см, а ранней весной и поздней осенью - 130-150 см.

Использованы также некоторые интересные материалы по аллювиальным почвам реки Арчеды (Волгоградская область). В прирусловых частях рек Арчеды (и реки Москвы) расположены аллювиальные супесчаные почвы, а в центральных частях пойм – суглинистые их аналоги. Морфогенетические и агрофизические свойства этих почв кратко рассмотрены в работе (Муромцев, 2011). Здесь дополнительно укажем, что величины основных водно-физических свойств аллювиальных суглинистых почв рек Арчеды и Москвы близки между собой. В частности, объемная масса - верхнего, 0-30 см, слоя составляет 1.1 - 1.2 г/см³, влажность завядания – 8.0 - 11.0 %, наименьшая влагоемкость 26-28 %, гумус 2.48 - 2.81%. Аллювиальная супесчаная почва (пойма реки Арчеды) в слое 0-30 см характеризуется величинами объемной массы – 1.45 г/см³, влажности завядания -2.72 %, наименьшей влагоемкости - 11.4 % и гумуса – 1.34 %.

Мещёрская низменность занимает северную часть Рязанской, южную – Владимирской и восточную – Московской областей, всвязи, с чем различают подмосковную, владимирскую и рязанскую Мещёру. Последнюю часть также называют Мещёрским краем или Мещёрской стороной (Мажайский и др. 2005; Мажайский и др., 2014).

Низменность находится в умеренно континентальном климате с морозной, относительно холодной зимой и тёплым, а иногда и жарким летом. Среднегодовая температура воздуха составляет +4.3⁰С с колебаниями по годам от +1.7⁰С до +6.5⁰С. Самый холодный месяц – февраль. Средняя температура февраля -9...-11⁰С. Зима снежная, неровная, с умеренными морозами. В тёплые зимы температура в отдельные дни может подниматься выше +5⁰С, в холодные – падать ниже -30⁰С; в аномально холодные зимы морозы могут достигать -45⁰С, но обычно зимой температура не падает ниже -25...-30⁰С. Первый снег выпадает, как правило, в начале-середине октября, а постоянный снежный покров образуется в ноябре (в тёплые годы – в декабре); первые заморозки

могут быть уже в сентябре. Сходит снег чаще всего в первой половине апреля (иногда – уже в марте, а иногда и только к концу апреля). Отрицательные среднемесячные температуры держатся пять месяцев в году. Толщина снежного покрова доходит до 80 см. Самый жаркий месяц – июль, когда температура воздуха может подниматься выше +30, раз в 10-15 случается сильная жара до +35...+40⁰С. Средняя температура июля +18..+20⁰С. Лето тёплое с обильными ливнями и грозами.

Количество выпадающих осадков составляет от 550 до 450 мм, убывая с северо-запада на юго-восток равнины. На зимний период приходятся 25–30 % осадков. Преобладают ветры западных и юго-западных направлений. Характерной природной особенностью является ежегодное весеннее половодье, которое оказывает большое влияние на сезонные явления в жизни птиц и других животных. Долины рек бывают покрыты 2–3-метровым слоем воды в течение 30-70 дней. Над водой возвышаются лишь отдельные участки суши, верхушки прибрежных деревьев и кустарников. Половодье вызывает местные перемещения наземных животных, вынуждая их собираться на более возвышенных местах.

Морфогенетическое описание дерново-подзолистой почвы Мещёрского филиала ВНИИГиМ приводится по работам (Мажайский и др., 2003, 2014; Жибуртович и др., 2012) дерново-подзолистая суглинистая почва характеризуется следующим геоморфологическим профилем.

A_п 0-22 см. Свежий, серый, глыбисто-плитчато-порошистый, уплотненный, среднесуглинистый, много живых корней, переход заметный по структуре и окраске, граница ровная.

A₁A₂ 22-31см. Свежий, серый с белесыми пятнами, плитчато-ореховато-порошистый, рассыпчатый, суглинистый, присыпка кремнезема, переход заметный по цвету, граница языковатая.

A₂B 31-44 см. Свежий, серо-бурый, глинистый, присыпка кремнезема, переход заметный по цвету, граница языковатая.

B₁ 44-74 см. Свежий, темно – и красно-бурый с серыми и белесыми пятнами, мелкопятнистый, заметно светлеет при подсыхании, призматическо-ореховатый, уплотнен, глинистый, темно-коричневые кутаны и слабая присыпка кремнезема, зерна кварца, переход постепенный по структуре и цвету, граница размытая.

B₂ 74-102 см. Светлый, темно-бурый с красными оттенками и коричневыми пятнами, ореховато-призматический, уплотнен, глинистый, коричневые кутаны, обуглероживание по ходам корней, переход заметный, граница затечная.

BCg 102-126 см. Свежий, неоднородно окрашен, бурый со светло-коричневыми, ржавыми и черными пятнами, мелкопризматический, среднесуглинистый, уплотнен, светло-коричневые кутаны, многочисленные черные обуглероженные растительные остатки по ходам корней, переход заметный, граница затечная.

Cg 126 см и ниже. Свежий, сизовато-бурый с ржавыми пятнами, мелкоглыбисто-комковатый (структура непрочная), уплотнен. Среднесуглинистый состав, стяжения и примазки гидроокислов железа, светло-коричневые кутаны, темно-бурые растительные остатки по ходам корней, зерна кварца, гравий и галька из светлых и красноцветных кварцитов и гранитов, нижняя граница не вскрыта.

В качестве опытных растений использовали: многолетние травы, эспарцет и кукуруза на силос.

1.3. Краткое резюме

Дерново-подзолистая почва Зеленоградского стационара Почвенного института, лизиметрических павильонов филиала ВНИИГиМ (Солотча) и ВНИИ кормов им. В.Р.Вильямса (Лобня) является типичными почвами южнотаёжной подзоны лесной зоны. Они, располагаясь в различных территориях (Московская и Рязанская области), во многих отношениях являются идентичными: среднесуглинистые, слабоогленные, сходны по

морфогенетическому строению и водно-физическим свойствам. Аллювиальные почвы также весьма плодородны, хорошо с использованием различных сельскохозяйственных зерновых, овощных культур и многолетних трав.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

2.1. Исследование методов и приборного гидрофизического обеспечения.

Исследования (на объектах Зеленоградского стационара) включают изучение динамики влажности почвы, потенциала (давление) почвенной влаги на четырех вариантах (площадках) основного опытного поля и залежи, метеопараметров приземного слоя воздуха и биологического урожая культур в условиях севооборота. Используются термостатно-весовой метод определения влажности почвы, тензиометры и датчики (Девис 6440) для измерения потенциала (давления) почвенной влаги, датчики (Девис 6470) для измерения температуры почвы и общепринятые методы контроля биологического урожая многолетних трав.

Тензиометры установлены на четырех площадках размером 4х4м в верхней части почвенной катены (пл.1), средней пониженной (пл.2), замкнутой низине (пл.3) и в нижней части почвенной катены (пл.4). Помимо этого использовали переносной тензиометр, позволяющий проводить замеры потенциала влаги до глубины 40 см.

В варианте «залежь» проведены исследования динамики потенциала (давления) влаги и температуры почвы на глубинах почвенного профиля: 5-12, 30-37, 50-57 и 70 -77 см. Показатели состояния приземного слоя воздуха определяли с помощью автоматической метеостанции фирмы «Хелион» Vantage Pro 2.

Автоматическая метеостанция Vantage Pro 2 (фирма “Хелион”) установлена на Зеленоградском стационаре Почвенного института им. В.В.Докучаева в середине июля 2014 г. Общий вид её компонентов показан на фото 2.1 – 2.3.



Фото 2.1. Общий вид метеостанции: консоль с датчиками.

На штанге метеостанции расположены датчики температуры, влажности, давления и скорости ветра, осадков, суммарного испарения, радиации и некоторые другие. Метеостанция установлена на углу бытового вагончика (высота от поверхности почвы составляет около 2.5 м).



Фото 2.2. Консоль управления для беспроводной метеостанции Vantage Pro2 Davis.

Функции дисплея консоли метеостанции показаны на рис. 2.1.



Рис.2.1. Функции дисплея консоли автоматической метеостанции.



Фото 2.3. Модуль беспроводной Weather Envoy 8X для передачи данных на ПК.

Наряду с датчиками метеопараметров состояния приземного слоя атмосферы метеостанция оснащена датчиками потенциала почвенной влаги и температуры почвы. Показания метеодатчиков, а также датчиков температуры почвы и потенциала почвенной влаги (по четыре датчика) были выведены на дисплей и на компьютер, размещенные в лабораторном здании.

Датчики потенциала (давления) почвенной влаги (длина 70 мм, диаметр 18 мм) и температуры почвы (длина 30 мм, диаметр 5 мм) установлены на следующих глубинах дерново-подзолистой суглинистой почвы соответственно: 5-12 и 5-8 см (№1), 30-37 и 30-33 см (№ 2), 50-57 и 50-53 см (№ 3) и 70-77 и 70-

73 см (№4). Суммарный объем информации, получаемый с датчиков автоматической метеостанции «Vantage Pro 2», представлен в табл. 2.1. Информация с датчиков считывается и поступает на дисплей метеостанции каждые 10 минут.

Таблица 2.1. Перечень метеопараметров автоматической метеостанции «Vantage Pro 2».

Дата, время	Внешняя температура, °C	Максимальная внешняя температура, °C	Минимальная внешняя температура, °C	Внешняя относительная влажность, %	Точка росы, °C
Date Time	Outside Temperature TX1 (°C)	High Outside Temperature TX1 (°C)	Low Outside Temperature TX1 (°C)	Outside Humidity TX1 (%)	Dew Point TX1 (°C)
Индекс жары, °C	Эффективная температура, °C	Скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра, м/с	Минимальная кажущаяся температура, °C	Максимальное направление ветра E-восток, S-юг, N-север, W-запад
Heat Index TX1 (°C)	THSW Index TX1 (°C)	Wind Speed TX1 (m/s)	High Wind Speed TX1 (m/s)	Low Wind Chill TX1 (°C)	High Wind Dir TX1
Преобладающее направление ветра	Сумма атмосферных осадков, мм	Максимальная интенсивность осадков, мм	Суммарное испарение, мм	Солнечная радиация, ватт/м ²	Максимальное значение солнечной радиации, ватт/м ²
Dominant Wind Dir TX1	Rain Amount TX1 (mm)	High Rain Rate TX1 (mm/hr)	ET TX1	Solar Radiation TX1	High Solar Radiation TX1
УФ индекс	Максимальное значение УФ индекса	Потенциал почвенной влаги 4, кПа	Потенциал почвенной влаги 2, кПа	Потенциал почвенной влаги 3, кПа	Потенциал почвенной влаги 1, кПа
UV Index TX1	High UV Index TX1	Soil Moisture1 TX2	Soil Moisture2 TX2	Soil Moisture3 TX2	Soil Moisture4 TX2
Температура почвы 4, °C	Температура почвы 2, °C	Температура почвы 3, °C	Температура почвы 1, °C	Влажность листы, % (датчиков нет)	Внутренняя ¹ температура, °C
Leaf/Soil Temperature1 TX2 (°C)	Leaf/Soil Temperature2 TX2 (°C)	Leaf/Soil Temperature3 TX2 (°C)	Leaf/Soil Temperature4 TX2 (°C)	Leaf Wetness1 TX2	Inside Temperature (°C)
Внутренняя ¹ влажность, %	Внутренняя ¹ точка росы, °C	Внутренний ¹ индекс жары, °C	Атмосферное ¹ давление, мм рт.ст.		
Inside Humidity (%)	Inside Dew Point (B°C)	Inside Heat Index (B°C)	Barometric Pressure (mm)		

Примечание: ¹ – метеопараметры внутри самой метеостанции.

Обработка (суммирование, осреднение и другое) осуществляется в соответствии со схемой (табл. 2.3) (Руководство, 2009).

Таблица 2.2. Интервалы изменения метеопараметров в зависимости от длительности наблюдений.

Параметр	Графики изменения параметра*							
	Текущее значение	за 1 минуту	за 10 минут	за 15 минут	за 1 час	за день	за месяц	за год
Барометрическое давление	Текущ.				Текущ.	Макс., Мин.	Макс., Мин.	
Суммарное испарение (ЕТ)	Сум.				Сум.	Сум.	Сум.	Сум.
Влажность, внутри помещения	Текущ.				Текущ.	Макс., Мин.	Макс., Мин.	
Влажность, снаружи помещения	Текущ.				Текущ.	Макс., Мин.	Макс., Мин.	
Точка росы	Текущ.				Текущ.	Макс., Мин.	Макс., Мин.	
Влажность листы ***	Текущ.				Текущ.	Макс., Мин.		
Осадки	Сум.			Сум.	Сум.	Сум.	Сум.	Сум.
Последние выпавшие осадки ****								
Уровень осадков	Макс.	Макс.			Макс.	Макс.	Макс.	Макс.
Влажность почвы	Текущ.				Текущ.	Макс., Мин.		
Солнечное излучение **	Сред.				Сред.	Макс.		
Температура, внутри помещения	Текущ.				Текущ.	Макс., Мин.	Макс., Мин.	
Температура, снаружи помещения	Текущ.				Текущ.	Макс., Мин.	Макс., Мин.	Макс., Мин.
Индекс жары	Текущ.				Текущ.	Макс.	Макс.	
Индекс «THSW» (Температура + Влажность + Солнце + Ветер)**	Текущ.				Текущ.	Макс.	Макс.	
Температура охлаждения ветром	Мин.				Мин.	Мин.	Мин.	
Индекс УФ-излучения ****	Сред.				Сред.	Макс.	Текущ.	
Мин. эффективная доза УФ-излучения *****	Сум.				Сум.	Сум.		
Скорость ветра	Сред.		Сред.		Сред., Макс.	Макс.	Макс.	Макс.
Направление ветра с макс. скоростью	Да					Да	Да	Да
Доминирующее направление ветра	Сред.				Сред.	Сред.	Сред.	

Примечание:

*–Средн. = среднее значение, Макс. = максимальное значение, Мин. = Минимальное значение, Сум. = суммарное значение, Текущ. = текущее значение на конец каждого периода.

** – При подключении датчика солнечного излучения.

*** – При подключении беспроводной температурной станции, измеряющей влажность листвы и почвы.

**** – На графике изображаются 24 последних случая выпадения осадков.

***** – При подключении датчика УФ-излучения.

Регулярные наблюдения за метеопараметрами начаты в конце июля 2014 г. Из всей совокупности метеорологической информации, предоставляемой автоматический метеостанцией, использована основная (сравнительно небольшая) часть её. Она, как нам представляется, вполне достаточна для достоверной характеристики состояния приземного слоя воздуха для целей почвоведения, мелиорации и гидрологии почв и ряда других научных дисциплин о Земле. Наиболее существенным, наиболее информативным для оценки состояния приземного слоя воздуха, мы относим осадки, суммарное испарение (испаряемость), температуру и относительную влажность воздуха, скорость ветра, атмосферное давление и солнечную радиацию (Семенов и др., 2005; Муромцев, Мажайский и др., 2013).

Использовали датчики потенциала (давления) влаги и температуры почвы, как отмечали выше, фирмы Девис 6440 и 6470 соответственно. Принцип действия датчиков потенциала влаги основан на зависимости электрического сопротивления датчика от влажности системы датчик–почва. Показания датчиков потенциала влаги и температуры почвы, атмосферного давления, осадков, направления и скорости ветра были выведены на дисплей, размещенный в помещении. Информация с датчиков метеостанции на дисплей поступает с интервалом 10 мин.

Влажность почвы на основном опытном участке (площадь около 2.5 га) определяли на четырех площадках (четыре варианта): площадка (пл.) 1 – в самой верхней его части, вторая площадка – в средней его сравнительно выровненной части, третья – в замкнутой протяженной западине глубиной вреза около 50 см, расположенной на одном уровне с площадкой 2.

Четвертая площадка находится на противоположном конце опытного поля, которая характеризуется наиболее низкими высотными отметками по

сравнению со всеми другими вариантами. Она сравнительно повышенным уровнем почвенно-грунтовых вод (верховодка), который периодически вскрывается бурением на глубине около 50 - 60 см. Например, 8 мая (начало полевых работ) – первое бурение на влажность – горизонт почвенно-грунтовых вод был вскрыт на глубине 50 см (от дневной поверхности). Через, примерно, неделю горизонт грунтовых вод понизился за пределы 100-см слоя почвы; повторно он был обнаружен на этой же отметке (50 см) в середине июля после сильного дождя нормой около 20 мм.

Фотографии стационарных и переносного тензиометров опытного поля представлены на фото 2.4 -2.5.



Фото 2.4. Общий вид основного опытного поля с эспарцетом.

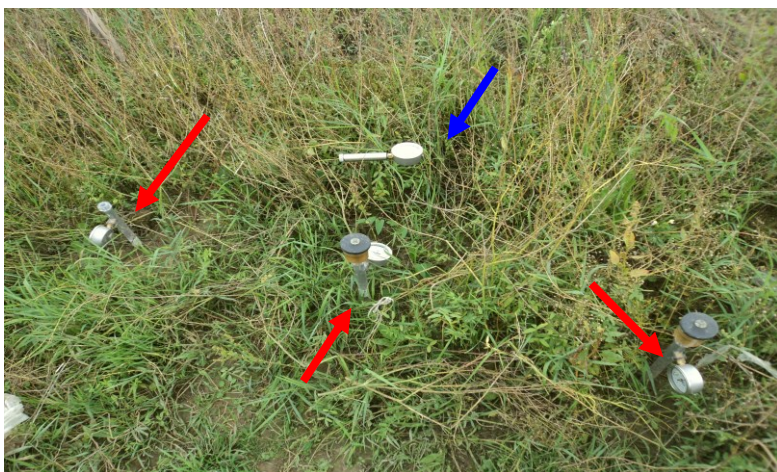


Фото 2.5. Стационарные (3 шт. красные стрелки) и переносной тензиометры (один - синяя стрелка) на площадке № 2.

В связи с некоторой спецификой методики исследования водного режима почв и влагообеспеченности считаем возможным дополнить главы 4 -7.

Вместе с тем считаем целесообразным рассмотреть более подробно определение влагопроводности, имеющей большое значение, особенно для использования простых методик почвенной колонны и лизиметра (Муромцев, Мажайский и др., 2013; Муромцев, 2015).

2.2. Метод определения влагопроводности.

Закономерности движения влаги в почве описаны во многих работах (Судницын, 1979; Воронин, 1984; Глобус, 1977; Муромцев, 1991; Мажайский, 2002; Роде, 2008; Nadas, 1973; Matula et al, 2007 и другие).

В основе теории движения почвенной влаги лежит предположение о том, что последняя (влага) не отличается от ньютоновской жидкости. Кроме того, также принимается, что градиент давления в изотермических условиях однозначно определяет величину и направление потока при заданной влажности и плотности почвы. Однако, как показывают некоторые исследования, поведение почвенной влаги не всегда находится в соответствии с этими допущениями.

Зависимость коэффициента влагопроводности (K_n) от влажности почвы влаги в значительной степени индивидуальна для каждого типа почв. Методика определения K_n разрабатывается на протяжении довольно длительного времени, но, несмотря на значительные успехи, она далеко еще не завершена (Роде, 2008; Муромцев, Мажайский и др., 2013). Все методы определения K_n можно разделить на две группы: методы стационарного и нестационарного потока влаги. Методы первой группы более просты, однако их использование ограничивается узким интервалом значений K_n и необходимостью обеспечения высокой интенсивности испарения с поверхности. В настоящее время наибольшее распространение получили методы нестационарного потока влаги, в частности, зондовый (Судницын, 1979). Он обычно применяется от полной

влагоёмкости (ПВ) до середины интервала наименьшей влагоёмкости – влага завядания (НВ-ВЗ). Для реализации метода используется капилляриметрическая установка. Метод синхронных профилей влажности и давления, применяемого в интервале средней и низкой влажности почвы. Он достаточно хорошо апробирован рядом исследователей с использованием математического моделирования и педотрансферных функций (Шеин, 2005; Phoon et al, 2010).

Как и всякий лабораторный метод, зондовый метод характеризуется таким объективным недостатком, как необходимость ограничения объема почвы, влияние которого на получаемую информацию может быть значительным. Поэтому нами предпринята попытка определить в условиях нестационарного потока в больших колоннах почвы и лизиметрах. Схема почвенной колонны представлена на рис.2.2. Высота её около 170 см, а испаряющая поверхность, помещенной в неё почвы, 400 см². В нижней части колонны предусмотрена камера для грунтовых вод (ГВ), заполненная песчано-гравийной засыпкой. К нижней части камеры герметично подсоединен пьезометр с краном, предназначенный одновременно для слива воды и для замеров ее расхода из ГВ. На одной из боковых стенок колонны, на различной высоте от ГВ, размещены тензиометры, расстояние между которыми не превышает 20 см (13-20 см).

Тензиометры желательно устанавливать под углом 30° к поверхности почвы и они занимают слой толщиной около 5 см. Расчеты запасов влаги зависимости $P_k(W)$ осуществлены для слоёв толщиной 10 см. Наблюдения за расходом воды по пьезометру в первые сутки опытов проводили не реже 1 ч, в последующие – одного-двух раз в сутки; в соответствии с этим проводили замеры капиллярного давления влаги по глубинам установки тензиометров.

Интенсивность потока влаги из ГВ определяется по уравнению

$$I=Q*10/St \quad (2.1),$$

где Q - расход воды по пьезометру, см³; S - площадь колонны, см²; τ — время, час. или мин.

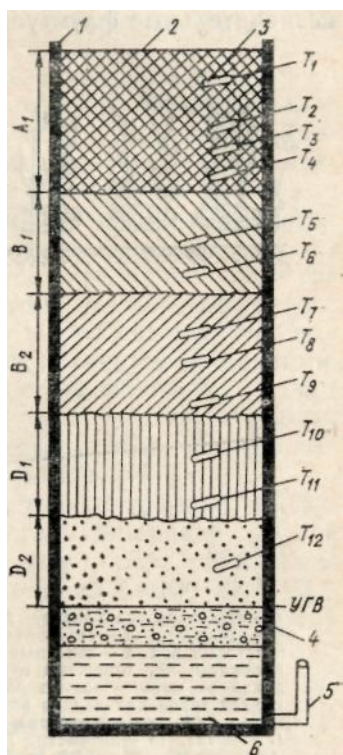


Рис.2.2. Схема почвенной колонны.

1 – корпус, 2 – почва, 3 – датчик тензиометра, 4 – фильтр, 5 – пьезометр, 6 – грунтовые воды; T_1 - T_{12} – тензиометры.

Рассматриваемый метод применим в основном для условий капиллярной каймы (КК), а также в периоды после обильных поливов или интенсивных осадков. В связи с этим в высоких колоннах, особенно с песчаными и супесчаными почвами, определение K_n следует проводить только в толще расположения капиллярной каймы (КК), высоту которой можно регулировать поднятием ГВ. Расчеты коэффициента влагопроводности в условиях восходящего потока необходимо проводить для тех отрезков времени, когда поровое пространство почвы максимально насыщено водой, сформирована капиллярная кайма (КК) и расход влаги из ГВ в зону аэрации стабилизирован. Об окончании процесса насыщения почвы водой судят по значениям потенциала влаги на различных глубинах колонны. С этой целью значения давления влаги наносят на график $P_k(\tau)$. Резкое повышение давления на графике означает достижение влагой ГВ уровня расположения того или иного тензиометра, а выполаживание динамики P_k (стабилизация) свидетельствует о достаточно полном насыщении почвы водой. Когда значения P_k

«выстраиваются» в прямую линию, параллельную абсциссе, можно говорить об окончании процесса формирования капиллярной каймы. Возможные незначительные флуктуации функции $P_k(\tau)$ обусловлены неизбежным влиянием на состояние влаги температуры и атмосферного давления воздуха.

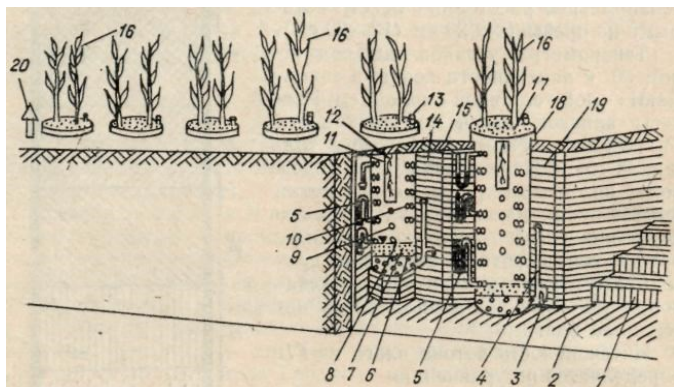


Рис. 2.3. Схема устройства лизиметрического павильона.

1 – ступеньки павильона, 2 – пол павильона, 3 – сливной кран пьезометра, 4 – пьезометр, 5 – тензиометры, 6 и 7 – песчано-гравийная засыпка, 8 – уровень грунтовых вод, 9 – запасные отверстия, закрытые прогудроненными деревянными пробками, 10 – отверстия со штуцерами для термометров, 11 – окно для наблюдений за интенсивностью роста корней растений, 12 – корни растений, 13 – обсадная труба для долива воды и измерения влажности почвы нейтронным влагомером, 14 – левая сторона павильона, 15 – земляная засыпка, 16 – растения, 17 – почва, 18 – лизиметр, 19 – правая сторона павильона, 20 – вентиляционная труба.

Исследования в колоннах проводили на аллювиальных луговых суглинистых и дерново-подзолистых супесчаных почвах ненарушенного сложения. Эти же почвы использованы и в лизиметрах, которые обычно предназначены для изучения элементов водного баланса почв и миграции удобрений (Муромцев, Мажайский и др., 2013). Лизиметр изготовлен из толстостенного листового железа; его внешняя и внутренняя поверхности покрыты антикоррозийным материалом. На передней рабочей стенке (сфере) просверлены отверстия диаметром около 3 см и приварены штуцера - отрезки металлической трубы соответствующего диаметра. Отверстия, расположенные в вертикальной плоскости на расстоянии 25 см друг от друга, предназначены для установки через них датчиков тензиометров и термометров. Лизиметры в количестве 6 штук установлены в галерее длиной 10 м, шириной 1 м и высотой

2 м. Пол, стенки и потолок галереи армированы тесом, а её верхняя часть выведена под уровень поверхности почвы посредством земляной подсыпки толщиной около 15 см.

Расчеты K_{π} с применением лизиметров также проводили по уравнению (2). Рассматриваемый метод неприменим для корнеобитаемой зоны почвы, поскольку здесь имеет место неучитываемый уравнением (1) расход почвенной влаги на десукцию растениями.. В то же время лизиметрический метод исследования K_{π} может быть с успехом использован для изучения расхода влаги к фронту промерзания в зимнее время (Муромцев, Мажайский и др., 2013).

Исследования с использованием капилляриметрической установки были выполнены на образцах аллювиальной луговой суглинистой и дерново-подзолистой супесчаной почв (табл.2.3). Анализ этих данных показывает, что

Таблица 2.3. Значения коэффициента влагопроводности почвы (мм/сут), полученные с использованием капилляриметрической установки, в почвах подзоны южной тайги.

Слой почвы, см	Интервал давления, кПа							
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
Аллювиальная луговая суглинистая почва								
0-10	12,8	11,0	13,5	6,5	2,5	1,9	1,4	1,0
20-30	14,7	10,2	7,5	6,9	4,0	3,1 жайский	1,3	0,9
45-55	17,5	10,4	8,5	7,0	4,4	3,4	4,4	1,5
70-80	12,5	11,0	6,3	4,3	1,9	1,2	-	1,3
95-105	23,8	12,5	5,8	1,4	1,2	0,9	-	1,2
120-130	47,5	9,8	6,4	5,3	6,3	6,1	3,2	1,8
145-155	36,0	14,4	9,8	3,9	2,6	2,0	1,7	1,1
170-180	68,0	5,5	1,8	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3
190-200	43,0	5,2	5,2	1,8	1,5	1,3	1,7	1,4
Дерново-подзолистая супесчаная почва								
0-10	38,0	13,3	2,8	1,2	1,3	1,4	1,5	1,1
20-30	73,5	15,4	5,1	1,4	1,4	1,9	1,5	1,1
45-55	98,0	42,5	7,3	6,3	5,2	5,0	3,9	1,3
70-80	110,0	45,0	1,8	1,3	1,6	1,9	1,4	1,0
95-105	27,6	4,8	2,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,0
120-130	1,3	4,7	0,3	0,1	0,9	0,2	0,03	0,02
145-155	0,4	1,7	0,1	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01
170-180	0,4	2,2	0,2	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01

с понижением P_k от 0 до 80 кПа K_n в различных слоях аллювиальной луговой почвы уменьшается в 10-15 раз, а в дерново-подзолистой – в 35-76 раз. В интервале высоких значений P_k (0 - 10 кПа) K_n характеризуется наибольшими значениями во всех слоях почвы. Максимальное значение K_n наблюдается в слоях 170-180, 145-155 и 1201-30 см: 68.5; 36.0 и 47.5 мм/сут соответственно.

2.3. Заключение

Гидрофизические научные приборы включают (на опытном поле Зеленоградского стационара) стационарные тензиометры, переносной специальный тензиометр, автоматическую круглогодичную метеостанцию. А также датчики использованы для измерения потенциала почвенной влаги и температуры почвы для размещения их в почвенном профиле почвы (вариант «Залежь»). Периодическое измерение влажности почвы использовано для термостатно - весового метода.

Зависимость коэффициента влагопроводности (K_n) от влажности почвы и давления (потенциала) используется в лизиметрах и почвенных колоннах. С повышением давления влаги (от 0 до 80 кПа) коэффициент влагопроводности уменьшается (в разных слоях аллювиальной луговой почвы) в 10-15 раз, а в дерново-подзолистой – в 35-76 раз.

Максимальные значения влагопроводности в любой почве практически близки к значениям коэффициента фильтрации, а минимальные стремятся к нулю. Равенство коэффициентов фильтрации и влагопроводности обычно имеет место в условиях нисходящего потока при влажности, равной полной влагоемкости или близкой к ней.

ГЛАВА 3. ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ВОДОУДЕРЖИВАЮЩИЕ СИЛЫ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ.

3.1. Введение

Значительная часть земель южно-таежной подзоны лесной зоны представляет собой склоны различной крутизны и простираения. Поэтому

практически любая условно взятая территория будет различной степени выраженной (в высотном отношении) в рельефе можно сказать почвенной катеной. Почвенная катена, в соответствии с современным воззрением, представляет собой повторяющуюся на склонах в аналогичных условиях рельефа и литологии определенную последовательность почвенных разновидностей, генетически связанных с деятельностью водных потоков и сил гравитации (Мелиоративная энциклопедия, 2004). В соответствии с приведенной ссылкой представления, и подобные почвенные катены нередко именуют элементарными ландшафтами, ландшафтными полосами, элементарными почвенными ареалами, микрокатенами и другими.

Основным связующим элементом (показателем, параметром) различных участков рассматриваемой катены (элементарного почвенного ареала), представляющей собой выположенный склон, являются почвенно-грунтовые воды. Уровень грунтовых вод соответственно будет их ниже и выше верхней и нижней её частях. Это обстоятельство предопределяет развитие процесса гидроморфизма в нижней и средней частях склона, а также во всех пониженных формах рельефа. Благодаря естественному перераспределению атмосферных осадков в направлении склона территории, разные части склона (катены) будут иметь различную степень увлажнения. В пределах рассматриваемой катены можно выделять (в гидрологическом отношении) три основные части: верхнюю (пограничную с плато), среднюю и нижнюю, которую переходит в низинную часть рельефа данной местности.

В основе выполненных исследований находится сопряженное изучение динамики почвенной влаги и потенциала (давления) влаги в различных частях слабовыраженной (в высотном отношении) катены с целью выявления гидрологической обстановки, закономерностей формирования водного режима, и оценки влагообеспеченности растений.

Исследования проведены (фото 3.1) в пределах склона (катены) дерново-подзолистой суглинистой слабооглеенной почвы Зеленоградского стационара

Почвенного института им. В.В. Докучаева (основное опытное поле) и на участке залежи, расположенной вблизи опытного поля.



Фото 3.1. Общий вид опытного участка (Площадка №2) с тензиометрами, контролируемыми в работе (дозаправка их водой).

Гранулометрический состав метрового слоя почвы несущественно различается между вариантами исследования. Верхний полуметровый её слой обычно характеризуется как средний суглинок, а нижняя часть (50-100 см) имеет тяжелосуглинистый состав. Плотность сложения (средние значения) этих толщ почвы характеризуется, как уже отмечали выше, в пределах 1.50 и 1.64 г/см³ соответственно. Максимальная гигроскопическая (МГ) и влажность завядания (ВЗ) в слоях 0-30 и 0-60 см составляют 6.7 и 9.0 мм и 11.4 и 15.1 мм. Наименьшая влагоемкость (НВ) составляют – 35.1 и 31.4% соответственно в слоях 0-30 и 60-100 см.

Помимо стационарных тензиометров использовали переносной тензиометр, позволяющий проводить измерения потенциала на глубине почвы до 40 см. Показатели состояния приземного слоя воздуха определяли с помощью автоматической метеостанции фирмы “Хелион” Vantage Pro 2.

Во влажные годы и длительные периоды отдельных лет на этой глубине (и глубже) почвенного профиля отмечались признаки гидроморфизма в виде сизоватых пятен и прожилок, железисто-марганцевых примазок и других

новообразований. То же самое можно сказать и о протяженной низине и других понижениях опытного участка. Во всех пониженных элементах рельефа, срединной выровненной части склона, и особенно в нижней его части, дерново-подзолистая почва переходит в категорию полугидроморфной (слабооглеенной), т.е. дерново-подзолистую слабооглеенную суглинистую.

3.2. Особенности запасов влаги и водоудерживающие силы в засушливых и экстремально сухих условиях атмосферного увлажнения.

Сухим и жарким летом 2014 г. было жарким и сухим. Осадков очень мало, практически не было совсем (особенно в июле и начале августа всего в совокупности – около 16 мм). При этом отметить, что жаркий сухой период вегетации охарактеризован, однако, и нередко влажными, например, в мае, начале июня и августе. Сухой вегетационный период составил период с 17 июня по 5 августа 2014 г. За весь этот 51- суточный период осадки составили величину в сумме всего лишь около 23 мм.

Развернутый анализ метеопараметров, характеризуемого с дисплея автоматической метеостанции, не приводим. Отметим только лишь то, что дневные (полуденные) значения солнечной радиации, суммарного испарения, температуры воздуха и скорости ветра максимальны (в большинстве случаев), а относительной влажности – минимальны в течение вегетационного периода. Атмосферные осадки в июне и августе (в июле их практически не было) неизменно повышают относительную влажность воздуха, снижают температуру воздуха, суммарное испарение и солнечную радиацию. Суточные динамики основных метеопараметров: температуры и относительной влажности воздуха, осадков, суммарного испарения, солнечной радиации и скорости ветра – характеризуются выраженной согласованностью и взаимозависимостью. Повышение значений солнечной радиации неизбежно приводит к увеличению суммарного испарения, температуры воздуха и к уменьшению его относительной влажности. Выпадение осадков снижает величину прямой солнечной радиации нередко до нуля, а суммарное испарение

до минимальных значений, близких к нулю, способствует понижению температуры воздуха и повышению его влажности. Усиление ветра часто приводит к заметному повышению суммарного испарения и снижению влажности воздуха. Осадки за июль 2014 по сентябрь 2016 годов приведены на рис. 3.1.

Суммы годовые, холодные и вегетационные (тёплые) составили периоды исследуемых лет (рис.3.1).

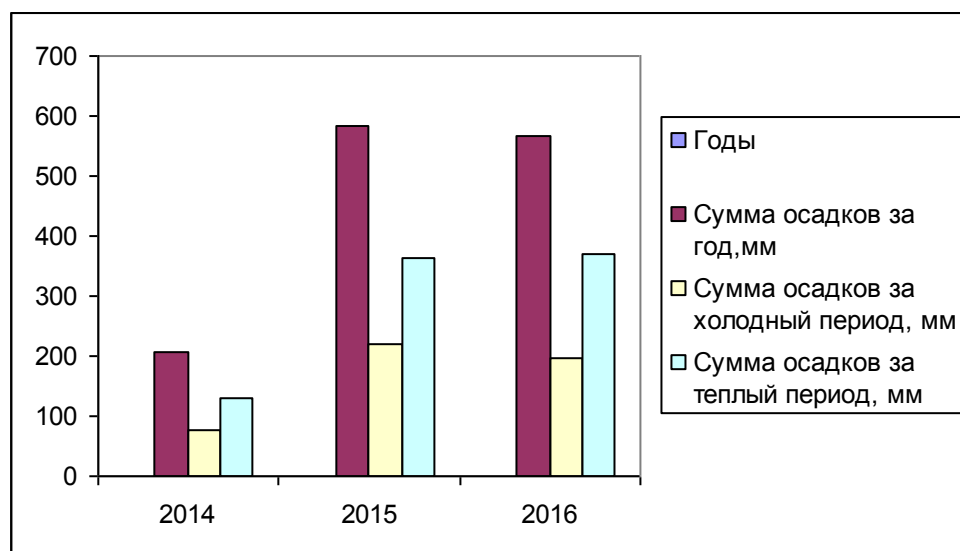


Рис. 3.1. Суммы осадков годовые, холодные и вегетационные (тёплые) периоды исследуемых лет (2014-2016 гг.). Примечание: Метеостанция работает с 27 июня 2014 г.

Периоды 2015 и 2016 г.г. являются влажными годами, особенно 2016 г, а 2014 – сухой с длительным засухой периодом. Расчеты содержания влаги в отдельных слоях почвы приведены на рис. 3.2 и 3.3. Расчеты запасов влаги даны (для приведенных ниже слоёв почвы) с учётом следующих соображений.

Слой 0-50 см – слой наиболее активного влагооборота, в нём сконцентрировано более 80–85% корней зерновых культур. Он, особенно верхняя его часть (0-30 см), наиболее богат минеральными и органическими элементами питания растений. Слой 50-100 см можно рассматривать как резервный при компенсации израсходованной корнями влаги и питательных веществ.

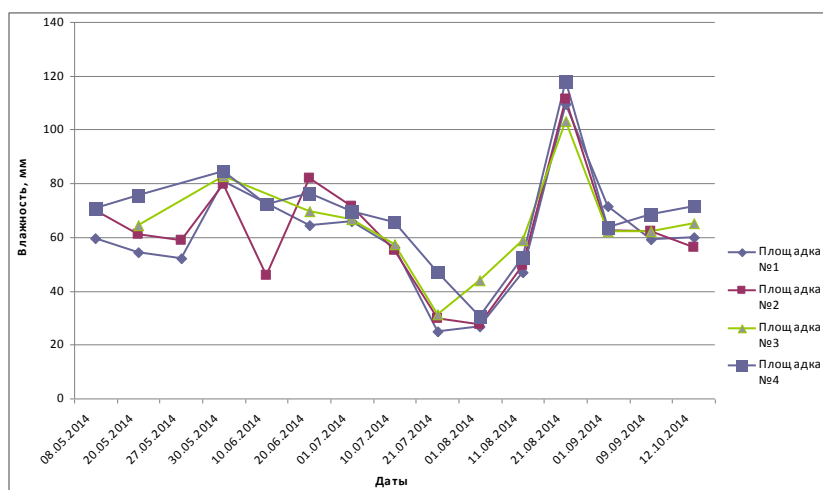


Рис.3.2. Содержание влаги в слое 0–30 см дерново-подзолистой почвы на площадках 1–4 опытного поля.

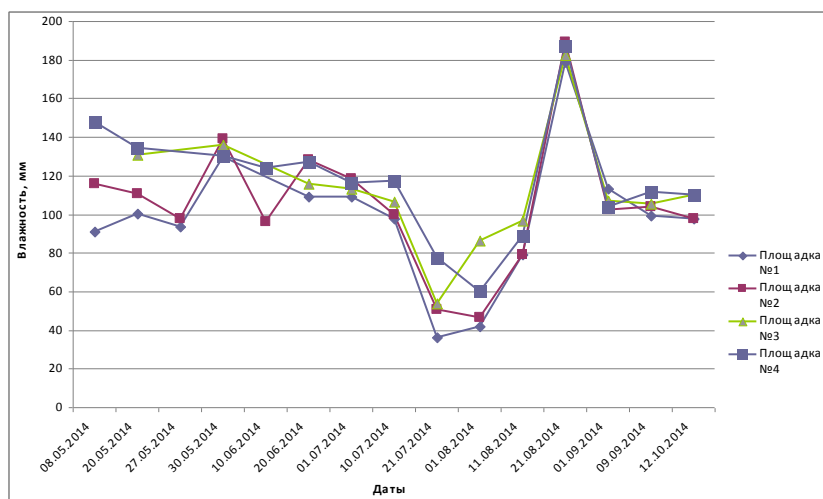


Рис.3.3. Содержание влаги в слое 0–50 см дерново-подзолистой почвы на площадках 1–4 опытного поля.

Здесь распространена некоторая часть корней, хотя и небольшая (около 20-10%). Первое бурение на влажность произведено 8 мая 2014 года. В соответствии с данными гидрологические условия в начале мая для всех четырех вариантов были некомфортными. Запасы влаги в верхнем слое 0-30 см почвы составляли 59, 70, 70 и 71 мм соответственно по вариантам, что соответствует от 56 до 67% НВ (в среднем 63% НВ). Значение 63% от НВ – это нижняя граница оптимального увлажнения для многих культур. В начале мая, когда производят посев культур, желательна большая обводненность почвы, особенно верхнего слоя 0-10(20) см, где происходит прорастание семян. Содержание влаги в этом слое было ниже, чем в слое 0-30 см (среднее

значение), и составляло 50-60% НВ, что позволяет говорить о наличии дефицита почвенной влаги в один из самых ответственных моментов роста и развития растений – прорастания семян.

На площадке 4 влажность в момент сева была заметно выше (около 67% НВ), чем на площадках 1-3, что объясняется более высоким (к поверхности) стоянием капиллярной каймы грунтовых вод (ГВ). Уровень ГВ был вскрыт при бурении на глубине 50 см от поверхности. Содержание влаги в слоях 0-50 и 0-100 см в начале мая составляло от 70 до 100% НВ.

В дальнейшем запасы влаги на всех площадках постепенно и синхронно изменяется под воздействием суммарного испарения и осадков. При этом по степени снижения обводненности всех почвенных слоёв (вариантов) укладывается в схему: содержание влаги верхнего (0–30 см) слоя почвы площадки 1 < площадки 2 < площадки 3 < площадки 4. Особенности распределения влаги по вариантам можно объяснить различным положением в рельефе, приводящем к перераспределению влаги по поверхности опытного поля. Подстилающей породой здесь является однородный покровный суглинок, поэтому основным фактором дифференциации (слабой) почвенного покрова служит микрорельеф и, связанные с ним условия увлажнения различных участков склона (катены).

Площадка 1 находится в верхней части склона, 2 – в средней его части, 3 – в замкнутой протяженной низине, а площадка 4 – в нижней пониженной оконечности склона, где, как отмечали выше, почвенно-грунтовая вода периодически вскрывается бурением на глубине около 50 см от поверхности. На площадке 2 в связи с меньшей крутизной склона снижен (по сравнению с площадкой 1) сток дождевых вод и более заметно влияние капиллярной каймы грунтовых вод. Площадка 3 находится в протяженной низине (западине) и, следовательно, характеризуется повышенным поверхностным стоком в неё со склонов западины и влиянием грунтовых вод, которые, возможно, находятся несколько ближе к днищу низины, чем на площадках 1 и 2. В засушливый период (июнь–июль – начало августа), содержание влаги во всех слоях профиля

и, особенно в нижней его части, оказывается нередко несколько выше по сравнению с площадками 1 и 2, а иногда и с площадкой 4. Почва этих вариантов характеризуется слабым периодическим проявлением процессов гидроморфизма. Морфологическое описание почвы (по кернам при установке тензиометров) показывает, что уже на глубине 50-60 см отмечаются признаки слабого оглеения (Fe-Mn примазки, редкие темно-серые мелкие пятна и полосы).

Имеющиеся различия в морфогенетических и водно-физических свойствах оказывают некоторое влияние на запасы влаги вариантов опыта и их динамику. Однако считаем, что это влияние сравнительно невелико, второстепенно, в значительной мере маскируется неопределенностью проявления и не выходит за пределы точности определения влажности, запасов влаги и плотности почвы. Об этом свидетельствуют материалы рис. 3.4 и 3.5.

Различие запасов влаги в слое 0-30 см при низких значениях её содержания, особенно в экстремальных условиях засухи (1.07-8.08), находятся в пределах 102-118 мм, т.е. 15-16 мм или около 5 мм (3.1%) на каждый 10-сантиметровый слой. Учитывая низкую точность определения влажности и плотности почвы, а также расчета запасов влаги (не выше 10-15% от определяемых величин), эту величину (3.1%) следует признать в пределах точности определений. Аналогичная ситуация с запасами влаги в вариантах опыта в засушливые и влажные периоды в слое 0-50 см: 180-185 мм в засушливые и несколько выше во влажные периоды. Несущественное (небольшое) влияние свойств различных разновидностей дерново-подзолистой слабооглеенной суглинистой почвы на содержание влаги и её запасы теоретически следует и из того, что гранулометрический состав верхнего (0-30 см) и более глубоких слоев практически одинаков во всех вариантах опыта. Именно гранулометрический состав, в случае его существенного различия по вариантам опыта, и определяемые им плотность, порозность, удельная поверхность и другие существенные свойства, могли бы оказывать заметное влияние на содержание влаги в почве. Однако существенных различий в

гранулометрическом составе даже в верхних слоях почвы не обнаружено, по крайней мере, при визуальной оценке кернов при бурении на влажность.

Рассмотрим динамику и особенности изменения влаги в слоях 0-30 и 50-100 см во временном аспекте (от посева семян 8 мая) и до середины октября, т.е. до конца периода наблюдений. Как уже отмечали выше, в слое 0-30 см содержание влаги уменьшается в направлении от площадки 4 к площадке 1, в связи с проявлением влияния рельефа местности и уровня ГВ (за исключение площадки 3, где запасы влаги иногда равны или несколько превышают таковые площадки 4). Эта особенность соотношения запасов влаги по вариантам проявляется в течение всей вегетации, и особенно в засушливые ее периоды. В конце мая (28 и 29) выпадали дожди (около 20 мм). Поэтому уже 30 мая содержание влаги в слое 0-30 см возросло до 80.8, 79.8, 82.5 и 84.5 мм соответственно на площадках 1, 2, 3 и 4. Отметим невысокие (в пределах точности определения) различия в содержании влаги между вариантами (около 4 мм). Содержание влаги в слое 50-100 см также минимально на площадке 1 и максимально на площадке 4. Здесь оно составляло (в начале мая) 130.2 и 185.8 мм соответственно. И в дальнейшем понизилось к концу месяца до 144.5 мм (площадка 4).

Подчеркнем, что в течение длительной части лета (около 1.5 месяца) погода стояла жаркая и без заметных осадков (рис. 4.3 и 4.4). Содержание влаги в слоях 0-30 см к этому времени на площадках 1 и 2 уменьшилось соответственно: с 59.4 и 70.0 до 52.3 и 58.8 мм, а на площадке 4 оно возросло из-за влияния грунтовых вод, которые были вскрыты 8 мая на глубине 50 см от поверхности.

Затем наступил засушливый период (с 1.07) и продолжался вплоть до 5-6 августа, т.е. около 36 суток. Вторая половина июня также была засушливой: с 17 по 30 июня выпало всего около 18 мм осадков и плюс еще 4.6 мм за период с 1 июля по 5 августа.

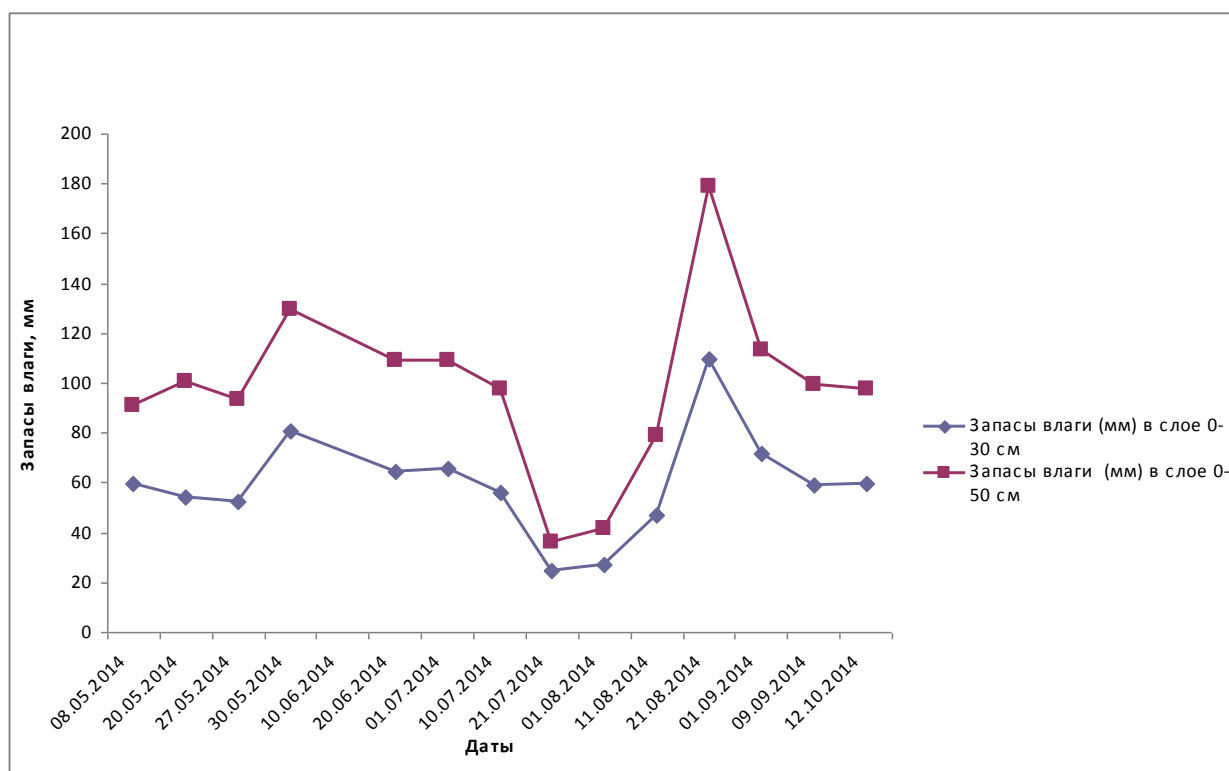


Рис.3.4. Динамика запасов влаги дерново-подзолистой почвы в слое 0-30 и 0-50 см (вариант 1) опытного поля.

С учетом этого, длительность засушливого периода составляла около 51 суток. За этот 51-суточный период случались крайне небольшие дожди суммой около 22.6 мм, не оказавшие заметного влияния на содержание влаги даже в самом верхнем слое (0–10 см). Запасы влаги в слое 0–30 см понизились (к 1 августа) по вариантам до 26.9, 27.5, 44.0 и 30.5 мм, что соответствует 25.5, 26.1, 41 и 29% НВ.

Эта информация свидетельствуют о глубоком дефиците почвенной влаги в верхнем корнеобитаемом слое. При этом на площадке 3 влаги оказалось несколько больше по сравнению с площадкой 4. Возможная причина заключается в резком понижении уровня ГВ на площадке 4.

Запасы влаги в метровом слое (0–100 см) также значительно уменьшились в течение засушливого периода и составили к 1 августа на площадках 1-4 137.5, 133.8, 203.1 и 155.0 мм.

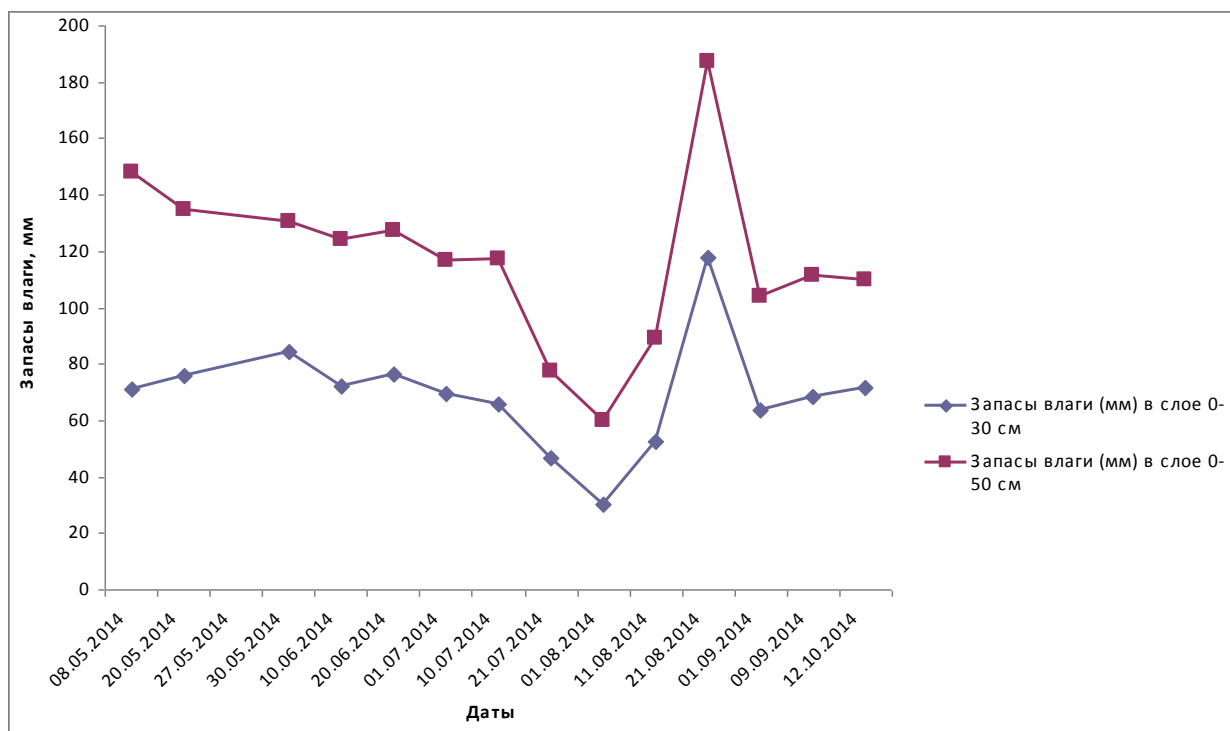


Рис.3.5. Динамика запасов влаги дерново-подзолистой почвы в слое 0-30 и 0-50 см (вариант 4) опытного поля.

Это соответствует 41, 40.5, 51 и 47% НВ и свидетельствует о весьма значительном дефиците влаги во всем метровом слое почвы. Наибольшее содержание влаги оказалось на площадке 3, особенностью которой является то, что она расположена в продолговатой замкнутой низине. Однако поскольку дождей в рассматриваемый период не было, то и перераспределения стока атмосферных осадков по рельефу (в пользу низины) не было. Вместе с тем, величина превышения влаги здесь по сравнению с площадкой 4 незначительна, и находится в пределах точности определения влажности почвы и расчетов ее запасов.

На нижней границе метрового слоя (80–90 см) понижение влажности почвы к 1 августа составило 11.9, 11.4, 16.0 и 13.0%, что незначительно выше МГ (площадка 3) и ниже ВЗ (14.0%) для площадок 1, 2 и 4. Еще более низкие величины влажности (во всех площадках) наблюдались 21 июля: 10.4; 9.5; 13.5 и 10.6%. В самом верхнем 0–10 см слое содержание влаги составило предельно низкие значения: 4.2, 6.5, 4.7 и 7.6% (МГ = 6.7%), т.е. заметно меньше МГ, за исключением площадки 4, где оно – на уровне МГ. Аналогичная ситуация

отмечена в 1972 и 2010 гг., когда содержание влаги в метровом и даже полутораметровом слоях почвы опускалось до ВЗ и МГ. По данным (Муромцев и др., 2013) за период без выпадения дождя был с 17 июня по 24 августа (68 суток) 2010 г. Содержание влаги в слое 0–60 см дерново-подзолистой почвы (ст. Луговая Московской области) опустилось до МГ. В нижележащем слое почвы, вплоть до опробованной глубины (170 см), содержание влаги не превышало ВЗ.

Отметим, что содержание почвенной влаги в вегетационный сезон 1972 г. в слое 0–30 см составило 5.6% (ВЗ = 9.0%), в слое 30-50 см – 8.3% (ВЗ = 12.3%), в слое 50 -70 см – 12.8% (ВЗ = 17.1%) и в слое 70-100 см – 14.0% (ВЗ = 18.2%). Значения МГ в указанных слоях составили величины: 6.7; 9.3; 12.5 и 14.1%. Таким образом, запасы влаги в 1972, 2010 и 2014 гг. опускались до значений максимальной гигроскопичности (и даже ниже МГ) в слое 0-50 см и до ВЗ в слое 90-100 см и глубже.

Подчеркнём, что такое сильное иссушение суглинистой почвы в лесной зоне скорее характерно для супесчаных почв сухостепной зоны (Муромцев, Мажайский и др., 2013). По глубине воздействия на динамику запасов влаги засушливый период 2014 г. не уступает таковому в 1972 и 2010 гг. Бурение до глубины 2 м, предпринятое в конце засушливого периода, не вскрыло горизонта грунтовых вод, он опустился значительно ниже этой отметки, вероятно до 3.5–4.0 м от поверхности. Пробурить глубже не представилось возможным.

После обильных дождей за период с 7 по 22 августа (около 84 мм) содержание влаги значительно повысилось: до 47, 50, 59 и 52 мм по вариантам в 0–30 см слое и до 176, 179, 224 и 207 мм в метровом слое. Однако они не достигли нижней границы оптимального увлажнения почвы, которая при 70% от НВ составляет 73.6 мм и 230.6 мм соответственно в слоях 0-30 и 0-100 см. Для площадок 1, 2 и 4 это увеличение составляет около 22 мм, а для площадки 3 – 15 мм. В метровом слое возрастание запасов влаги более значительно. Оно составило по вариантам: 38, 44, 20 и 52 мм, что соответствует

влагообеспеченности растений в пределах от 75 до 96% НВ. При этом, как и ранее, максимальное увеличение (96% НВ) наблюдалось на площадке 4.

Следовательно, экстремальные условия атмосферного увлажнения к этому времени (22 августа) окончательно ликвидировались, и содержание влаги в метровом слое почвы, теперь уже в конце вегетационного периода, возросло до уровня оптимального увлажнения (в интервале от НВ до 75-70% НВ). К концу августа запасы влаги составили в слое 0–30 см в пределах 109 мм (площадка 1) – 118 мм (площадка 4). В дальнейшем, за период с 22 августа до 1 сентября значительных осадков не было, суммарная их величина составила всего около 15 мм. За этот период запасы влаги в слое 0–30 см заметно понизились до 67 до 59% НВ: 71.1 мм (площадка 1), 62.5 (площадка 2), 62.1 (площадка 3) и 63.7 (площадка 4). При этом влагообеспеченность культур составляет величину 71-64% НВ, т.е. характеризуется небольшим дефицитом. Аналогичная ситуация и в слое 0-50 см, поскольку он, как и слой 0-30 см, максимально насыщен корнями рапса.

Урожай биомассы растений подтверждает сделанные выводы. Он максимален и практически одинаков на площадках 4 и 3 и составляет 250 г/м²; минимальный урожай, как и следовало ожидать, – на площадке 1 (200 г/м²) и площадке 2 – 230 г/м².

Следовательно, анализ динамики давления влаги строго соответствует изменению влажности почвы. Давление быстро (практически мгновенно) реагирует на приближение фронта смачивания и инфильтрации. В связи с сильным иссушением почвенного профиля даже значительной суммы осадков, выпавших за короткий промежуток времени, иногда далеко недостаточно для промачивания почвенной толщи дерново-подзолистой почвы до глубины 80 см, и давление влаги понижается с предельных значений (80-90 кПа) лишь до его критических величин. Градиент давления (потенциала) направлен сверху вниз, т.е. его значения выше в верхних слоях почвы, менее влажных по сравнению с более влажными нижними слоями. В засушливый период, длившийся около полутора месяцев, значения потенциала влаги, даже в нижних слоях (70-80 см)

достигли наивысших значений (100 кПа), соответствующих верхнему пределу работы тензиометра.

Таким образом, подчеркнём, что запасы влаги и влагообеспеченность рапса с эспарцетом формируются под воздействием атмосферных осадков и, частично, почвенной верховодки, образующейся периодически на уплотнённых слоях профиля почвы в дождливые периоды вегетационного периода. Почвенно-грунтовые воды в среднемноголетнем аспекте расположены не выше 3 м (от дневной поверхности).

Запасы влаги наиболее динамичны в верхних 0-30 и 0-50 см слоях, и максимально насыщены корнями рапса и эспарцета. Влияние морфогенетических и водно-физических свойств почв катены, второстепенно. Содержание влаги в верхнем слое почвы (0–30 см) к концу засушливого периода понизилось до максимальной гигроскопичности, а в слое до 50 см – до значений, меньших влажности устойчивого завядания растений. По глубине воздействия засушливый период 2014 г. не уступает таковому 1972 и 2010 г.г.

Максимальный суммарный урожай сухой биомассы изучаемых растений практически одинаков на площадках 4 и 3, и составляет 250 г/м^2 , минимальный урожай – на площадке 1 (200 г/м^2) и площадках 2 – 230 г/м^2 .

Градиент давления влаги направлен вверх вниз, т.е. его значения выше в верхних слоях почвы, менее влажных по сравнению с более влажными. В длительный засушливый период его значения, даже в нижних слоях (70–80 см), достигли наивысших величин (100 кПа), соответствующих верхнему пределу работы тензиометра.

3.3. Закономерности водного режима дерново-подзолистой почвы в условиях влажного года.

В соответствии с данными табл. 3.1 вегетационный период 2015 года оказался очень влажным. Сумма осадков за вегетационные периоды 2015 и 2016 г.г. (соответственно 434 и 400 мм) значительно превышает среднемноголетнюю сумму (323.4 мм).

Таблица 3.1. Сумма атмосферных осадков по месяцам за 2014–2016 г.г. Автоматическая метеостанция Зеленоградского стационара Почвенного института.

Месяцы, год	Сумма осадков, мм по годам		
	2014 г	2015 г	2016 г
Январь		35,2	40,0
Февраль		27,6	44,0
Март		9,2	28,0
Апрель		70,4	31,2
Май		114,4	49,2
Июнь		76,2	51,4
Июль	2,4*	100,2	87,2
Август	98,2	35,4	127,4
Сентябрь	29,4	37,4	53,8
Октябрь	31,4	25,2	41,2
Ноябрь	13,4	11,2	11,8
Декабрь	30,8	42,2	0
Сумма за холодный период	75,6*	221,0	196,2
Сумма за вегетационный период	130,0*	363,6	369,0
Сумма за год	205,6*	584,6	565,2

* – автоматическая метеостанция установлена 24 июня 2014 года.

Особенно 2015 г. дождливыми были май (114.4 мм) и июль (100.2 мм); апрель и июнь – на уровне среднемноголетней нормы. Август оказался засушливым, однако июльских запасов влаги, видимо, было достаточно для формирования сравнительно высокого урожая многолетних трав. Урожай трав в верхней части основного опытного поля составил (при влажности 36 %) 34.3 ц/га, а в нижней пониженной части – 36.0 ц/га (при той же влажности). Урожай дикорастущих трав в варианте «Залежь» значительно ниже (по сравнению с многолетними травами опытного поля) -22.2 ц/га.

Максимальная температура воздуха (табл. 4.1 приложение) достигала иногда 28-29⁰С, находясь в летние месяцы на уровне среднемноголетних значений, в пределах 17 - 23⁰С. Суммарное испарение изменяется в пределах от 0.4 мм в апреле до 4.0-5.0 мм в июне и июле, что характеризует такие

кратковременные периоды, как засушливые, более свойственные условиям степной зоны. Таких кратковременных (одни – двое суток) периодов было совсем немного, в большинстве же случаев суммарное испарение составляло величины в интервале 1.5-2.5 мм, что свойственно среднемноголетним условиям южнотаежной подзоны лесной зоны. Скорость ветра – от 0.8 до 3.2 м/с.

Результаты материалов в 2015 г. на 4-х площадках (вариантах) сильно переувлажнены, и поэтому динамику запасов влаги лишь кратко представлены на рис. 4.1 – 4.4 приложения и табл. 4.2 приложения. При этом, запасы влаги в 2016 году, хотя и вегетационный период, также был влажным, но всё-таки изложне переувлажнён. Поэтому запасы влаги будут проанализованы более подробно рассмотрены материалы за 2016 год.

Анализ запасы влаги в отдельных слоях почвы свидетельствует о том, что они в аналогичных слоях различных вариантов (опытных площадок), различаясь по величине, всё же аналогичны по характеру динамик. Максимальное содержание влаги, вполне естественно, наблюдается в слоях 0-100 см, а минимальное – в слоях 0-30 см (рис. 4.1-4.2, табл. 4.2 приложения). Почвенные слои 0-30 и 0-50 см, является слоями наиболее активного и интенсивного влагооборота большинства зерновых, кормовых, овощных культур и многолетних трав. Поэтому им придается наибольшее значение (при анализе материала) по сравнению с другими почвенными слоями.

Содержание влаги в слое 0-30 см почвы по вариантам и во временном аспекте характеризуется некоторыми существенными особенностями. В среднем за период наблюдений (12 мая – 1 октября) запасы влаги в слое 0-30 см изменялись в узких пределах: 71 - 58 мм, 81 - 61 мм, 72 - 59 мм и 71 - 56 мм соответственно по площадкам 1, 2, 3 и 4. В трех последних площадках предел изменений сузился до 13 - 15 мм. Некоторое различие морфогенетических и водно-физических свойств почв площадок, расположенных на различных позициях катены, в значительной мере значительно нивелируются.

Коэффициент детерминации (r) связи запасов влаги между различными вариантами (почвенными площадками 1- 4) значимы (табл. 3.2). В большинстве случаев связи весьма значительны (0.97 - 0.61), меньше случаев - заметно ниже (0.52-0.43), но связи также значимы.

Действующие запасы влаги, сравнение с запасами наименьшей влагоёмкости (табл. 3.3), показывает, что влагообеспеченность верхнего самого корнеобитаемого слоя почвы находится в пределах нижнего предела оптимального увлажнения почвы (0.7 - 0.6 НВ), несущественно различаясь по вариантам (площадкам).

Отметим, что по материалам 2014 года запасы влаги во влажные периоды вегетации (как отмечали выше) довольно заметно различались по вариантам, особенно в засушливый период, длившийся около полутора месяцев, когда влагообеспеченность уменьшалась до 30% НВ. В 2015 год вегетационный период по условиям атмосферного увлажнения значительно более влажный. И, что более существенно, – это отсутствие длительных засух и довольно частое, сравнительно равномерное во времени, выпадение осадков. Почвенно-грунтовые воды, вскрываемые в 2014 году во влажные кратковременные периоды, в пониженных элементах рельефа катены на глубинах 40-60 см, в текущем году вскрытие верховодки не происходило.

Грунтовые воды постоянно находятся на уровне, соответствующих ниже трёх метров. Всё это, по-видимому, и обусловило довольно близкие значения влагообеспеченности различных частей катены.

Анализ динамики давления влаги выполнен по показаниям стационарных тензиметров, установленных на площадках 1, 3 и 4 в слоях почвы 20-30 и 50-60 см. Дополнительно потенциал определены переносным тензиометром в слоях 0-10 и 10-20 см на площадках 1, 3 и 4, а также в слоях 0-10, 10-20 см на площадке 2.

Таблица 3.2. Коэффициент детерминации (r^2) связи запасов влаги между различными вариантами (площадками)

Дата	Взаимосвязь запасов влаги между различными вариантами (площадками)											
	Площадка 1↔2		Площадка 1↔3		Площадка 1↔4		Площадка 2↔3		Площадка 2↔4		Площадка 3↔4	
	Уравнение	г	Уравнение	г	Уравнение	г	Уравнение	г	Уравнение	г	Уравнение	г
20.06.14	$y=11.767+0.564*x$	0.4	$y=-9.404+1.6*x$	0.78	$y=13.638+0.549*x$	0.6	$y=-11.034+1.585*x$	0.61	$y=9.609+0.681*x$	0.73	$y=17.325+0.328*x$	0.7
01.07.14	$y=14.305+0.46*x$	0.14	$y=-6.75+1.372*x$	0.73	$y=-7.197+1.436*x$	0.66	$y=4.006+0.844*x$	0.43	$y=0.331+1.033*x$	0.53	$y=-0.275+1.053*x$	0.9
10.07.14	$y=-3.928+1.235*x$	0.96	$y=-1.519+1.182*x$	0.92	$y=7.628+0.844*x$	0.88	$y=2.025+0.966*x$	0.98	$y=9.904+0.7*x$	0.96	$y=8.541+0.72*x$	0.97
21.07.14	$y=4.177+0.693*x$	0.8	$y=-0.845+1.33*x$	0.86	$y=8.066+0.56*x$	0.77	$y=-6.991+1.771*x$	0.92	$y=4.958+0.787*x$	0.91	$y=8.614+0.409*x$	0.84
01.08.14	$y=2.872+0.775*x$	0.86	$y=12.372+0.618*x$	0.5	$y=6.931+0.638*x$	0.7	$y=8.706+0.9*x$	0.75	$y=4.731+0.811*x$	0.79	$y=-1.845+0.84*x$	0.91
09.09.14	$y=2.508+1.016*x$	0.29	$y=8.913+0.79*x$	0.25	$y=10.067+0.707*x$	0.62	$y=19.741+0.277*x$	0.15	$y=18.97+0.28*x$	0.36	$y=15.988+0.373*x$	0.54
12.10.14	$y=1.732+0.99*x$	0.43	$y=3.225+1.043*x$	0.53	$y=-0.086+1.193*x$	0.43	$y=5.598+0.862*x$	0.82	$y=4.335+0.932*x$	0.65	$y=3.78+0.836*x$	0.44
10.05.16	$y=13.029+0.722*x$	0.55	$y=19.112+0.483*x$	0.85	$y=17.423+0.541*x$	0.38	$y=18.656+0.457*x$	0.7	$y=21.223+0.41*x$	0.5	$y=-0.984+1.038*x$	0.38
27.06.16	$y=4.195+0.971*x$	0.52										
05.07.16	$y=9.761+0.668*x$	0.78	$y=11.796+0.535*x$	0.73	$y=12.447+0.653*x$	0.8	$y=9.946+0.616*x$	0.56	$y=3.917+0.946*x$	0.96	$y=7.17+0.914*x$	0.61
11.08.16	$y=19.678+0.406*x$	0.36	$y=9.455+0.651*x$	0.75	$y=7.818+0.769*x$	0.75	$y=2.28+0.866*x$	0.61	$y=-3.766+1.117*x$	0.73	$y=-2.193+1.143*x$	0.94
31.08.16	$y=11.39+0.724*x$	0.53										
14.09.16	$y=18.134+0.451*x$	0.75	$y=5.91+0.779*x$	0.76	$y=12.036+0.647*x$	0.43	$y=-9.091+1.285*x$	0.56	$y=-8.858+1.296*x$	0.47	$y=26.568+0.321*x$	0.09

Таблица 3.3. Запасы влаги в почвенных слоях, равные наименьшей влагоемкости (НВ) и 70 % НВ.

Запасы влаги (мм), соответствующие НВ в слоях почвы, см			
0-30	0-50	50-100	0-100
105.2	173.3	156.2	329.5
Запасы влаги (мм), соответствующие 0.70% НВ в слоях почвы, см			
0-30	0-50	50-100	0-100
73.6	121.3	109.3	230.6

Динамика значений давления влаги во временном аспекте достаточно полно подтверждает результаты анализа содержания влаги. Величина его, как в верхнем (20-30 см), так и в нижерасположенном слое почвы (50-60 см), характеризуется сравнительно невысокими значениями в течение всего вегетационного периода (табл. 3.4; рис. 4.5 и 4.6 приложения).

Так величины давления влаги, согласно данным табл.3.4 в слое 0 - 10 см (площадка 1) на уровне 27 - 36 кПа, что характеризует содержание влаги равной наименьшей влагоемкостью (30–33 кПа). Заметно ниже (21 - 26 кПа и 20-28 кПа) значения давления в этом слое наблюдаются на площадках 2 и 3, расположенных в пониженных формах рельефа (бессточные замкнутые понижения). Примерно такие же значения давления наблюдаются в этом же слое (0-10 см) и на площадке 4, расположенной в конце опытного поля и тоже в пониженном месте. В периоды с высоким содержанием влаги потенциал здесь характеризовался более низкими значениями по сравнению с площадкой 1 (верхняя часть катены).

Вниз по профилю почвы потери влаги в связи с уменьшением суммарного испарения сокращаются, содержание влаги возрастает, и значение давления понижается.

Таблица 3.4. Динамика давления (потенциала) влаги в дерново-подзолистой почве (основное опытное поле) за период с 12 мая по 1 октября 2015 г.

Дата Набл.	Площадка №1				Площадка №2		Площадка №3				Площадка №4			
	0-10	10-20	20-30	50-60	0-10	10-20	0-10	10-20	20-30	50-60	0-10	10-20	20-30	50-60
12.05.2015	36	32	29	27	25	21	24	21	24	25	26	26	25	24
18.05.2015	-	-	26	24	-	-	-	-	23	21	-	-	24	26
27.05.2015	34	33	27	24	21	25	23	23	24	23	26	25	26	26
04.06.2015	-	-	27	23	-	-	-	-			-	-		
11.06.2015	37	34	28	23	27	23	28	25	25	25	28	27	26	24
23.06.2015	-	-	26	24	-	-	-	-	22	23	-	-	26	25
25.06.2015	39	35	29	27	26	24	30	25	24	24	31	30	27	26
03.07.2015	-	-		26	-	-	-	-	23	26	-	-	25	24
09.07.2015	27	24	22	21	19	17	20	21	20	20	22	23	23	22
15.07.2015	-	-	27	25	-	-	-	-		23	-	-	26	23
27.07.2015	42	40	34	31	29	26	32	28	27	27	30	28	27	24
03.08.2015	-	-	36	30	-	-	-	-	28	27	-	-	24	21
06.08.2015	33	31	29	30	24	24	23	25	25	24	25	23	22	20
13.08.2015														
20.08.2015	37	36	28	28	25	22	24	25	24	26	25	23	21	20
24.08.2015	33	34	33	29	25	23	22	28	26	26	23	21	20	20
16.09.2015	36	35	30	30	26	22	24	26	24	23	24	22	20	20
01.10.2015	44	38	33	30	23	23	28	30	27	30	25	26	23	22

С другой стороны, с глубиной почвенного профиля гранулометрический состав несколько утяжеляется: от легкого/среднего до среднего/тяжелого. Это обстоятельство обычно приводит к возрастанию давления влаги по сравнению с более легким гранулометрическим составом при одинаковой влажности. Совокупное воздействие этих двух факторов проявляется в величинах давления более глубоких слоев почвы. Так, в слоях 20-30 и 50-60 см наблюдались значения давления в следующих интервалах: 22-36 и 26-31 кПа, 20-28 и 20-30 кПа, 20-27 и 20-26 кПа соответственно на площадках 1, 3 и 4.

В соответствии с приведенными данными (табл. 3.4) водоудерживающие силы в верхнем (0-20 см) слое в связи с довольно частыми дождями и периодическим переувлажнением этого слоя почвы, невелики, несколько ниже значений потенциала, характеризующего величину НВ. Нижнюю часть контролируемой толщи почвы (50-60 см) характеризуют величины давления, часто достигающие значений 26-31 кПа. Это соответствует, в целом, содержанию влаги, несколько меньшей наименьшей влагоемкости. Обращает внимание и на то обстоятельство, что обводненность верхнего слоя верхней части катены, во влажный год приближается по влагообеспеченности к вариантам пониженных форм рельефа.

То же самое можно сказать и то, что о нижней части почвенных профилей всех четырех площадок почвенной катены, во влажный год приближаются по влагообеспеченности к вариантам пониженных форм рельефа. Особенности запасов влаги и водоудерживающие силы вполне подтверждают и материалы исследований в 2016 году. Общее представление о напряженности показателей состояния атмосферы в 2016 году можно получить из информации табл. 3.5 (осадки).

Таблица 3.5. Осадки (по пентадам) за январь – сентябрь 2016. (автоматическая метеостанция стационара Зеленоградский).

Январь		Февраль		Март		Апрель		Май		Июнь		Июль		Август	
01-05	0	01-05	16,4	01-05	22,6	01-05	11,8	01-05	2,2	01-05	11,6	01-05	13,6	01-05	15
06-10	0	06-10	0,4	06-10	3	06-10	5,4	06-10	0	06-10	16,4	06-10	23,8	06-10	19,6

11-15	0	11-15	0,8	11-15	1,2	11-15	4,8	11-15	2	11-15	19,4	11-15	19,4	11-15	48,2
16-20	0	16-20	13,6	16-20	0,6	16-20	5,8	16-20	14,6	16-20	2	16-20	15,6	16-20	22,8
21-25	0	21-25	6	21-25	0,6	21-25	1,2	21-25	30,4	21-25	2	21-25	7,4	21-25	15,6
26-31	40	26-29		26-31	0	26-30		26-31	0	26-30		26-31	7,4	26-30	
Сумма осадков за месяц	40		44		28		31,2		49,2		51,4		87,2		122,4
Сентябрь															
01-05	10,4														
06-10	9,6														
11-15	3,2														
16-20	11,2														
21-25	17,6														
26-31	1,8														
Сумма осадков за месяц	53,8														

В соответствии с данными табл. 3.5 весна и, особенно лето 2016 г., были очень тёплыми и влажными. Осадки в вегетационный период выпадали крайне неравномерно. Так, апрель (31.2 мм) является «сухим». В мае они выпадали в основном в 4 и 5 пентады. Суммарная величина осадков в мае и июне составила соответственно 49 мм и 51 мм при среднемноголетних нормах 54 и 59 мм. Зато в июле и августе суммы осадков превысили среднемноголетние величины: соответственно 87 и 124 мм при норме за эти месяцы – около 80 мм. Сложная атмосферная обстановка весьма заметно повлияла и на динамику запасов влаги, в результате чего во влажный в целом вегетационный период, наблюдаются отдельные периоды с заметным дефицитом влаги в верхнем корнеобитаемом слое почвы.

Рассмотрим динамику запасов влаги по площадкам и глубинам почвенного профиля (рис 3.6 - 3.9 и табл.3.6).

Таблица 3.6. Запасы влаги (W , мм) в слоях почвы опытных площадок 2016 г.

Дата	Запасы влаги (W , мм) в слоях почвы опытных площадок															
	Площадка 1				Площадка 2				Площадка 3				Площадка 4			
	0-30 см	0-50 см	50-100 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	50-100 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	50-100 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	50-100 см	0-100 см
10.05.	103,	171,	184,	355,	111,	183,	201,	384,	106,	177,	185,	362,	111,	179,	187,	366,

2016	87	07	75	82	60	41	56	97	58	59	39	98	33	35	55	90
26.05.2016	132,68	211,93	223,31	435,24	139,22	225,76	221,15	446,91	142,58	232,40	203,87	436,27	140,90	236,49	164,09	400,58
14.06.2016	112,00	177,20	180,40	357,60	113,90	185,30	185,90	371,20	127,10	203,20	193,20	396,40	125,70	197,00	199,10	396,10
27.06.2016	69,70	121,40	148,80	270,20	75,40	142,30	161,90	304,20								
05.07.2016	88,60	150,00	185,40	335,40	91,10	149,20	172,50	321,70	80,00	138,60	158,90	297,50	96,00	160,20	183,40	343,60
21.07.2016	108,10	172,30	186,20	358,50	106,20	166,00	173,80	339,80	97,50	153,60	155,30	308,90	102,60	162,10	156,50	318,60
11.08.2016	86,10	142,30	186,90	329,20	87,90	152,50	177,80	330,30	84,20	139,70	169,30	309,00	87,00	147,70	183,60	331,30
31.08.2016	110,00	178,50	197,90	376,40	119,00	188,70	197,60	386,30								
14.09.2016	129,74	205,51	208,60	414,12	114,08	183,51	184,53	368,04	123,52	194,37	187,54	381,90	115,68	186,22	202,13	388,35

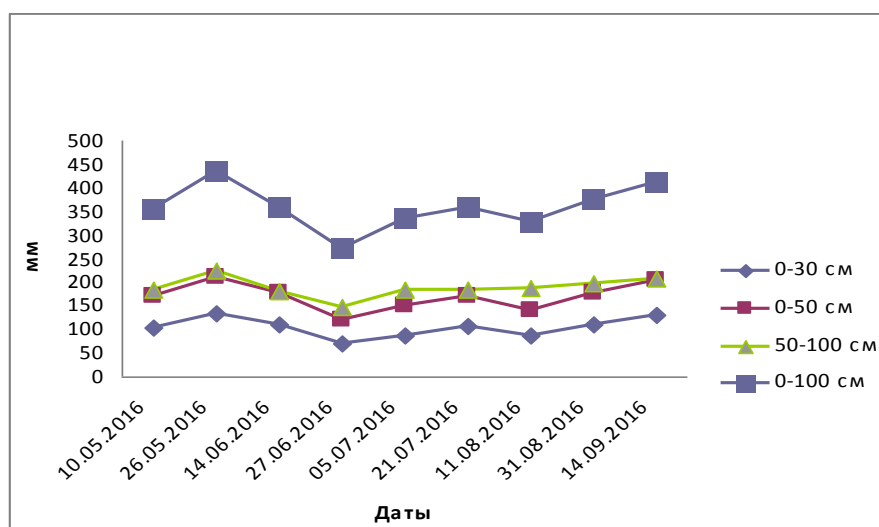


Рис.3.6. Динамика запасов влаги в различных слоях дерново-подзолистой почвы. Площадка № 1.

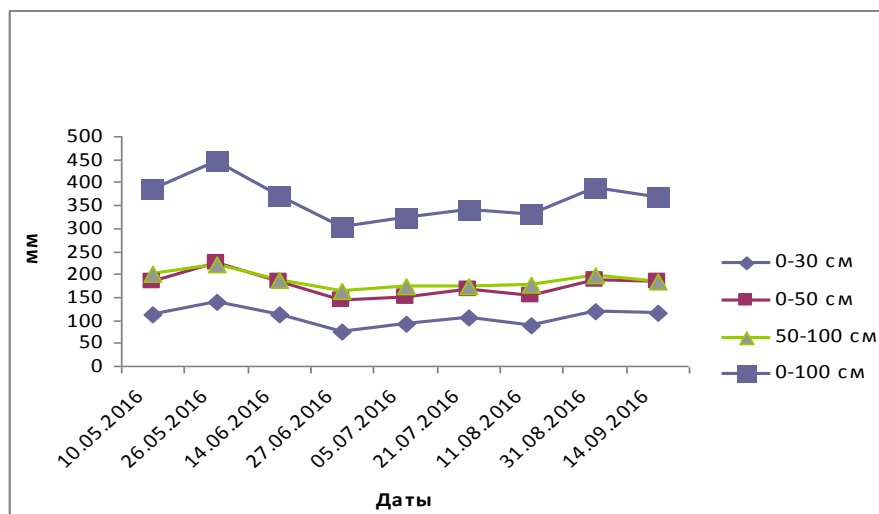


Рис. 3.7. Динамика запасов влаги в различных слоях дерново-подзолистой почвы. Площадка № 2.

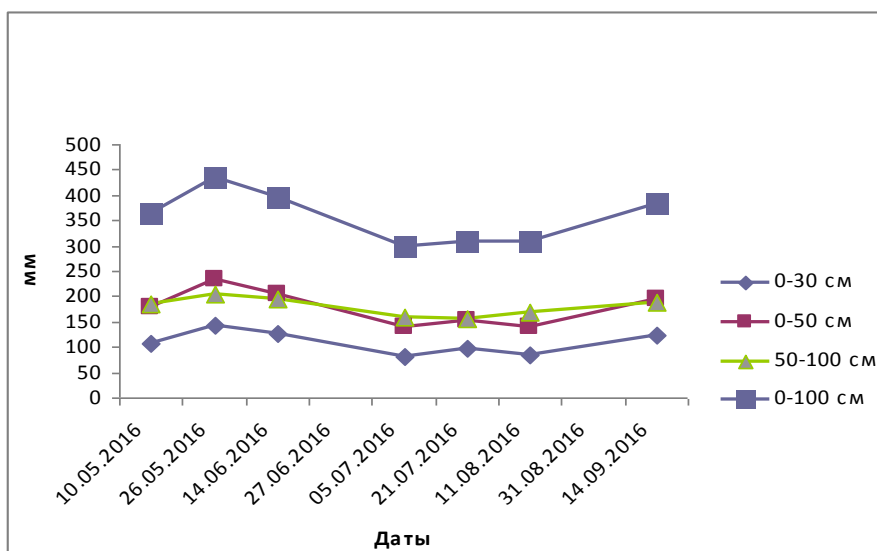


Рис. 3.8. Динамика запасов влаги в различных слоях дерново-подзолистой почвы. Площадка № 3.

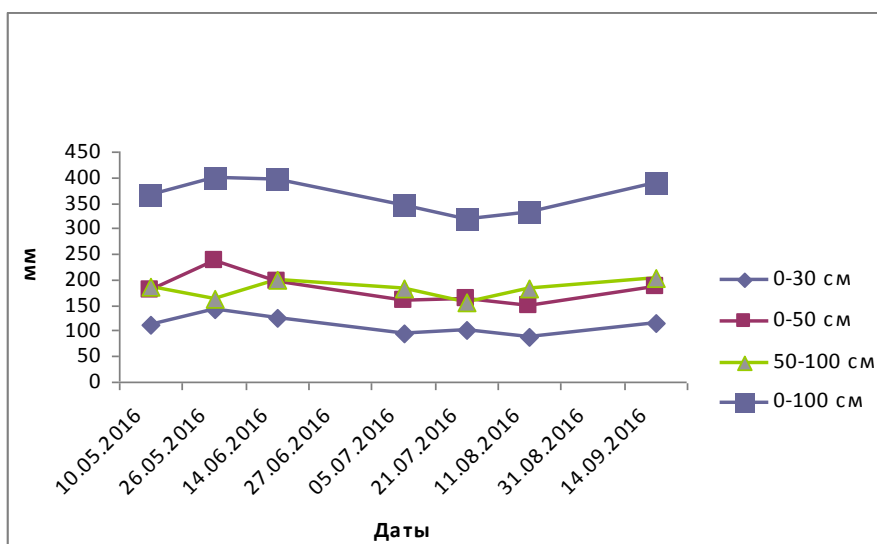


Рис. 3.9. Динамика запасов влаги в различных слоях дерново-подзолистой почвы. Площадка № 4.

Максимальные запасы влаги (рис. 3.6-3.9 и табл. 3.6) характеризуются в слоях 0-100, а минимальные – в 0-30 см. В слоях 0-50 и 50-100 см также остаются достаточно близкими запасами влаги: 171 и 183 мм (пл.1), 183 и 201 мм (пл.2), 177 и 185 мм (пл.3) и 179 и 187 мм (пл.4) соответственно на начало наблюдений (10.05.16 г). То же самое можно сказать и о близких величинах запасов влаги и в конце наблюдений: 205 и 208 мм (пл.1), 183 и 184 мм (пл. 2), 194 и 187 мм (пл.3) и 186 и 202 мм (пл.4). Можно говорить также и о том, что максимальные различия в анализируемых величинах (в абсолютном

большинстве случаев) не превышает 27-30 мм. И только в одном случае (26.05.16) оно достигает 71 мм. Это явление можно достаточно правдоподобно объяснить высокими запасами влаги в рассматриваемых слоях даже, несмотря на то, что нижняя толща почвы (50-100 см) значительно тяжелее по гранулометрическому составу верхней толщи (0-50 см). И это вполне понятно, поскольку лето и весна выдались очень тёплыми и влажными.

Осадки выпадали часто и нередко весьма значительными нормами (табл. 3.6). Однако, как отмечали выше, выпадение осадков было крайне неравномерным (спонтанным) во времени, влажного лета. При этом наблюдаются периоды с некоторым (чаще всего – небольшим) дефицитом почвенной влаги в отдельных слоях почвенного профиля дерново-подзолистой почвы по сравнению с запасами, соответствующими НВ. Запасы влаги в слоях почвы 0-30, 50-100 и 0-100 см с запасами влаги, соответствуют наименьшей влагоёмкости (табл. 5), а также – и соответствующей среднемноголетней величине.

Анализ экспериментальных данных табл. 3.6 и рис. 3.6-3.9 свидетельствует о наличии в отдельных слоях и в некоторые даты определения запасов влаги составляет заметно меньшие величины наименьшей влагоёмкости. Такое явление наблюдается, например, 27 июня при определении влажности на площадке №1 во всех слоях почвы (0-30, 0-50, 50-100 и 0-100 см). Однако суммы запасов влаги в них (слоях) существенно выше 0.7 НВ – нижней границы оптимального увлажнения почвы. Аналогичная ситуация наблюдается с запасами влаги во всех указанных выше слоях 5 июля и на площадке №3. В то же время 5 июля на площадках 2 и 4 запасы влаги оказались ниже НВ только в слоях 0-30 и 0-50 см. В остальных же слоях – на уровне значений НВ или несколько превышают их.

Почвенный слой 0-30 см – это слой максимальной концентрации корней травянистой растительности, и в то же время – слой наиболее интенсивного влагооборота. Поэтому запасы влаги в нём имеют решающее значение и для влагообеспеченности культуры, и для формирования её урожая. Интересно

посмотреть насколько различаются запасы влаги в опытных площадках (рис.3.10-3.13).

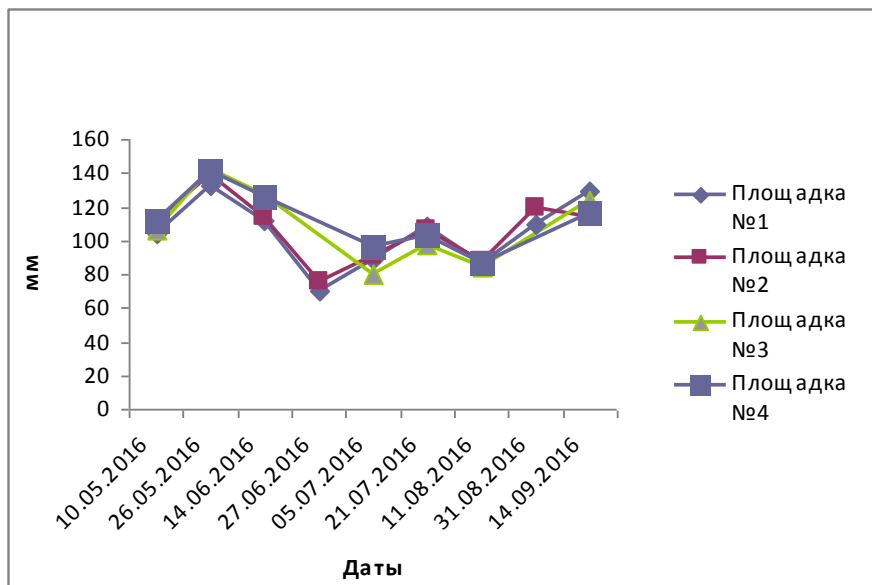


Рис. 3.10. Динамика запасов влаги в слое 0-30 см дерново-подзолистой почвы по вариантам исследования.

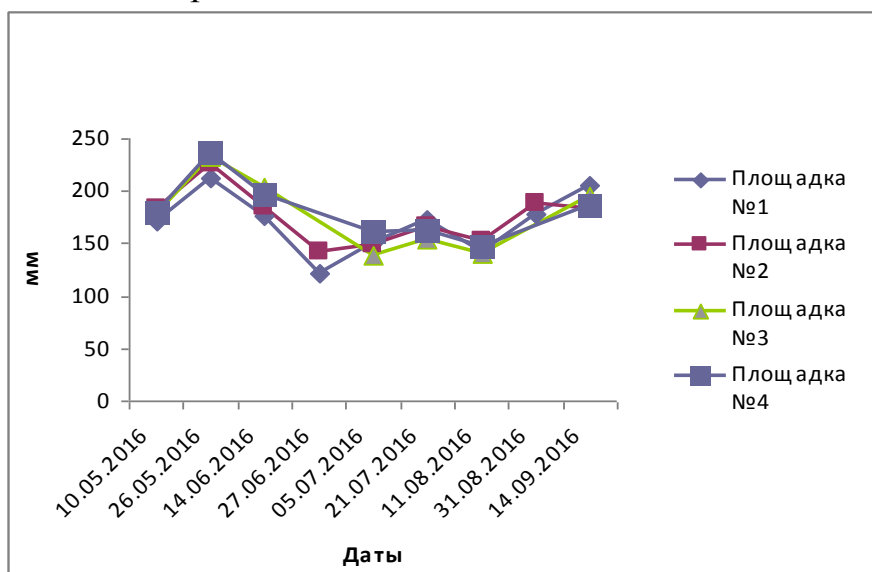


Рис. 3.11. Динамика запасов влаги в слое 0-50 см дерново-подзолистой почвы по вариантам исследования.

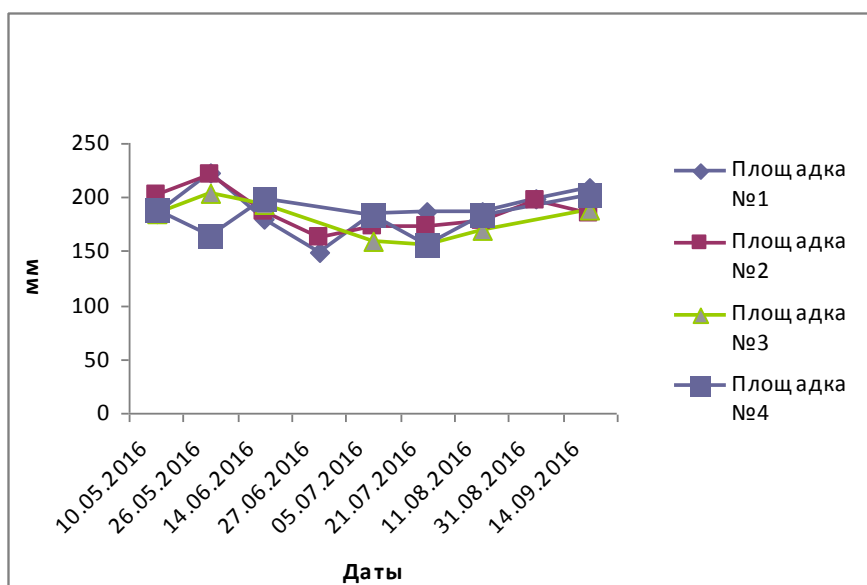


Рис.3.12. Динамика запасов влаги в слое 50-100 см дерново-подзолистой почвы по вариантам исследования.

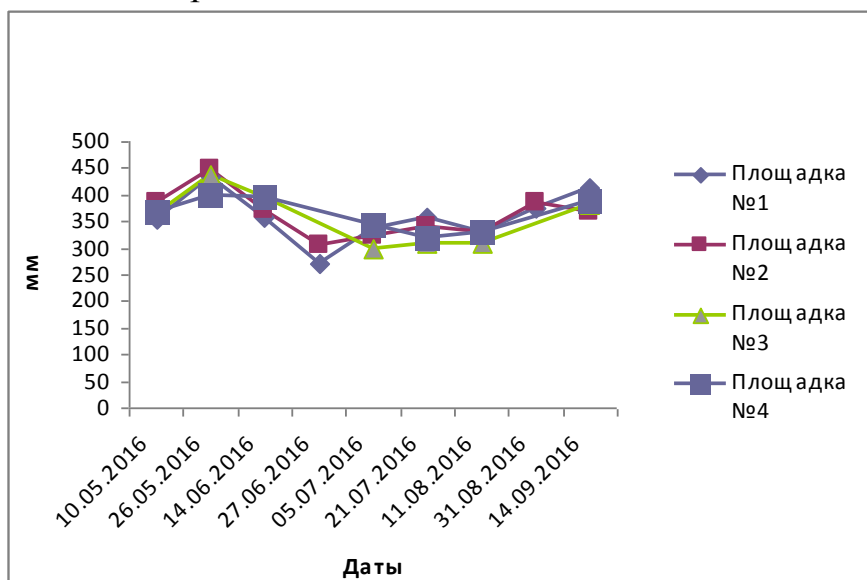


Рис. 3.13. Динамика запасов влаги в слое 0-100 см дерново-подзолистой почвы по вариантам исследования.

Запасы влаги в слое 0-30 см всех 4-х площадок различаются между собой в большинстве случаев незначительно. Невелики эти различия и в слоях 0-50, 50-100 и 0-100 см. Таким образом, подчеркнём, что вегетационный период 2015 года оказался очень влажным и даже - сырым (424мм), а 2016 г. – тёплым, очень влажным (400 мм) и значительно превышают среднемноголетнюю сумму (323.4 мм). Максимальная температура воздуха в 2015 г. достигала 28-29⁰С, находясь в летние месяцы чаще всего на уровне среднемноголетних значений, в

пределах 17 – 23⁰С. Суммарное испарение – в пределах от 0.4 мм в апреле до 4.0–5.0 мм в июне и июле, что характеризует такие кратковременные периоды, как засушливые, более свойственные условиям степной зоны.

Запасы влаги в отдельных слоях почвы различных вариантов, различаясь по величине, аналогичны по характеру динамик. Почвенные слои 0-30 и 0-50 см, является слоями наиболее активного и интенсивного влагооборота большинства зерновых, кормовых, овощных культур и многолетних трав. В среднем за период наблюдений запасы влаги в слое 0- 30 см изменялись в узких пределах: 71 -58 мм, 81 - 61 мм, 72 – 59 мм и 71 - 56 мм соответственно по площадкам 1, 2, 3 и 4, то есть – в пределах 13 - 20 мм.

Урожай трав в верхней части основного опытного поля составил (при влажности 36 %) 34.3 ц/га, а в нижней пониженной части – 36,0 ц/га (при той же влажности). Урожай дикорастущих трав в варианте «Залежь» значительно ниже (по сравнению с многолетними травами опытного поля) –22.2 ц/га.

3.4. Заключение

Запасы влаги и влагообеспеченность дерново-подзолистой суглинистой почвы формируются под воздействием атмосферных осадков и частично почвенной верховодки, образующейся периодически на уплотненных слоях профиля в дождливые периоды вегетационного периода. Запасы влаги наиболее динамичны в верхних 0-30 и 0-50 см слоях, максимально насыщенных корнями рапса, эспарцета и кукурузы. Запасов влаги по вариантам объясняются различным расположением в рельефе почвенной склона (катены), которое особенно заметно проявляется в длительные засушливые периоды. Влияние морфогенетических и водно-физических свойств разновидностей почв, обусловленных проявлением процесса гидроморфизма, второстепенно.

Содержание влаги в верхнем слое почвы (0-30 см) к концу засушливого периода (51 суток) понизилось до максимальной гигроскопичности, а в слое до 50 см – до значений, меньших влажности устойчивого завядания растений. По глубине воздействия засушливый период 2014 г. не уступает таковому 1972 и

2010 гг. Сильное иссушение почвой больше свойственно сухостепной, чем лесной зоне.

Вегетационный период 2015 года оказался достаточно влажным (434 мм), а 2016 г. – тёплым и очень влажным (400 мм), и значительно превышает среднемноголетнюю сумму (323.4 мм). Максимальная температура воздуха в 2015 г. достигала 28-29⁰С, находясь в летние месяцы чаще всего на уровне среднемноголетних значений, в пределах 17-23⁰С. Суммарное испарение изменялось в пределах от 0.4 мм в апреле до 4.0 - 5.0 мм в июне и июле, что характеризует такие кратковременные периоды, как засушливые.

Нижнюю часть толщи почвы до 60 см характеризуют более высокие величины потенциала, часто достигающие значений 30-33 кПа, что соответствует, в целом, содержанию влаги, примерно наименьшей влагоемкости. Обводненность корнеобитаемого слоя верхней части катены, во влажный год приближается по влагообеспеченности к вариантам пониженных форм рельефа.

Оптимальные (критические) величины давления влаги, установлены применительно к исследованным культурам: рапс с эспарцетом 15-20 кПа (посев-кущение) и 30-35 кПа (от смыкания и до полного окончания); эспарцет – 15-20 кПа (от смыкания и до полного окончания) и 25-30 кПа (от смыкания и до полного окончания) и кукурузы (на силос) – 25-30 кПа (до трубкования) и 30-40 кПа (цветение - вызревание зерна) кПа. Доступность почвенной влаги является величиной, определяющая ресурсы тепла и влаги, а также потенциальные возможности водно-физических свойств и структуры самой почвы.

ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ, ПОТЕРЬ И ВОЗВРАТ ВЛАГИ И ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ВО ВНУТРИПОЧВЕННОМ ВЛАГООБМЕНЕ

4.1. Введение

Соотношение инфильтрации (I) и испарения грунтовых вод (K) в дерново-подзолистой почве, как показано ранее нами, составляет значения в пределах

0.3-0.6 для средnezасушливых, 2.5-2.8 среднемноголетних и 2.6-2.9 средневлажных условий атмосферного увлажнения. Потери калия, кальция, магния, цинка и марганца под злаковым травостоем составил соответственно 0.95, 89.0, 37.7, 1.42 и 1.40 кг/га за год. С капиллярным подпитыванием возвращается в корнеобитаемый слой дерново-подзолистой почвы калия – 0.19 кг/га или 20% от потерь, затем следуют: марганец (16.4% от потерь), кальций (15.0%), цинк (13.4%) и замыкает ряд магний (9.0%).

Минерализация грунтовых вод зависит от сложного взаимодействия солевых растворов, протекающего при вертикальном обмене нисходящих и восходящих потоков влаги и солей от грунтовых вод к поверхностному (корнеобитаемому) слою почвы и обратно. Рассматривая грунтовые воды (ГВ), как возможный источник водоснабжения и минерального питания растений, следует отметить недостаточную изученность этого вопроса, особенно для условий гумидной зоны. Учёт расхода (испарения) ГВ в корнеобитаемый слой почвы и определение доли их в эвапотранспирации позволят не только экономно расходовать поливную воду, но и совместно с орошением обеспечить оптимальные условия влагообеспеченности растений. Это в свою очередь создаст условия для уменьшения фильтрационных потоков из зоны аэрации (ЗА) в ГВ, предотвращения выноса питательных веществ из почвы и загрязнения.

Внутрипочвенный обмен влагой и химическими веществами, обусловленный нисходящим (инфильтрацией – I) и восходящим (испарением грунтовых вод – K) потоками. По мнению многих ученых (Муромцев, 1991; Мажайский, 2002; Жибуртович и др., 2012; Муромцев, Мажайский и др., 2013; Meissner, Rupp, Seeger, Ollesch, Gee, 2010; Weihermüller, Siemens, Deurer, Knoblauch, Rupp, Göttlein, & Pütz, 2007) важнейшим гидрофизическим и гидрохимическим процессом. От соотношения двух разнонаправленных потоков влаги и химических веществ зависят тип водного режима, особенности и интенсивности формирования влаги и химических веществ в почвах, а также их эффективное плодородие. Потери химических веществ с

инфильтрационными потоками влаги из почв, как показали наши исследования, могут быть большими (Муромцев и др., 2005; Семенов и др., 2005) и значительно лучше изучены, чем компенсация этих потерь за счет химических веществ из грунтовых вод. В связи с определенными трудностями экспериментального определения подпитывания грунтовыми водами (ГВ), информация в научной литературе по данной проблеме ограничена и недостаточна для окончательных обобщений.

Материалы экспериментальных исследований получены нами в разные годы с использованием лизиметров: Почвенного института имени В.В.Докучаева (Шишов и др., 2014; Муромцев, Мажайский и др., 2013), конструкции ВСЕГИНГЕО на полигоне Всероссийского института кормов им. В.Р. Вильямса (Семенов и др., 2005) и павильона Мещёрского филиала ВНИИГиМ (Мажайский, 2002; Мажайский и др., 2014; Пыленок и др., 2004). Конструкция лизиметров, методика и технология их использования подробно описаны в работах (Методические рекомендации, 1979; Шишов и др., 2001; Шуравилин и др., 2011).

В полном виде водный баланс расчетного слоя почвы может быть представлен в следующем виде:

$$W_o + W_{oc} + W_{\Gamma} + W_k + W_{\text{пр}} + W_{\text{б}} = E_{\text{исп}} + E_{\text{т}} + W_{\text{ин}} + W_{\text{пс}} + W_{\text{с}} + W_{\text{кз}} \quad (4.1), \quad \text{где}$$

W_o – Запас влаги в почве в начале наблюдения;

$W_{\text{кз}}$ – Запас влаги в почве в конце наблюдения;

W_{oc} – Осадки (+поливы);

W_{Γ} – Приток влаги из грунтовых вод;

W_k – Конденсационная влага;

$W_{\text{пр}}$ – Поверхностный приток;

$W_{\text{б}}$ – Боковой приток;

$E_{\text{исп}}$ – Физическое испарение;

$E_{\text{т}}$ – Транспирация растений;

$W_{\text{ин}}$ – Инфильтрация;

$W_{\text{пс}}$ – Поверхностный сток;

W_c – Боковой сток;

E_c – суммарное испарение ($E_{\text{исп}} + E_T$)

Левая часть уравнения I – приходная, а правая – расходная части водного баланса. В силу того, что $W_k \approx 0$, а $W_{\text{пр}} \approx W_{\text{пс}}$ и $W_b \approx W_c$, в большинстве случаев для практических целей используют уравнение:

$$W_o + O_c + W_r = E_{\text{исп}} + E_T + W_{\text{ин}} + W_k \quad (4.2)$$

Или относительно W_k : $W_k = W_o + O_c + W_r - E_{\text{исп}} - E_T - W_{\text{ин}}$ (4.3)

В уравнении № 4.3 W_r – приход влаги из ГВ или испарение ГВ (J), а $W_{\text{ин}}$ – инфильтрация (K).

Роль параметров внутripочвенного влагообмена лизиметра видна из уравнения водного баланса лизиметра, записанного относительно суммарного испарения:

$$E_c = OC + П + K - I \pm \Delta W \quad (4.4), \text{ где}$$

E_c – суммарное испарение, мм; OC – осадки, мм; $П$ – поливы, мм; K – испарение ГВ, мм; I – инфильтрация, мм; $\pm \Delta W$ – изменение запасов почвенной влаги за расчетный период (от t_1 до t_2), мм.

С гидрологической точки зрения лизиметр представляет собой устройство, в котором заключен элементарный участок зоны аэрации с моделью уровня ГВ (Муромцев, 1991; Мажайский, 2002; Пыленок, 2004; Роде, 2008; Панов, 2011).

На рис. 4.1 представлена схема лизиметрической установки (А) и прибора автоматического регулирования уровня воды в лизиметре (Б), используемая в лизиметрах ВИК им. В.Р.Вильямса и Мещерского филиала ВНИИГиМ.

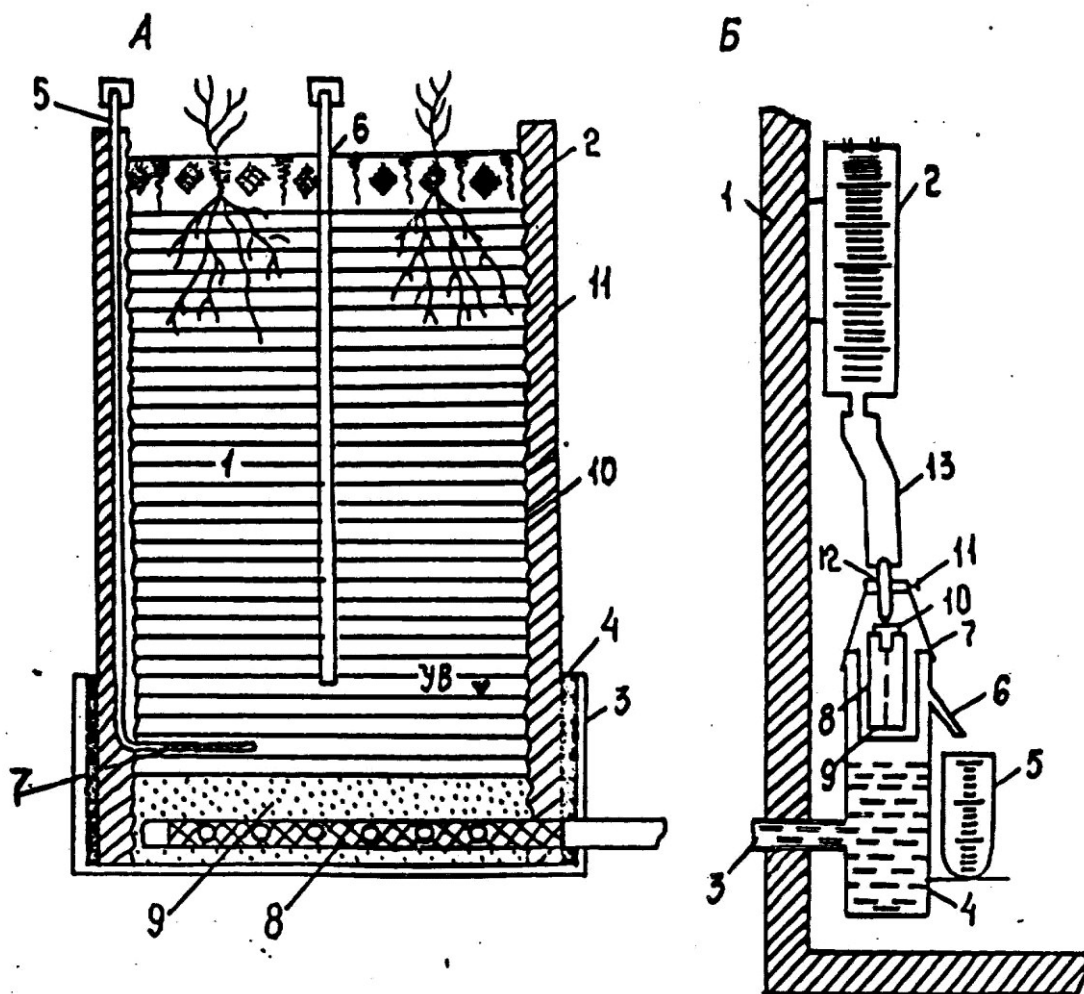


Рис. 4.1. Схема лизиметрической установки (А) и прибора автоматического регулирования уровня воды в лизиметре (Б).

Лизиметрическая установка (А): 1 – монолит почвогрунта ($1 \times 1 \text{ м}^2$); 2 – бетонный заполнитель; 3 – поддон; 4 – заполнитель из битума; 5 – пьезометр; 6 – трубка для наблюдения за влажностью с помощью нейтронного индикатора; 7 – фильтр пьезометра; 8 – трубчатый фильтр с сеткой; 9 – песчаный фильтр; 10 – битумная изоляция на стенке монолита; 11 – кассета.

Прибор автоматического регулирования уровня воды в лизиметре (Б): 1 – стенка наблюдательного павильона; 2 – питающий бачок; 3 – соединительная трубка; 4 – регулирующая трубка; 5 – сливной стакан; 6 – сливная трубка; 7 – каркас поплавковой системы; 8 – поплавок; 9 – ось поплавка; 10 – чашечка поплавка; 11 – запирающий болт крепления пипетки; 12 – пипетка; 13 – шланг.

4.2. Исследование потерь и возврат влаги и химических веществ во внутрипочвенном влагообмене.

Соотношение элементов водного баланса, процессы вымывания и возврата химических элементов в дерново-подзолистой почве рассмотрены с использованием данных, полученных в лизиметрах Всесоюзного института кормов им. В.Р. Вильямса с мощностью почвенного профиля (зоны аэрации – 3А) 130 см; интенсивность и объемы потерь химических веществ в зависимости от мощности почвенного профиля лизиметра и азотных удобрений – с использованием лизиметров глубиной 35 и 70 см. Содержание химических веществ в инфильтратах и грунтовых водах определяли с использованием обычных в агрохимии и химии почв методов (Аринюшкина, 1970).

Морфологическое описание и литологическое строение используемой в исследованиях дерново-подзолистой почвы приведены ниже и представлены на рис. 4.2.

Ранее нами (Шишов и др., 2001) было показано, что роль грунтовых вод в эвапотранспирации и формировании урожая культур может быть весьма значительной. Доля расхода влаги из ГВ в эвапотранспирации разных культур на дерново-подзолистой почве составляет величину порядка 19-38%. В длительные засушливые периоды суммарный расход влаги из зоны аэрации и ГВ может достигать, по нашим данным, 40-50% от суммарного испарения. Степень влияния вида сельскохозяйственной культуры на испарение грунтовых вод также может быть значительна. В условиях, когда УГВ=1.5 м травосмесь с ежой сборной, обладающая большей биомассой, расходует больше ГВ и отличается большим суммарным испарением, чем тимофеечно-овсяничный травостой. В условиях УГВ=2.0 м расходы ГВ и суммарное испарение в обоих вариантах примерно одинаковы (Семенов и др., 2005). Экспериментальные данные, характеризующие содержание, вымывание и возврат химических веществ в почву под злаковым травостоем представлены в табл. 4.1 и 4.2.

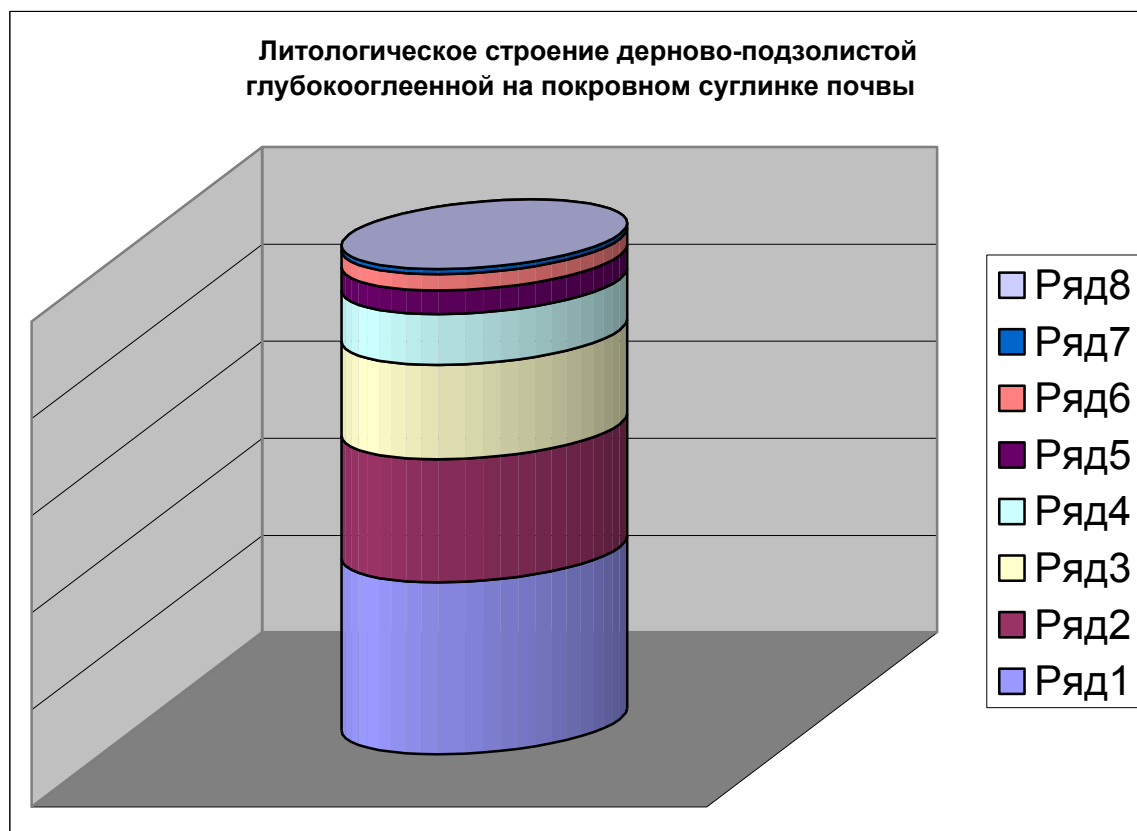


Рис.4.2. Обозначение: ряд 8 – 0 см, ряд 6 – АУ 16 - 20 см, ряд 5 – ЕЛ 20 - 29 см, ряд 4 – ВТ 1 29 - ВТ 2 62 - 115 см, ряд 2 – ВТg 115 -150 см, ряд 1 – Сg 150 - 210 см.

В соответствии с табл. 4.1 максимальное содержание кальция достигает 90.1, а минимальное – 55.0 мг/л. Максимальные и минимальные концентрации некоторых других ионов находятся в пределах: магния – 12.1 и 5.6 мг/л, цинка – 0.081 и 0.007 мг/л и марганца 0.123 и 0.063 мг/л соответственно.

Соотношение объемов потерь (с инфильтрацией) и возврата химических веществ из ГВ при их испарении приведены в табл. 4.2. Соотношение инфильтрации (I) и испарения грунтовых вод (K) составляет (в дерново-подзолистой почве) значения в пределах от 0.3- 0.5 для средnezасушливых условий, 2.6-2.8 для среднемноголетних и 2.5-2.7 для средневлажных условий. Наименьшие значения этих отношений имеют место при средnezасушливых условиях, максимальные – при средневлажных, что отражает реальные особенности протекания процессов инфильтрации и испарения грунтовых вод. (Муромцев и др., 2005).

Таблица 4.1. Содержание химических элементов в инфильтрационном стоке лизиметров (среднее за год).

Содержание химических элементов, мг/л	Концентрация химических элементов, мг/л				
	К	Са	Mg	Zn	Mn
Максимальное	2.6	90.1	12.1	0.081	0.123
Минимальное	0.7	55.0	5.6	0.007	0.063
Среднее	1.4	80.1	8.8	0.053	0.089

В соответствии с приведенными данными максимальное содержание кальция достигает 90.1, минимальное – 55.0 мг/л, магния – 12.1 и 5.6 мг/л соответственно. Максимальные и минимальные концентрации цинка и марганца находятся в пределах: 0.081 и 0.007 мг/л и 0.123 и 0.063 мг/л соответственно.

Таблица 4.2. Вымывание химических веществ и возврат их из грунтовых вод в почву лизиметров мощностью почвенного слоя 130 см.

Период наблюдений	Химические элементы				
	К	Са	Mg	Zn	Mn
Вымывание химических элементов, кг/га					
Вегетационный (V – IX)	0.47	43.0	19.3	0.65	0.65
Осенне-зимний (X – II)	0.30	29.7	11.1	0.44	0.51
Ранневесенний (III – IV)	0.18	16.3	7.3	0.33	0.24
Годовой	0.95	89.0	37.7	1.42	1.40
Возврат химических элементов, кг/га					
Годовой	0.19	14.2	3.4	0.19	0.23
Возврат химических элементов, %					
Годовой	20.0	15.0	9.0	13.4	16.4

Максимальные значения выноса химических элементов, наблюдаются в вегетационный и в осенне-зимний периоды. В годовом цикле больше всего выносятся кальция – 89.0 кг/га. По объему выноса химические элементы образуют убывающий ряд: кальций – магний – цинк – марганец – калий.

С капиллярным подпитыванием возвращается в корнеобитаемый слой дерново-подзолистой почвы калия – 0.19 кг/га или 20% от потерь, затем следуют: марганец (16.4% от потерь), кальций (15.0%), цинк (13.4%) и

замыкает ряд магний (9.0%). Убывающий ряд: К-Mn-Zn-Ca-Mg. Для сравнения укажем, что из аллювиальной суглинистой почвы объем возврата химических веществ из ГВ составляет значительно большие величины (Муромцев, Семенов, 2005): кальция (200-160 кг/га) или 104-77% от потерь, затем следуют: цинк (82-53%), марганец (65-44%) и замыкает ряд магний (54-25%). Различия в объемах возврата химических веществ из аллювиальной почвы в два с лишним раз больше, чем из дерново-подзолистой.

Представляет существенный интерес сравнить их с имеющимися в нашем распоряжении аналогичными данными по другим почвам и регионам. Так, например, весьма впечатляющие результаты поступления солей из ГВ в корнеобитаемый слой ирригационно-гидроморфных почв имеют место в условиях степной зоны Южного Урала (Панов, 2011; Шуравилин и др., 2011). Видно (табл.4.3), что с уменьшением ресурса влагообеспеченности поступление солей возрастает при всех уровнях ГВ. Так, например, при УГВ=1.0 м поступление солей при P=5% составило 6.78 т/га, при P=50% – 9.80 т/га, а при P=95% –13.32. Аналогичным образом эта особенность соблюдается и при других УГВ (1.5 и 2.0 м). При понижении УГВ (от 1.0 до 2.0 м) поступление солей резко уменьшается: при P=5% поступление солей при УГВ=1м составило 6.78 т/га, а при понижении ГВ до 2.0 м оно понизилось до 0.10 т/га.

То же самое можно сказать о накоплении солей и при других уровнях водообеспеченности в пределах от P=5% до P=95%.

Таблица 4.3. Поступление солей (т/га) с капиллярным притоком влаги от грунтовых вод в корнеобитаемый слой ирригационно-гидроморфных почв Южного Урала (среднепогодные данные 1991- 2000 г.г.)

УГВ, м	май	июнь	июль	август	сентябрь	Итого
P=5%						
1.0	1.90	2.00	1.73	1.08	0.07	6.78
1.5	0	0	0.44	0.11	0	0.55
2.0	0	0	0.08	0.02	0	0.10
P=25%						
1.0	2.3	2.16	1.96	1.20	0.49	8.11
1.5	0	0.19	0.52	0.22	0	0.93
2.0	0	0.04	0.10	0.04	0	0.18

P=50%						
1.0	2.60	2.74	2.28	1.40	0.78	9.80
1.5	0	0.44	0.59	0.26	0	1.29
2.0	0	0.09	0.11	0.07	0	0.27
P=75%						
1.0	2.95	2.95	2.52	1.76	1.12	11.30
1.5	0	0.51	0.62	0.44	0.11	1.68
2.0	0	0.10	0.12	0.09	0.02	0.33
P=95%						
1.0	3.53	3.38	2.81	2.23	1.37	13.32
1.5	0	0.84	0.70	0.57	0.25	2.36
2.0	0	0.17	0.14	0.10	0.05	0.46

4.3. Внутрипочвенный влагообмен почвы

Содержание влаги (и химических веществ) в почве и грунтовых водах достаточно полно определяются особенностями внутрипочвенного влагообмена. Внутрипочвенный влагообмен (Муромцев, 1991; Муромцев, Мажайский и др., 2013) представляет собой обмен влагой и растворенными в ней химическими веществами между отдельными почвенными слоями, почвенно-грунтовой толщей и грунтовыми водами, а также между почвой и прилегающим к ней нижним слоем атмосферы. Внутрипочвенным влагообменом также следует понимать соотношение основных приходных и расходных статей водного баланса. Главными статьями внутрипочвенного влагообмена являются инфильтрация атмосферных осадков в почву и испарение грунтовых вод (поднятие грунтовых вод к фронту испарения).

В качестве объекта исследования использован картофель ранний суперэлитной репродукции сорта «Красавчик» на почве Мещерского филиала ВНИИГиМ. На дерново-подзолистой почве изучали варианты с глубиной лизиметрических вод 70 см (лизиметры № 1,3,5), с глубиной 95 см (лиз. № 2,4,6), с глубиной 120 см (лиз. № 7,9,11) и 145 см (лиз.8,10,12), повторность каждого варианта трехкратная. Уровень лизиметрических (грунтовых) вод во всех вариантах опыта контролировали один раз каждые 2-3 дня в зависимости от интенсивности водообмена. Определение расхода грунтовых вод на испарение (подпитывание) определяли как количество долитой в лизиметр

воды, а инфильтрации - как количество отлитой из лизиметра излишней воды после осадков. Для более точного измерения величин испарения ГВ и инфильтрации следует использовать следующую зависимость, полученную из балансового уравнения, имитированного в лизиметре водоносного горизонта (Пыленок, 2004):

$$\pm q = 10\mu(H_{i-1} - H_i) - h_o + h_c \quad (4.1),$$

где $\pm q$ - инфильтрация (+) или испарение (-) грунтовых вод, мм;

H_{i-1}, H_i - уровень воды в лизиметре, измеренный до регулирования соответственно в начале и конце расчетного периода, см;

$h_o = 10V_o / F$ - слой долитой воды в $(i-1)$ срок наблюдений, мм;

$h_c = 10V_c / F$ - слой слитой воды в (i) срок наблюдений, мм;

V_o, V_c - объем долитой, слитой воды, л;

F - площадь лизиметра, см².

Относительно зоны аэрации инфильтрация будет иметь знак минус, а подпитывание – знак плюс. В марте месяце 2013 г провели снегомерную съемку. Посадка картофеля произведена 7 мая, полные всходы – 3 июня, начало бутонизации – 4 июля, начало цветения – 8 июля, начало увядания ботвы -21 июля.

Результаты наблюдений за инфильтрацией и испарением грунтовых вод приведены на рисунках 4.3 - 4.6.

В условиях, в целом, засушливого вегетационного периода, подпитывание почвы влагой из грунтовых вод абсолютно превалирует над инфильтрацией во всех вариантах (по УГВ) в течение всего периода наблюдений вообще, и особенно в августе (2015-2016 гг.). И это вполне согласуется с представлениями о закономерностях влагообмена, основу

которого составляет соотношение инфильтрации и испарения грунтовых вод. Объемы подпитывания напрямую и, прежде всего, зависят от глубины залегания грунтовых вод. При относительно близком к поверхности почвы их положении, равном 70 и 95 см, подпитывание почвы влагой наблюдается практически в течение всего мая, июня и большей части июля. При этом в варианте с УГВ=70 см – заметно выше, чем в варианте с УГВ=95 см.

Инфильтрация влаги осадков в вариантах с УГВ=70 и 95 см составляет величины 17 и 45 мм соответственно, то есть в условиях большей зоны аэрации, она значительно выше, по сравнению с меньшей зоной аэрации. Аналогичная картина наблюдается в отношении объёмов инфильтрации и испарения в зависимости от УГВ,=120 и 145 см. Соотношение объемов подпитывания и инфильтрации влаги при различных средних уровнях грунтовых вод составили следующие величины: при УГВ=70 см 86 и 17 мм, УГВ=95 см - 97 и 45мм; УГВ=120 см - 28 и 34мм и при УГВ=145 см - 13 и 51 мм. Видно, что подпитывание почвы влагой из грунтовых вод, в целом, снижается с понижением их уровня, а инфильтрация – возрастает.

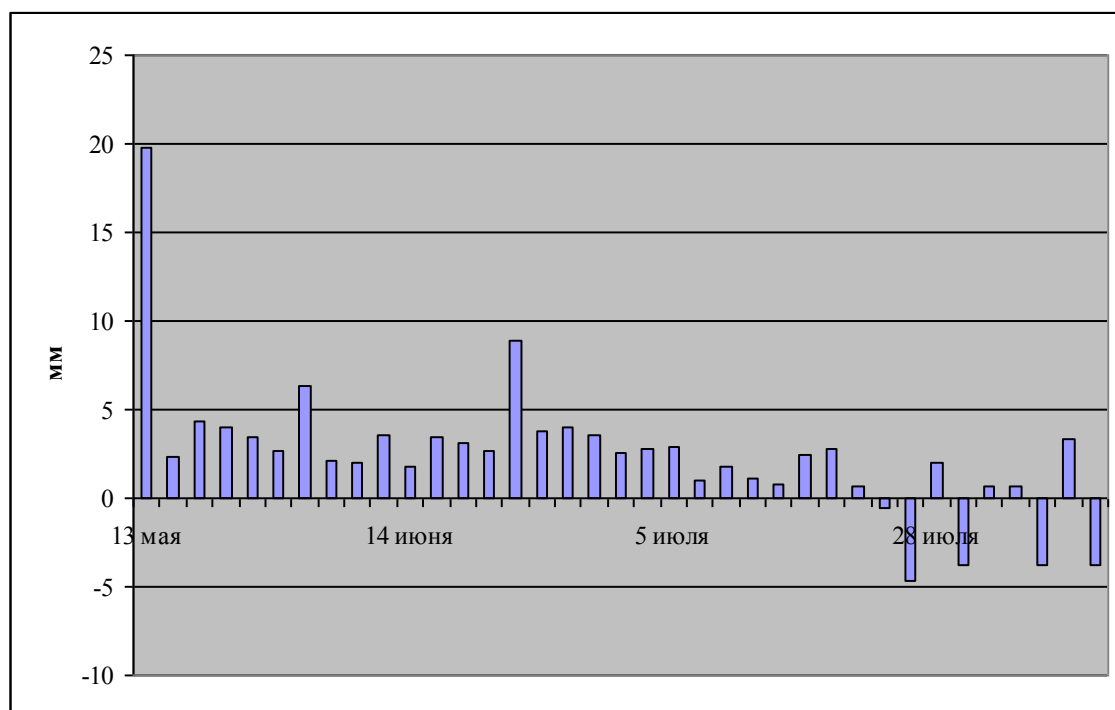


Рис. 4.3. Соотношение подпитывания (+) грунтовыми водами и инфильтрации (-) при среднем вегетационном уровне грунтовых вод 70 см в дерново-подзолистой почве

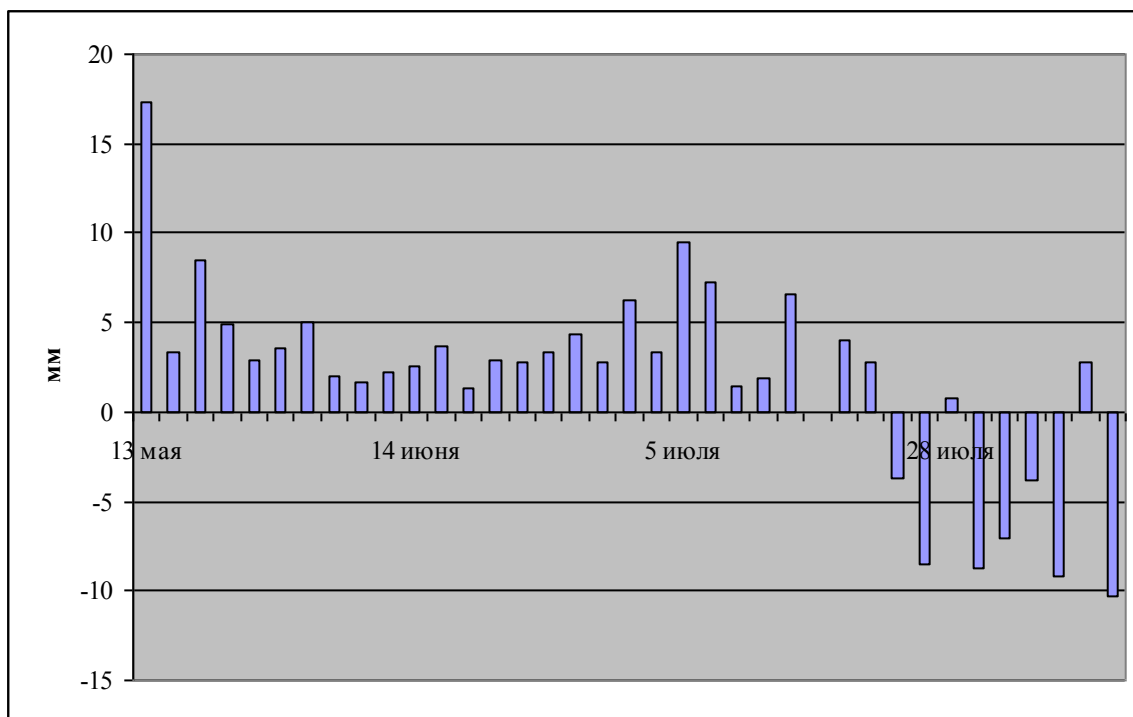


Рис. 4.4. Соотношение подпитывания (+) грунтовыми водами и инфильтрации (-) при среднем вегетационном уровне грунтовых вод 95 см в дерново-подзолистой почве

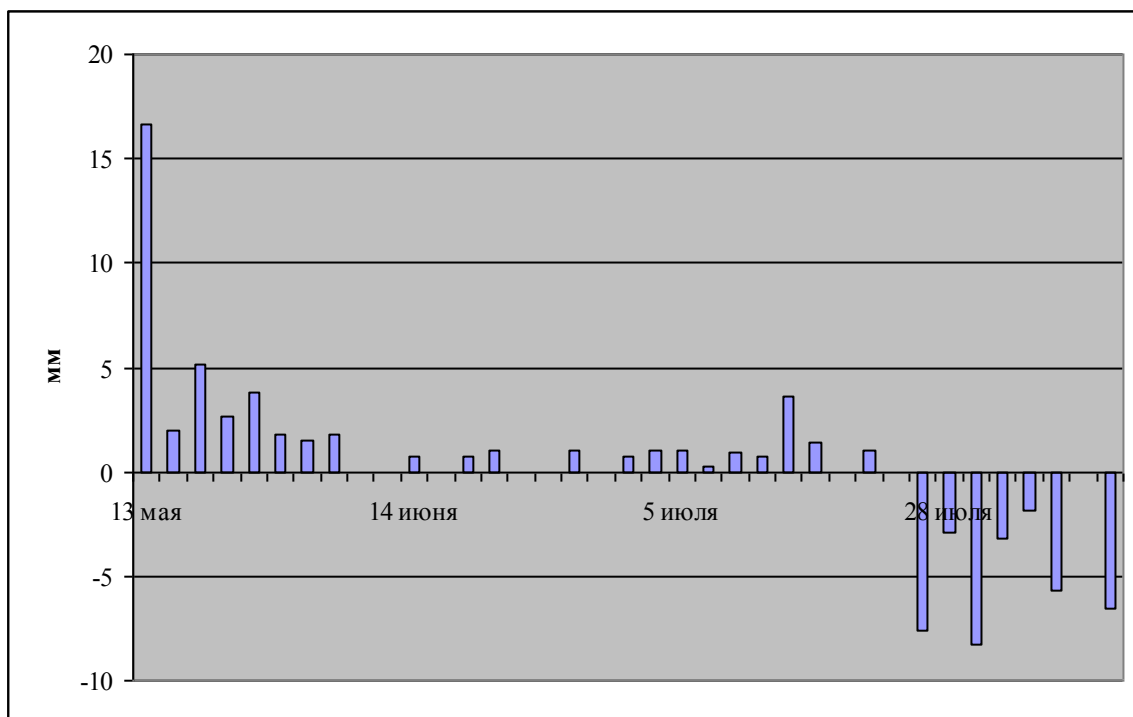


Рис. 4.5. Соотношение подпитывания (+) грунтовыми водами и инфильтрации (-) при среднем вегетационном уровне грунтовых вод 120 см в дерново-подзолистой почве

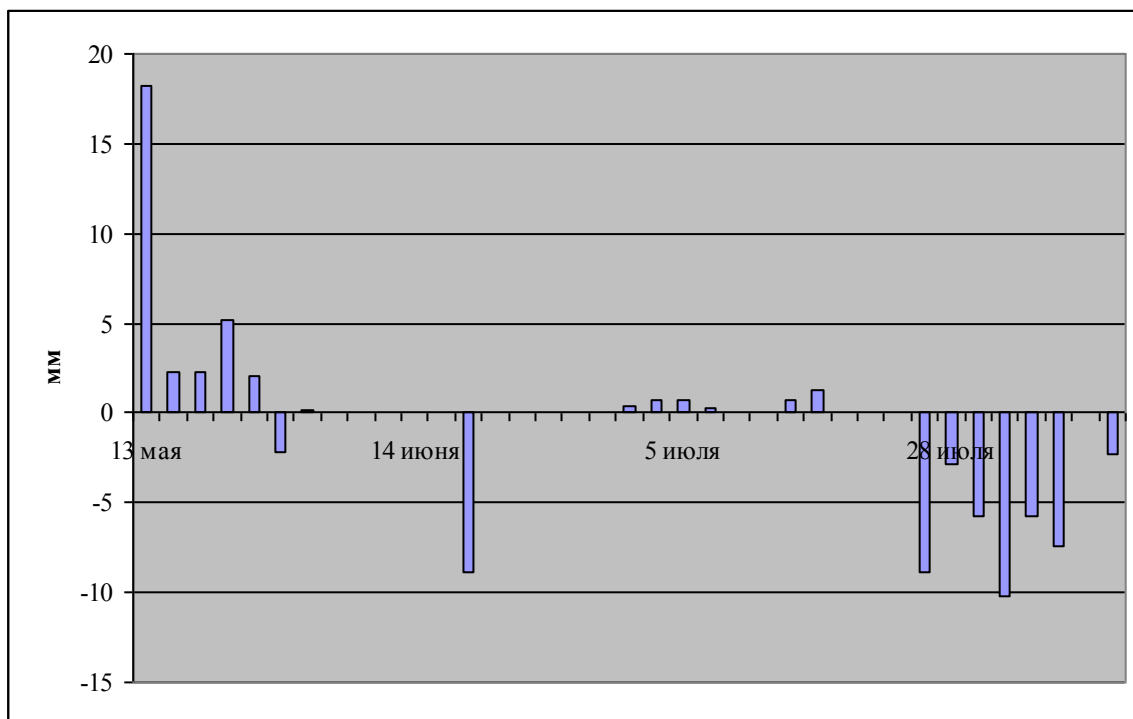


Рис. 4.6. Соотношение подпитывания (+) грунтовыми водами и инфильтрации (-) при среднем вегетационном уровне грунтовых вод 145 см в дерново-подзолистой почве

Отсюда следует, что закономерности влагообмена в зоне аэрации носят более сложный характер, чем это представляется на первый взгляд. Вероятно, чем более мощная зона аэрации, тем замедленнее происходит просачивание влаги атмосферных осадков. Отсюда инфильтрация глубоких УГВ существенно растягивается во времени и может наблюдаться длительное время после дождей уже в засушливый период. Объем инфильтрации осадков в вариантах с большей протяженностью ЗА (УГВ= 95 и 145 см) становятся больше по сравнению с объемом инфильтрации по сравнению с меньшей протяженностью ЗА (УГВ=70 и 95 см).

Интенсивность испарения влаги с поверхности почвы зависит от многих факторов и, прежде всего, от уровня стояния грунтовых вод. Исследуя этот процесс для условий близкого к поверхности стояния грунтовых вод, мы установили ряд интересных явлений (Муромцев и др., 2005), в том числе явление разрыва капиллярных транзитных путей при высоком содержании влаги в почве. Физическая сущность этого явления заключается в

несоответствии интенсивности потока почвенной влаги (расход влаги из ГВ) интенсивности испарения с поверхности. Ликвидации разрывов, поступающей из ГВ влаги, препятствуют пузырьки воздуха, которые при определенных условиях могут соединяться в различные по размерам воздушные полости. Сработка капиллярной каймы (КК) при испарении влаги с поверхности почвы в условиях высокого стояния грунтовых вод может достигать значительных размеров по мощности и затрагивать большую часть КК или даже практически всю её зону. В связи с этим можно предположить, что в условиях, когда УГВ находится близко к поверхности почвы, например, на глубине 40-50 см, сработка КК будет осуществляться вплоть до зеркала ГВ.

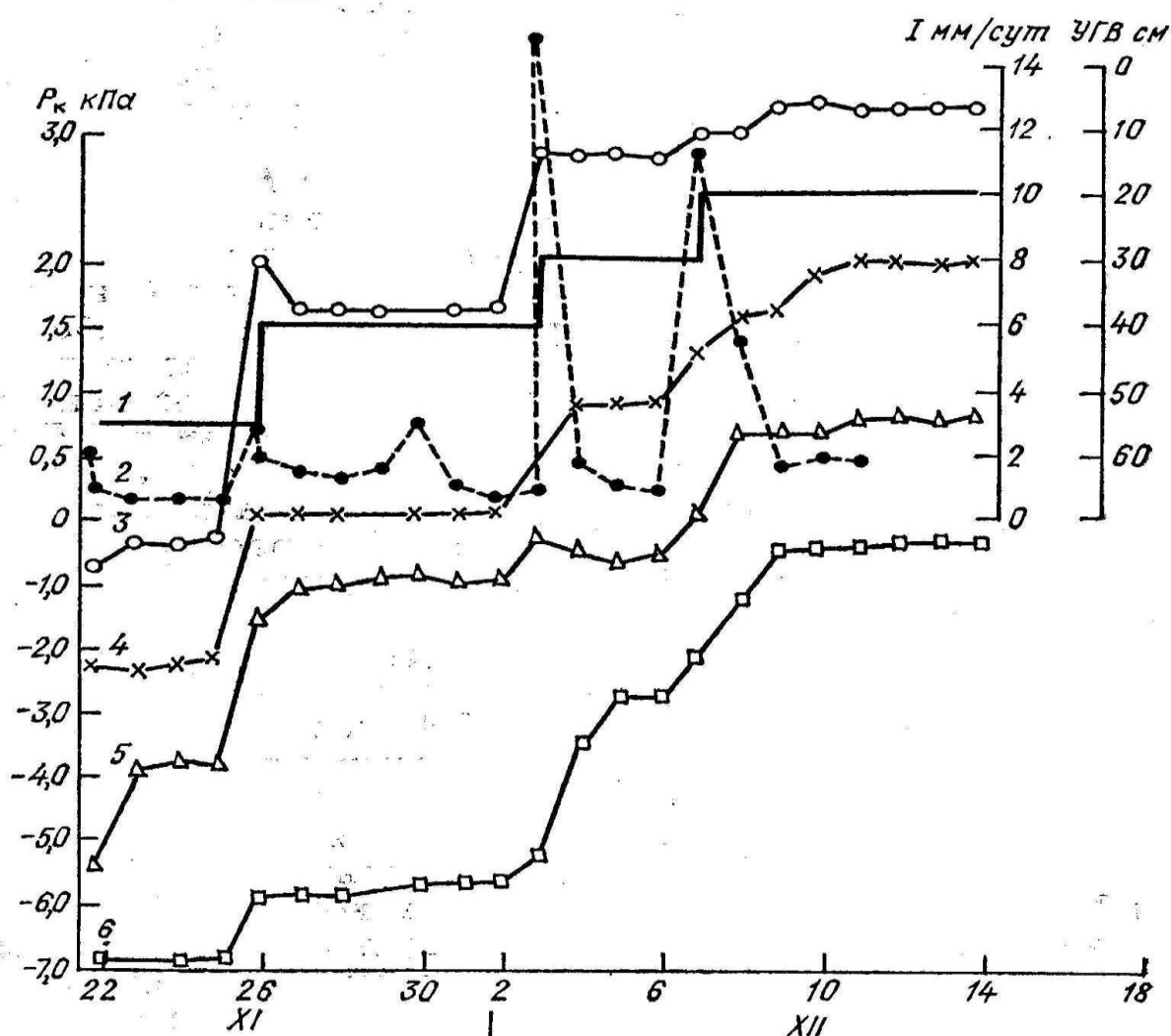


Рис. 4.7. Динамика потенциала влаги P_k , УГВ и интенсивности расхода грунтовых вод I .

где: 1 — УГВ; 2 — I ; 3 — P_k на глубине 5 см от УГВ; 4 — P_k на глубине 15 см от УГВ; 5 — P_k на глубине 25 см от УГВ; 6 — P_k на глубине 35 см от УГВ.

С целью повторной проверки этого положения проведены исследования с использованием почвенной колонны с моделью грунтовых вод и в условиях УГВ, расположенного последовательно на глубинах 55, 40, 30 и 20 см от поверхности. Тензиометры, установленные на этих же уровнях, при изменении УГВ оказывались на разном расстоянии от ГВ, в том числе и под их уровнем.

Таблица 4.4. Дефициты влаги (< ПВ) при испарении ГВ в условиях близкого их стояния к поверхности почвы.

УГВ	Т1		Т2		Т3		Т4		I, мм/сут
	Показание тензиометра, см водн. ст.	Дефи- цит влаги в КК, см водн. ст.	Показание тензиометра, см водн. ст.	Дефи- цит влаги в КК, см водн. ст.	Показание тензиометра, см водн. ст.	Дефи- цит влаги в КК, см водн. ст.	Показание тензиометра, см водн. ст.	Дефи- цит влаги в КК, см водн. ст.	
55	0	0	-22	-7	-37	-12	-68	-13	0.7 – 1.1
40	+16	0	0	0	-10	0	-55	-45	1 - 2
30	+28	0	+9	0	-5	-5	-30	-20	1÷2→15
20	+35	0	+20	0	+7	0	-5	-5	2→11

Примечание: Т1- Т4 – номера тензиометров.

Анализ полученных материалов (рис. 4.7 и табл. 4.4) свидетельствует о том, что при УГВ, равном 55 см от уровня дневной поверхности, показания только первого тензиометра, установленного в пределах зеркала ГВ, соответствуют отметке УГВ; показания остальных приборов указывают на наличие водного дефицита в КК даже в самой ее нижней части. С увеличением в пределах от 15 до 35 см, расхождения между показаниями приборов и отметками УГВ возрастают с –8 до –36 см водн. ст. Это свидетельствует о том, что вся КК, представляющая собой в данном случае зона аэрации, является толщей активного влагооборота; потеря влаги происходит одновременно из всей 55-сантиметровой толщи. С повышением УГВ (соответственно до 40, 30 и 20 см от поверхности) расхождение показаний тензиометров, расположенных над УГВ, и расстояний их установки до УГВ, уменьшаются.

В таблице 4.5. представлена информация о состоянии отдельных частей КК, характеризуемой дефицитами водонасыщения. Она свидетельствует о том, что дефицит водонасыщения на уровнях КК 15 и 35 см от УГВ составляет соответственно -7 и -33 см водного столба.

Таблица 4.5.Состояние капиллярной каймы (КК) при уровне грунтовых вод (УГВ) 55 см от поверхности почвы.

Уровень КК от грунтовых вод, см	Расстояние уровня КК от поверхности почвы, см	Энергетическое состояние капиллярной каймы, см. водного столба		Дефицит водо-насыщения КК, см. водн. ст.
		Теоретическое	По показаниям тензиометров	
15	40	-15	-22	-7
35	20	-35	-68	-33

Интенсивность расхода ГВ при УГВ = 55 см находится в пределах 0.7-1.1 мм/сут., а при УГВ = 20 см – 1.5-1.7 мм/сут. Следовательно, при понижении УГВ с 20 до 55 см от поверхности почвы запасы влаги в КК и интенсивность расхода ГВ уменьшаются. Максимальная интенсивность расхода ГВ наблюдается в процессе заполнения порового пространства (компенсация недостатка водонасыщения) при поднятии УГВ, т. е. при установке ГВ на новом, более высоком уровне. Так, например, при поднятии УГВ с 55 до 40 см интенсивность потока возрастает в течение одних суток до 3 мм, а затем падает до 1.1 - 1.5 мм/сут. Максимальное значение интенсивности расхода ГВ имеет место при повышении их уровня с 40 до 30 и с 30 до 20 см: в течение первых суток это значение составляет 11 - 15 мм/сут. И это - очень высокий уровень расхода влаги.

На интенсивность влагообмена и особенности соотношения инфильтрации и испарения грунтовых вод существенное влияние оказывает мощность почвенного профиля лизиметра, внесенные удобрения и вид травостоя. Как показали наши исследования, с увеличением мощности монолита почвы объем инфильтрации влаги и вынос нитратов уменьшаются под обоими видами травостоя. Объем инфильтрации под злаковым травостоем выше по сравнению с объемом инфильтрации бобово-злаковым травостоем. Потери азота из слоев почвы 0-35 и 0-130 см под злаковым травостоем ниже, чем бобово-злаковым. Влияние мощности почвенного монолита, вида травостоя на инфильтрационный сток и содержание нитратов в нем наблюдаются за вегетационный период 2005 г.

Таблица 4.6. Влияние мощности почвенного монолита и вида травостоя на инфильтрационный сток и содержание нитратов в нём за вегетационный период 2015 г.

Вариант опыта		Объем инфильтрационного стока по месяцам вегетационного периода, л/м ²					Суммарный объем инфильтрационного стока, л/м ²	Содержание нитратов в стоке, мг/л
Глубина монолита, см	Травостой	V	VI	VII	VIII	IX		
35	Злаковый	19.7	14.2	21.8	21.0	7.3	74.0	1.3
35	Бобово-злаковый	7.9	8.9	11.1	9.8	9.3	47.0	8.1
130	Злаковый	5.6	9.4	9.0	10.3	6.7	41.0	1.0
130	Бобово-злаковый	3.7	4.8	6.0	5.5	3.0	23.0	2.4

Объемы вымывания весьма существенно зависят не только от мощности фильтрующего слоя (мощности слоя почвогрунтов), но также и от вида и формы удобрений. При увеличении норм удобрений (аммиачная и нитратная) от N₁₈₀ до N₄₈₀ потери общего азота, нитратов, фосфора, калия, кальция и магния весьма существенно возрастают: в 1.5-6.0 раз общего азота, 3.5-8.0 нитратного азота, и 1.2-2.7 раза других химических элементов. Однако это возрастание сильно зависит, как от мощности почвенного слоя, также и формы азотного удобрения. Различно оно и для каждого химического элемента (Семенов и др., 2005).

Весьма существенную роль в формировании инфильтрационного стока играет качество дернины многолетних трав и способы ее залужения. В 2007 году были организованы опыты по запашке в верхний корнеобитаемый слой почвы лизиметров измельченной биомассы древесной растительности: березы, ивы, вейника наземного, осины и дернины луга.

Опыты проводились в лизиметрах в 3-4 кратной повторности. В 2006 г. в них был заменен пахотный слой на почву залежи, уплотнен, затем на глубине 10-22 см была уложена биомасса (расчетная), т/га: из ивы – 13.6; березы – 27.7; осины – 28.6; вейника – 17.2. Заделка в почву выполнена по способу отвальной обработки с укладкой на дно борозды биомассы без её измельчения (Семёнов и др., 2005)..

Исследования показали, что объём инфильтрации максимален на пашне (206 л/м^2), а минимален в варианте с разнотравно-злаковым травостоем (на контроле) – всего 52 л/м^2 . В вариантах с запаханными биомассами различной древесной растительности объём инфильтрата находится в пределах $170 - 194 \text{ л/м}^2$ и мало чем различается по вариантам. Содержание кальция (мл/л) по вариантам в инфильтрате опыта можно записать в виде возрастающего ряда следующим образом: контроль (14.0) < дернина луга (34.3) < ивы (34.7) < пашни (41.6) < березы (44.1) < вейника (45.9) < осины (46.1). В вариантах с удобрениями концентрация кальция заметно ниже, что объясняется, по-видимому, большим отчуждением его с биомассой райграса. Тоже можно сказать и об особенностях потерь кальция с инфильтратом, выраженном в кг/га. Они значительно меньше в вариантах с удобрениями, в вариантах без удобрений. Максимальная потеря его имеет место под пашней (98.2 кг/га), затем следуют варианты с запаханными: осинкой (85.8), березой (85.5), вейником (78.0), ивой (60.4), дерниной луга (39.2) и, наконец, контроль (7.3 кг/га).

4.4. Заключение

Максимальные значения суммарного испарения и инфильтрации наблюдаются в средневлажных условиях, а испарение грунтовых вод – в среднезасушливых условиях атмосферного увлажнения. Соотношение инфильтрации (I) и испарения грунтовых вод (K) в дерново-подзолистой суглинистой почве составляет значения в пределах 0.3-0.6 для среднезасушливых, 2.5-2.7 среднемноголетних и 2.6-2.9 средневлажных условий атмосферного увлажнения.

В годовом цикле из дерново-подзолистой суглинистой почвы выносятся больше всего кальция: 90 кг/га . При приближении УГВ к поверхности почвы (например, до 20 см) мощность КК и запасы влаги в ней уменьшаются, а интенсивность расхода ГВ – увеличивается. Максимальная интенсивность наблюдается в процессе заполнения порового пространства (компенсации

недостатка водонасыщения) при поднятии УГВ, т.е. при установке ГВ на новом, более высоком уровне.

Потери калия, кальция, магния, цинка и марганца под злаковым травостоем составил соответственно 0.95, 89.0, 37.7, 1.42 и 1.40 кг/га за год. С капиллярным подпитыванием возвращается в корнеобитаемый слой дерново-подзолистой почвы калия – 0.19 кг/га или 20% от потерь, затем следуют: марганец (16.4% от потерь), кальций (15.0%), цинк (13.4%) и замыкает ряд магний (9.0%). Максимальная потеря иона кальция в вариантах с запаханной биомассой древесной растительности имеет место под пашней (98.2 кг/га).

С увеличением мощности монолита почвы объем инфильтрации влаги и вынос нитратов уменьшаются под зерновым и бобово-зерновым видами травостоя. Объем инфильтрации под злаковым травостоем выше по сравнению с объемом инфильтрации под бобово-злаковым травостоем, а потери азота из слоев почвы 0-35 и 0-130 см под злаковым травостоем ниже, чем под бобово-злаковым.

Соотношение объемов подпитывания и инфильтрации влаги при различных средних уровнях грунтовых вод составляют следующие величины: при УГВ=70 см 86 и 17 мм, УГВ=95 см – 97 и 45мм; УГВ=120 см – 28 и 34мм и при УГВ=145 см – 13 и 51 мм. Видно, что подпитывание почвы влагой из грунтовых вод, в целом, снижается с понижением их уровня, а инфильтрация возрастает.

Разрыв капиллярных транзитных путей при высоком содержании влаги в почве заключается в несоответствии расхода влаги из ГВ и испарения влаги с поверхности почвы. Ликвидации разрывов, поступающей из ГВ влаги, препятствуют пузырьки воздуха, которые при определенных условиях могут соединяться в различные по размерам воздушные полости. Сработка капиллярной каймы (КК) при испарении влаги с поверхности почвы в условиях высокого стояния грунтовых вод может достигать значительных размеров по мощности и затрагивать большую часть КК или даже практически полностью всю её зону.

ГЛАВА 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ.

5.1. Введение

Температура, является важнейшим термодинамическим параметром, функционально связанным с потенциалом почвенной влаги и, весьма существенно влияющим на него. Изучению воздействия температуры воздуха ($T_{\text{в}}$) и почвы ($T_{\text{п}}$) на энергетическое состояние почвенной влаги и интенсивность её потока посвящены работы Нерпина и Чудновского (1975), Глобуса (1969, 1977), Мажайского, 2002; Муромцева, Мажайского и др. (2013); Durner W et al (2006); Nolz et al (2016) и некоторых других исследователей.

Однако, воздействие температуры почвы на потенциал (давление) влаги ($P_{\text{к}}$), в области высокого увлажнения почвы (полная влагоёмкость – 0.7 наименьшей влагоёмкости) и, особенно в интервале низких положительных и отрицательных температур, изучено эпизодически, далеко недостаточно; отсутствуют обобщения с достаточно удовлетворительным объяснением процессов влияния отрицательных температур на водоудерживающие силы почвы. Довольно сложный характер изменения давления почвенной влаги в связи с изменением температуры почвы в ту или иную сторону в значительной степени определяется гистерезисом зависимости потенциала от температуры. Исследования этой проблемы (Муромцев, 1991; 2007) позволили установить явление гистерезиса, точнее – термогистерезиса функции $P_{\text{к}} f(T_{\text{п}})$.

Целью настоящих исследований является изучение закономерностей трансформации давления почвенной влаги в годовом цикле (круге). Особенно при переходе положительных значений температуры почвы в область отрицательных величин и установление фазового перехода почвенного раствора в различных слоях дерново-подзолистой суглинистой почвы.

5.2.Динамика потенциала почвенной влаги в тёплый период года.

Регулярные наблюдения за динамиками давления влаги и температуры дерново-подзолистой почвы начали осуществлять в июле 2014 г (после установки датчиков в почву) в варианте «Залежь». Датчики потенциала влаги (длина 70 мм, диаметр 18 мм) и температуры почвы (длина 30 мм, диаметр 5 мм) установлены, как отмечали выше, на глубинах дерново-подзолистой суглинистой почвы (вариант «Залежь»): 5-12 и 5-8 см (№1), 30-37 и 30-33 см (№2), 50-57 и 50-53 см (№3) и 70-77 и 70-73см (№4).

Растительный покров на опытном участке «Залежь» в начале августа 2014 включал: люпин (24;%), тимopheевка (33%), мышиный горошек (11%), костёр (21%), осот полевой (7%), прочие (4%). В августе 2016 г растительный покров был представлен следующей ассоциацией дикорастущей травянистой растительности: осот полевой (8%), люпин (24%), тимopheевка (32%), костер (22%), мышиный горошек (9%), прочие (5%).

Рассмотрим динамики давления влаги и температуры почвы в варианте «Залежь» в пределах почвенного профиля и во времени. Материалы представлены на рис. 5.1 и 5.2.

Величина давления влаги на конец июля 2014 г составляет величины 43, 35, 28 и 28 кПа соответственно в слоях почвы 5–12, 30–37, 50–57 и 70–77 см. В дальнейшем давление прогрессивно возрастает: к 30 июля в верхнем слое почвы он достигает 64 кПа, к первому августа – 80 кПа. По истечении трёх суток его значения составили 107, 67, 48 и 45 кПа в слоях 5–12, 30–37, 50–57 и 70–77 см. Повышение значений давления продолжается до 7 августа и составляет величины: 134, 77, 57 и 52 кПа соответственно в слоях 5–12, 30–37, 50–57 и 70–77 см.

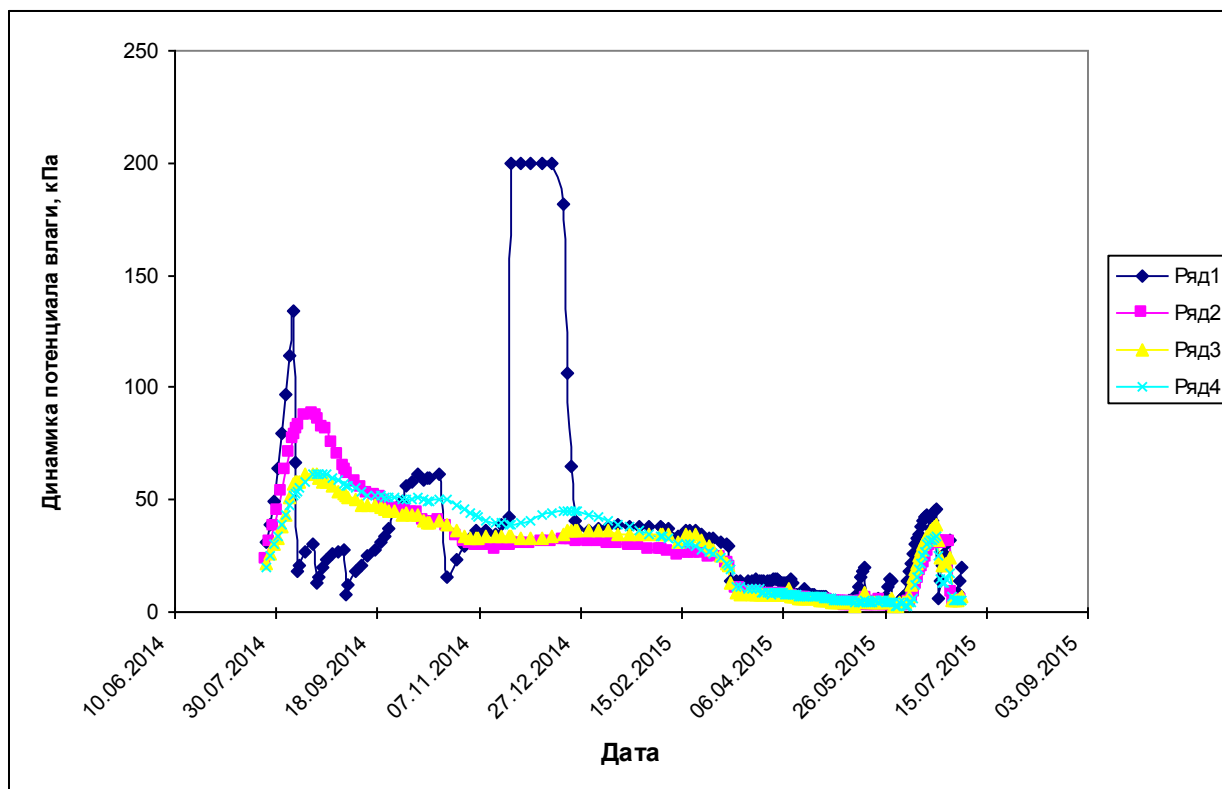


Рис.5.1. Динамика давления влаги в дерново-подзолистой суглинистой почве: 1– в слое 5-12 см, 2– 30-37 см. 3 –50-57 см и 4 – в слое 70-77 см.

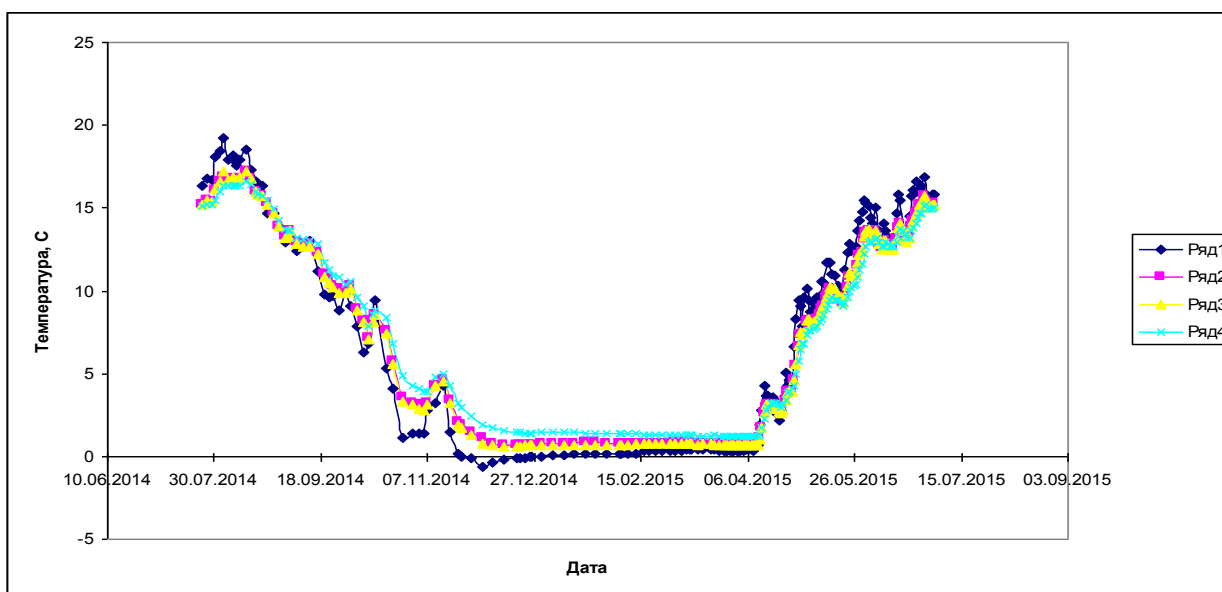


Рис. 5.2. Динамика температуры в дерново-подзолистой суглинистой почве: 1 – слой 5-8 см, 2 –30-33 см, 3– 50-53 см и 4 – 70-73 см.

Седьмого вечером и утром 8 августа выпали дожди суммой соответственно 32.6 и 13.4 мм, поэтому значения давления влаги к 14 часам 9 августа понизились в слое 5–12 см до 18 кПа. В слоях 30–37, 50-57 и 70–77 см,

наоборот, возросли соответственно до 81, 58 и 54 кПа. Это явление однозначно свидетельствует о том, что осадки промочили только верхний слой почвы, мощностью 27–29 см.

Следует отметить высокую чувствительность используемых датчиков. Всегда после выпадения осадков в течение непродолжительного времени происходит быстрое снижение давления влаги в слоях, которое поступает профильтровавшаяся часть атмосферных осадков. Так, например, до 17 августа рост значений давления продолжается во всем профиле почвы. К 14 часам указанной даты его значения составили 30, 89, 62 и 61 кПа в слоях 5-12, 30-37, 50-57 и 79-77 см. После выпадения в этот день осадков суммой 20 мм его значения упали, и опять только в самом верхнем слое, до 13 кПа. В остальных же слоях они остались практически на прежнем уровне.

Результатом значительных осадков 7 и 8 августа было резкое понижение давления в самом верхнем слое (5-12 см) с 134 до 18 кПа. При этом в нижележащем слое (30-37) см давление продолжает расти, и достигает максимальных значений 88 кПа к 15 августа. В нижних слоях (50-57 и 70-77 см) потенциал также возрастает, но существенно меньшими темпами и к 15 августа достигает значений 61-60 кПа. Это указывает на то, что верхний слой почвы до глубины 40-50 см является слоем наиболее активного влагооборота и иссушения (Муромцев и др., 2013).

До конца августа содержание влаги в верхнем слое (0-20 см) продолжает оставаться на достаточно высоком уровне. Об этом свидетельствуют невысокие значения давления, наблюдаемые в интервале 16 (19.08) - 28 (31.08) кПа, что можно охарактеризовать как значения в пределах, соответствующих НВ дерново-подзолистой слабооглеенной почвы (Муромцев, Анисимов, 2015).

Вместе с тем, его значения в нижних слоях продолжают оставаться высокими, особенно в слое 30-37см (86–66 кПа) и, вероятно, несколько более глубоком, но не ниже 50 см. В слое 50-80 см значения давления продолжают составлять значения в пределах 58-61 кПа. Это обстоятельство свидетельствует о том, что в из слоя 0 – 50 см происходит более интенсивный расход влаги, чем

из слоев, расположенных глубже него. Такое явление вполне согласуется с общей теорией влагообмена в зоне аэрации (Muromtsev et al., 2015), и в определенной мере согласуются с динамикой давления в полевых вариантах опыта.

Здесь (основное опытное поле) давление продолжает оставаться на довольно высоком уровне по всему профилю почвы. Так, например, 26.08 значения давления по глубинам профиля распределились таким образом: в пределах 45-34 кПа в слое 0-40 см и в пределах 50-62 кПа в слое 50-80 см, т.е. в интервалах вполне сопоставимых с распределением давления по профилю почвы в варианте «Залежь». При последних (в вегетационном сезоне 2014 г) замерах (12.10) показаний датчиков значения давления составили следующие значения: 60, 40, 40 и 49 кПа, т.е. значения давления по всему почвенному профилю выровнялись и составляют близкие величины. За исключением самого верхнего слоя (5-12 см). Температура плавно понижается, как в пределах почвенного профиля (сверху вниз), так и во времени, уменьшаясь с понижением температуры воздуха. Максимальные значения температуры наблюдаются в самом верхнем слое почвы (5-8 см) и составляют в пределах суток (5 августа) величины в интервале 17.1-18.9⁰С. Несколько меньшие значения (до 2.0⁰С) – в нижнем слое (70-73 см). К 3-му сентября понижение температуры составило 4.0⁰С в верхнем и 4-3⁰С в нижних слоях. Суточные изменения температуры составили величины в пределах: в слое 5-8 см – от 1.9 до 0.6 ⁰С, в слое 30-33 см – от 0.4 до 0.1⁰С, в слое 50-53 см – от 0.3 до 0.0⁰С и в слое 70-73 см – 0.1⁰С.

Представляет определенный интерес проследить за тем, как изменяются суточные (в течение суток) значения давления в различных гидрологических и климатических условиях, т.е. при различных значениях влажности почвы и атмосферных показателях. Тем более что аналогичные данные в отечественной гидрофизической литературе отсутствуют.

Сутки 5-6 августа 2014 г характеризуются засушливыми условиями атмосферы, и в соответствии с этим – низкими значениями влажности почвы.

Эти сутки венчают длительный бездождный период, начавшийся в начале июля (7 августа впервые за длительный период выпало 32.6 мм). Суточная динамика потенциала влаги приведена в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Динамика давления влаги (Рк) дерново-подзолистой почвы в варианте «Залежь». Август 2014 г.

Дата наблюдений.	Динамика Рк, кПа в слоях почвы, см				Осадки, мм
	5-12	30-37	50-57	70-77	
5-6.08.14:00	112.0	68.0	49.0	46.0	нет
03.00	115.0	69.0	49.0	46.0	
06.00	116.0	70.0	50.0	47.0	
09.00	117.0	70.0	50.0	47.0	
12.00	116.0	70.0	51.0	47.0	
15.00	114.0	71.0	51.0	48.0	
18.00	116.0	71.0	51.0	48.0	
21.00	119.0	71.0	51.0	48.0	
24.00	117.0	71.0	51.0	48.0	
20.08.14:00					нет
03.00	18.0	84.0	59.0	61.0	
06.00	18.0	84.0	59.0	61.0	
00.09	18.0	84.0	59.0	61.0	
12.00	18.0	84.0	59.0	61.0	
15.00	18.0	84.0	59.0	61.0	
18.00	18.0	83.0	59.0	61.0	
21.00	19.0	82.0	58.0	61.0	
00.00	19.0	83.0	58.0	61.0	
03.09.14: 00	9.0	62.0	51.0	56.0	0.4
03.00	10.0	61.0	51.0	56.0	
06.00	10.0	61.0	51.0	56.0	
09.00	11.0	61.0	51.0	56.0	
12.00	12.0	61.0	51.0	56.0	
15.00	12.0	61.0	51.0	56.0	
18.00	13.0	61.0	51.0	56.0	
21.00	13.0	60.0	51.0	56.0	
00.00	14.0	60.0	51.0	56.0	

Видно, что суточные изменения давления влаги невелики, и укладываются в 3 кПа (три нижних слоя) и в 9 кПа – в самом верхнем (5-12 см) слое почвы. При этом самые высокие значения давления, как и следовало ожидать, – в верхнем, 5-12 см. слое, из которого происходит наибольшая потеря влаги на испарение и десукцию травянистой растительностью. К 20 августа им

в течение суток (20-21.08) установилась следующая суточная динамика давления в условиях «влажного» периода (с 7 по 17 августа выпало 79.2 мм).

Самые низкие значения давления – в верхнем слое: интервал суточных изменений составляет 2 кПа (в пределах 17-19 кПа). Наибольшие значения – в слое 30-37 см (82-84 кПа) – слое, из которого происходят потери влаги на суммарное испарение, а осадки до него не дошли, они аккумулировались полностью в верхнем слое. Интервал изменений давления составляет 2 кПа, а в нижнем (70-77 см) слое и того меньше – всего один килопаскаль.

И, наконец, возьмём суточные изменения давления в начале сентября, характеризуемого довольно низкими значениями суммарного испарения (около 1 мм в сутки) и сравнительно высокими запасами почвенной влаги во всем профиле почвы (на уровне 65-85% НВ). Суточные изменения давления в нижних слоях (50-57 и 70-77 см) отсутствуют, что указывает на стабилизацию содержания влаги и водоудерживающих сил почвы. В верхнем слое значения давления в пределах 9-14 кПа, что указывает на содержание влаги, превышающей НВ.

Таким образом, суточные изменения давления влаги невелики и находятся в пределах 2-3 кПа. В нижних слоях почвы (глубже 50 см) при минимальных значениях влагообмена и стабилизации содержания влаги и водоудерживающих сил суточные изменения могут отсутствовать вообще.

Особенности динамик температуры состоят в следующем. Температура плавно понижается как в пределах почвенного профиля (сверху вниз), так и во времени, уменьшаясь с понижением температуры воздуха. Максимальные значения температуры наблюдаются в самом верхнем слое почвы (5-8 см) и составляют в пределах суток (5 августа) величины в интервале 17.1-18.9⁰С. Несколько меньшие значения (в пределах до 2.0⁰С) наблюдаются в нижнем слое (70-73 см). С понижением температуры атмосферного воздуха температура почвы также постепенно и плавно понижается на всех контролируемых нами уровнях почвы. К 3-му сентября понижение температуры составило 4.0⁰С в верхнем и 4-3⁰С нижних слоях. Суточные

изменения температуры составили величины в пределах: в слое 5-8 см – от 1.9 до 0.6⁰С, в слое 30-33 см – 0.4 - 0.1⁰С, в слое 50-53 см – 0.3 - 0.0⁰С и в слое 70-73 см – от 0.1 до 0.0⁰С.

Следовательно, с охлаждением атмосферного воздуха в течение вегетационного периода температура почвы плавно понижается, как в пределах почвенного профиля (сверху вниз), так и во времени. Суточные изменения температуры почвы уменьшаются и сверху вниз почвенного профиля и во времени с охлаждением атмосферного воздуха. Они невелики и лежат в пределах 1.5⁰С в верхних слоях почвы и 0.4-0.3⁰С в нижних слоях, приближаясь к нулю с глубиной и стабилизацией содержания влаги. Минимальная величина суточного изменения температуры в самых верхних слоях наблюдается к 9-12 часам, а в слоях на уровне 30 и 50 см – к 15 часам. Величины температур в 0.0 часов двух смежных суток (например, 5 и 6 августа) достигают обычно близких значений.

Температура почвы с уровня в 18-16⁰С в июле и августе понизилась к первой декаде ноября до 4-2⁰С (в целом по профилю почвы). Далее, к декабрю и в начале него, она в слое 5-8 см перешла в область невысоких отрицательных значений (-1...-2⁰С), а в слоях 30-33, 50-53 и 70-73 см – понизилась до невысоких положительных величин (0.7- 1,5⁰С). Эти значения практически не изменились и в течение всей зимы и ранней весны, вплоть до 5 апреля с.г.

Подчеркнем, что существенные изменения давления почвенной влаги наблюдаются в основном в верхнем (5-12 см) слое в летний, осенний и раннезимний (декабрь) периоды 2014 и 2015 гг. Его летние значения колеблются в пределах от 150 кПа до 5-7 кПа. Однако в начале декабря они, что называется, «взмыли» вверх до 200 кПа, и оставались на этом высоком уровне в течение трех недель. В конце декабря давление в верхнем слое все же понизился до 40-35 кПа и приблизился к значениям давления в слое 30-77 см. Динамики давления в слоях 30-37, 50-57 и 70-77 см в течение всего времени наблюдений спокойны, достигая максимума 80-65 кПа. К середине сентября его

значения понизились до 40-35 кПа и находились на этом уровне до начала апреля 2015 г.

В дальнейшем давление влаги на всех глубинах почвы продолжает очень медленно понижаться. В верхнем слое (5-12 см) в продолжение длительного периода (вплоть до 5.03.2015 г.) уменьшался до значений 31 кПа (на 6 кПа), в слое 30-37 см – 23 (на 5 кПа), в слое 50-57 см – 24 кПа (на 11 кПа) и в слое 70-77 см – до 23 кПа (на 11 кПа). Температура почвы за этот период практически не претерпела сколько-нибудь заметных изменений, составляя, как и ранее, величины в пределах 0.20-0.4⁰С, 0.8-0.9, 0.7-0.8 и 1.3-1.4⁰С соответственно в слоях 5-8, 30-33, 50-53 и 70-73 см.

В продолжение периода (с 3 марта по 10 апреля), т.е. в течение сорока суток, потенциал влаги по-прежнему продолжал медленно понижаться на всех уровнях почвы. К концу этого периода он достиг значений 13 кПа (понижился на 18 кПа) в слое 5-12 см, 7 кПа в слоях 30-37 и 50-57 см (на 17 кПа) и 8 кПа в слое 70-77 см (понижился на 15 кПа). Эти значения давления свидетельствуют о переувлажнении всего слоя почвы (0-77 см) до состояния, когда содержания влаги заметно превышает уровень НВ. Температура почвы за этот период не претерпела сколько-нибудь заметных изменений, и составила соответственно 0.7, 0.8, 0.7 и 1.2⁰С.

Следовательно, отмеченные медленные и незначительные понижения значений давления происходят в связи с увеличением содержания влаги. Возрастание её содержания в 0-77 см слое происходит путем подтягивания из нижележащих слоев. Сначала, в зимний период и в периоды с отрицательными величинами температуры, – путем диффузии парообразной влаги, а в талой почве с положительной динамикой температуры, – и в жидком виде.

В дальнейшем (с 11 апреля и до 7 мая) давление влаги медленно понижается на всех уровнях почвы. Его значения давления становятся близкими между собой к концу апреля, различаясь лишь на 1-2 кПа. К 8-9 мая они достигают величин в пределах 5-4 кПа. Это однозначно свидетельствует о высокой степени насыщения почвы водой, вероятно, в пределах капиллярной

влагоемкости. Температура на всех контролируемых глубинах почвы также постепенно повышается, достигнув к 8 мая значений 9.6, 8.3, 8.3 и 7.9⁰С соответственно в слоях 30-33, 50-53 и 70-73 см.

Однако с 10 мая в верхнем слое давление медленно (1-2 кПа в сутки) повышается до 7 кПа, а с 11 мая –11 и в последующие трое суток –20 кПа. В нижележащих слоях (30-37, 50-57 и 70-77 см) никаких изменений давления не происходит, и его значения продолжительное время находятся на уровне 3-5 кПа, практически не различаясь по глубинам. Температура почвы хотя и увеличилась, но незначительно (1-2⁰С).

Итак, в конце февраля – начале марта температура почвы на всех контролируемых уровнях находится в пределах невысоких положительных значений (0.3 - 1.4⁰С). Температура воздуха колеблется в пределах от минус 3-5⁰С до +0.2-0.7 ... +2-6⁰С, осадки незначительны (13.4 мм), а суммарное испарение – в пределах 0.1-1.0 мм. Давление влаги понижается на всех контролируемых глубинах почвы в среднем с 33-28 до 31-23 кПа. Отсюда, сравнительно небольшое понижение давления происходит при, практически, постоянных значениях температуры и осуществляется за счет диффузионных парообразных накоплений влаги из нижележащих слоев почвы.

В течение марта продолжается медленное понижение давления при практически неизменной температуре почвы (колебание в обе стороны на 0.1-0.2⁰С). Однако с 9 на 10 марта наблюдается резкое понижение потенциала в верхнем слое с 29 до 14 кПа, а в нижних слоях до 10 - 12 кПа при постоянстве температуры почвы. И до 9 апреля значения потенциала продолжали оставаться на отмеченных уровнях. Каких-либо резких изменений атмосферных показателей не происходит. Температура воздуха находится в пределах 8-10⁰С, влажность воздуха уменьшилась с 74 до 50%, остальные параметры – в пределах обычных значений для этого времени года (Анисимов, Муромцев, 2015).

Следовательно, понижение давление влаги произошло при повышении температуры, воздействующей на влагу в направлении увеличения ее

подвижности и активности. А это, в свою очередь, приводит к эффекту, аналогичному повышению содержания её.

До конца первой декады мая 2015 г. происходит постепенное и медленное понижение давления и возрастание температуры почвы на всех изучаемых уровнях ее. И опять 11 мая значения потенциала влаги повысились с 5-4 до 11 кПа, оставаясь на уровне 3-4 кПа на нижних глубинах; температура почвы возросла до 10 – 8⁰С. С 11 на 12 мая наблюдается резкое возрастание давления около 16, а к 15 мая – 20 кПа, однако 16 мая происходит его резкое уменьшение до прежней величины (5 кПа). В слоях 30-37, 50-57 и 70-77 см никаких изменений давления за этот промежуток времени не произошло. Температура почвы также практически не изменилась, если не считать ее колебаний в пределах 1.0-1.5⁰С. Причина такой динамики давления влаги объясняется высокой температурой воздуха (около 20⁰С), большим суммарным испарением (4.0-4.5 мм) и отсутствием осадков в течение с 5 по 11 мая. А когда 15 и 16 мая выпало много осадков (в сумме за двое суток 38.8 мм), то давление влаги понизилось 17 мая во всех слоях 4- 3 кПа.

На этом уровне давление влаги остаётся 26 мая, затем 27 мая возрастает 11 кПа и через двое суток (29 мая) достигает 14 кПа, а 30 мая – снижается 3 кПа. В слоях 30-37, 50-57 и 70-77 см давление влаги - на прежнем уровне (3-4 кПа) вплоть до 7 июня. После этого постепенно к середине месяца он достигает значений: 43 кПа в слое 5-12 см, 24, 34 и 30 кПа соответственно в слоях 30-37, 50-57 и 70-77 см. Температура почвы достигает к этому времени значений в пределах 16 - 13⁰С. Возрастание давления заканчивается 20 мая: 46, 32, 39 и 34 кПа соответственно в слоях 5-12, 30-37, 5-57 и 70-77 см. 21 мая давление в верхнем слое резко падает 5 кПа, оставаясь на прежнем уровне во всех нижних слоях почвы.

В дальнейшем, до конца мая и в течение всего июня, июля и в продолжении всего лета, динамика давления в целом аналогична описанной и представляет собой чередование возрастных и снижений давления влаги,

главным образом в верхнем (5-12 см) слое, а иногда после сильных осадков и в некоторых нижележащих слоях почвы, контролируемых датчиками.

Температура почвы к середине марта 2016 г. на всех глубинах почвы положительная, в пределах: 0.2°C (5-12 см), 0.7°C в слоях 30-37 и 50-57 см и 1.2°C в слое 70-77 см. В конце апреля она составила величины в пределах $4.9 - 4.7^{\circ}\text{C}$ во всём профиле почвы.

Информация, содержащаяся на рис. 5.3–5.6, предоставляет достаточно обоснованные о наличии определенной степени соответствия динамик давления влаги и температуры почвы. Конечно, это так называемое соответствие динамик, – достаточно условно, поскольку на давление влаги помимо температуры влияет и наиболее существенно и содержание влаги.

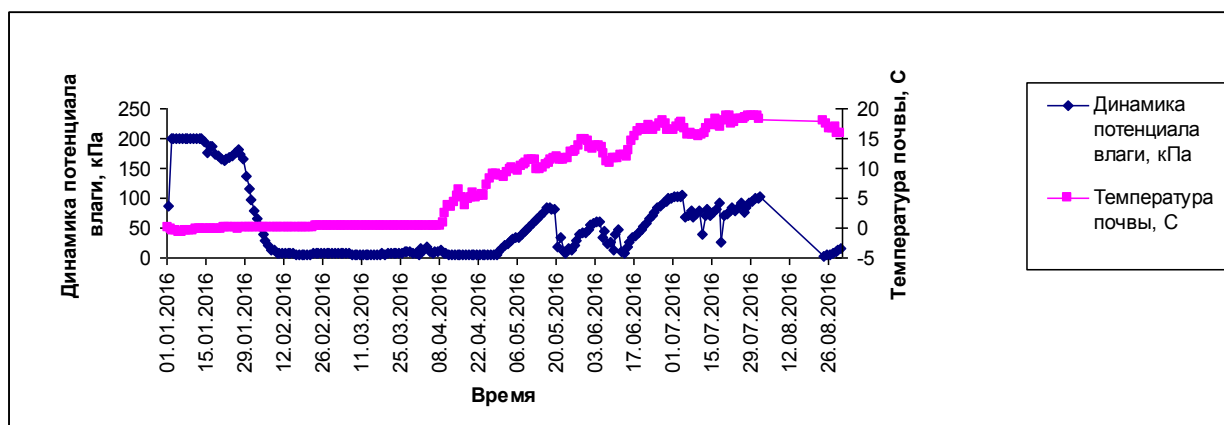


Рис. 5.3. Динамика давления влаги и температуры в слое 5–12 см дерново-подзолистой почвы в 2016 году.

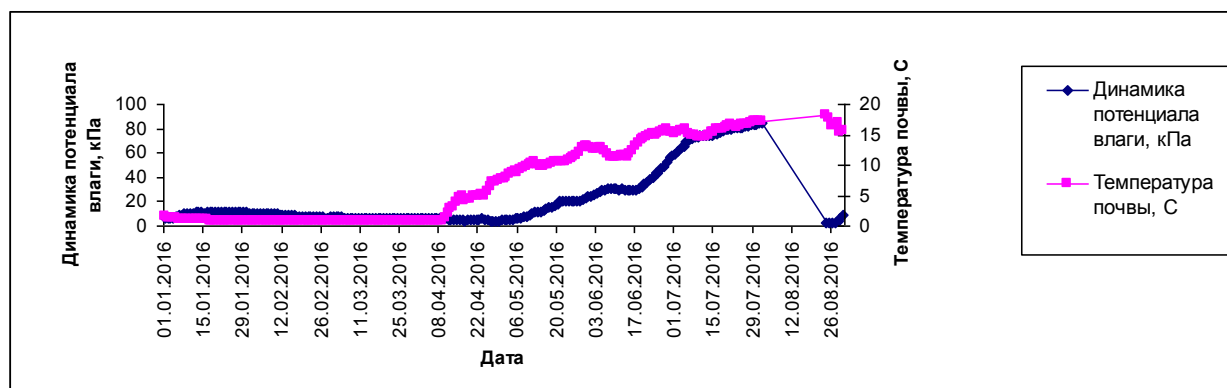


Рис. 5.4. Динамика давления влаги и температуры в слое 30–37 см дерново-подзолистой почвы в 2016 году.

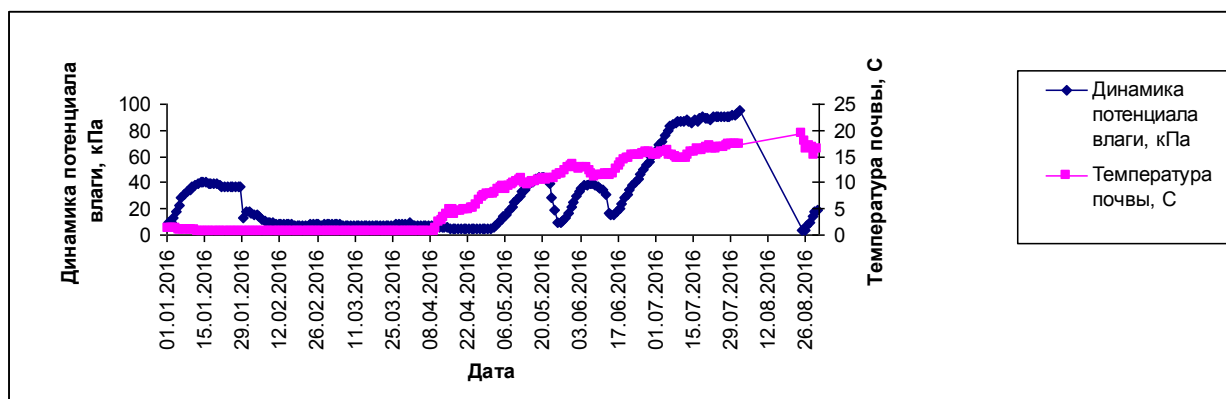


Рис.5.5. Динамика давления влаги и температуры в слое 50–77 см дерново-подзолистой почвы в 2016 году.

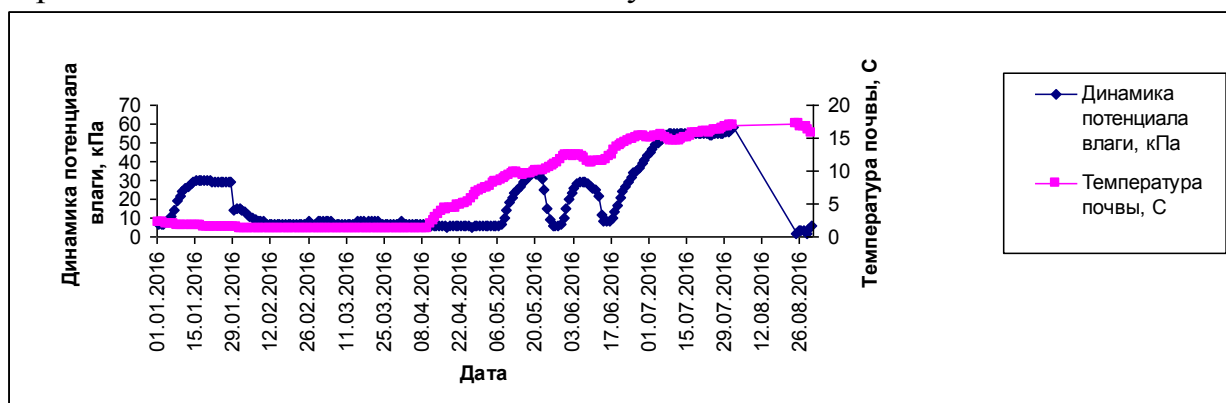


Рис. 5.6. Динамика давления влаги и температуры в слое 70–77 см дерново-подзолистой почвы в 2016 году.

В верхнем слое (5-12 см) это соответствие динамик проявляется в меньшей степени по сравнению с более глубокими слоями почвы (например, со слоем 50-57 см). В соответствии с ходом давления и температуры в зимний период и весной, вплоть до апреля месяца, абсолютные значения их невелики и выражены прямыми линиями в непосредственной близости от абсциссы. С появлением тепла и ростом значений давления и температуры почвы влияние почвенной влаги на потенциал возрастает, и соответствие динамик потенциала и температуры заметно нарушается.

Высота снежного покрова 15 марта 2016 г. составила: 14, 19, 16 и 32 см соответственно на площадках 1, 2, 3 и 4., что следует оценить зиму как малоснежную, с невысоким запасом воды в снеге.

Последний съём метеоданных (с компьютера метеостанции) произведён 5 августа за период с 5 июля по 5 августа 2016 г. В начале июля 2016 года

температура воздуха в верхнем слое почвы 5-8 см отмечается на уровне 16-18⁰С, а в слоях 30-33, 50-53 и 70-73 см – несколько ниже: 15 - 17⁰С. Давление почвенной влаги находится на уровне 69-70 кПа в слое 5-12 см, 80 кПа в слое 30-37 см, 70 кПа в 50-57 см и 50 кПа в слое 70-77 см. Динамики давления влаги в июле и в течение всего летнего времени являются её пилообразный характер: повышение давления до 100-110 кПа и после выпадения осадков – снижение до 30-35 кПа.

Вышеизложенное позволяет заключить, что суточные изменения давления влаги невелики и находятся в пределах 2-3 кПа. Самые высокие значения давления наблюдаются в верхнем, 5-12 см, слое, из которого происходит наибольшая потеря влаги на испарение и десукцию травянистой растительностью. В нижних слоях почвы (глубже 50 см) при минимальных значениях влагообмена и стабилизации содержания влаги и водоудерживающих сил суточные изменения могут отсутствовать вообще.

Суточные изменения температуры почвы уменьшаются и сверху вниз почвенного профиля, и в течение суток с охлаждением атмосферного воздуха. Они невелики и лежат в пределах 1.5⁰С в верхних и 0.4-0.3⁰С в нижних слоях почвы, приближаясь к нулю с глубиной и стабилизацией изменений содержания влаги. Минимальная величина суточного изменения температуры в самых верхних слоях наблюдается к 9-12 часам, а в слоях на уровне 30 и 50 см – к 15 часам. Величины температур в 0.0 часов двух смежных суток (например, 5 и 6 августа) достигают обычно близких значений.

Все виды понижения давления влаги (медленные и незначительные, быстрые и существенные) происходят в связи с увеличением содержания влаги. Возрастание её содержания происходит как в связи с атмосферными осадками, так и подтягиванием влаги из нижележащих слоев. В зимний период и в периоды с отрицательными величинами температуры, – путем диффузии парообразной влаги, а в талой почве с положительной динамикой температуры, – и в жидком виде. Понижение давления влаги (при постоянной влажности) при повышении температуры, объясняется возрастанием подвижности и

активности влаги. Последние приводят к эффекту, аналогичному повышению ее содержания (Муромцев, 1991; Муромцев, Мажайский и др., 2013).

5.3. Динамика потенциала (давления) почвенной влаги в холодный (зимний) период года.

Динамика давления влаги и температуры почвенного профиля дерново-подзолистой почвы в осенний и зимний периоды времени 2014-2016 г.г. представлены, как отмечали, на рис. 5.3 - 5.6.

Температура в различных слоях почвы до глубины 77 см с уровня в 18-16⁰С в июле и августе понизилась к первой декаде ноября до 4-2⁰С. Далее, к декабрю и в начале него, она в слое 5-12 см перешла в область невысоких отрицательных значений (-1...-2⁰С), а в слоях 30-37, 50-57 и 70-77 см понизилась до невысоких (0.7 - 1,5⁰С) положительных значений. Эти значения существенно не изменились и в течение всей зимы, и ранней весны, вплоть до 5 апреля с. г.

Величина давления влаги изменяется в верхнем (5-12 см) слое в осенний и зимний периоды 2014-2016 годов. Его летние и раннеосенние значения колебались в пределах от 150 кПа до 5-7 кПа в зависимости от обводненности почвы. В начале декабря они, что называется, «взмыли» вверх до 200 кПа и оставались на этом высоком уровне в течение трех недель. Однако в конце декабря давление в верхнем слое почвы понизился до 40-35 кПа, и приблизился к его значениям в толще 30-77 см.

Динамика давления в слоях 30-37, 50-57 и 70-77 см в течение большей части лета спокойна, достигая максимума 80-65 кПа. К середине сентября значения давления понизились до уровня 40-35 кПа, и находились на этом уровне длительное время, приближаясь численно к потенциалу влаги в дерново-подзолистой почве основного опытного поля. Так, например, потенциал 6 ноября в пределах всего изучаемого профиля почвы (0-77 см) составляет величину в интервале 35 – 42 кПа. И медленно возрастает на глубине 5-12 см до 42 кПа к 21 числу месяца (на 7 кПа). В слоях 30-37 и 50-57

его значения остались без изменений (29 и 33 кПа соответственно), а в слое 70-77 см они, наоборот, немного возросли (39 кПа).

Такой характер изменений давления в различных слоях толщи почвы (77 см) всецело объясняется особенностями влагообмена (Muromtsev et al., 2015) в зоне аэрации и ходом температуры в слоях установки датчиков давления и температуры. В начале ноября (6 числа) низкие значения положительных температур в слоях 30-33, 50-53 и 70-73 см составили соответственно +3.2, +3.1 и +3.9⁰С, а в верхнем (5-8 см) слое – отрицательная величина (-2.8⁰С). Отсюда следует, что различие величин в верхнем и нижнем слоях в 6.7⁰С (-2.8 ...+3.9) градусов – существенно при невысоких величинах температуры (-2.8...+3.9⁰С). В средних слоях (30-33 и 50-53 см) температура практически одинакова.

В дальнейшем, за трехнедельный период (6-21 ноября), температура почвы имела следующий ход. К 13 ноября она повысилась и составила 4.3, 4.4, 4.4 и 4.9⁰С в слоях 5-8, 30-33, 50-53 и 70-73 см, т.е. возросла на один - полтора градуса (по всей глубине), и практически выровнялась в пределах четырех слоев почвы.

Однако 21 ноября в слое 5-8 см температура понизилась до 0.2⁰С. В двух средних и нижнем слоях она достигла значений соответственно 1.9, 1.7 и 3.0⁰С. Резкое понижение её (от 4.3 до -0.1⁰С) в поверхностном слое обусловило повышение потенциала влаги 200 кПа. И это высокое значение его наблюдается до 17 декабря. Затем отмечается постепенное понижение: 18.12- 182 кПа, 19.12 - 137 кПа, 20.12 - 107 кПа, 21.12 - 83 кПа и 25. 12 - 37 кПа. И на этом уровне (37-39 кПа) давление влаги в верхнем слое находится в продолжение января и в начале февраля 2015 г.

Рассмотрим суточные динамики давления и температуры почвы по отдельным наиболее характерным датам ноября 2014 - февраля 2015 года. К 00 часам 11 ноября 2014 года давление составило величины в интервале 41- 39 кПа в слоях 5-12, 30-37, 50-57 и 70-77 см. Однако к концу суток (24-00) значение давления в слое 5-12 см весьма резко значительно составило 200 кПа. В слоях 30-37, 50-57 и 70-77 см давление не изменился и остался на прежних уровнях.

Причина – в резком понижении температуры почвы на глубине 5-12см до 0 °С, на всех других глубинах почвы она оставалась также на прежнем уровне.

В дальнейшем, вплоть до 20 декабря, температура в верхнем слое почвы удерживалась на уровне 0.0 - -0.1°С, давление за это время (к 00 часам) понизилось до 123 кПа, а к двенадцати ночи – стало 96 кПа. Температура в средних слоях почвы (30-33 и 50-53 см) составляла 0.6-0.7°С, в нижнем (70-73 см) – 1.4- 1.5°С. К 00 часам 25 декабря значения давления понизились до 40, 32, 36 и 45 кПа в слоях 5-12, 30-37, 50-57 и 70-77 см. Температура почвы во всех слоях оставалась на прежних уровнях. Следовательно, в условиях резкого изменения (понижения) температуры почвы до отрицательных значений давление влаги может весьма существенно изменяться даже в течение нескольких часов и нескольких минут.

В течение всего января температура поддерживалась на всех глубинах практически на прежних уровнях: 0.1-0.2, 0.7-0.8 и 1.4 -1.5°С в слое 5-8, 30-33, 50-53 и 70-73 см. К началу февраля она практически не изменилась, оставаясь на прежних уровнях во всех слоях почвы. Давление влаги также отмечается в интервале прежних значений, понизившись всего на 1-2 кПа в слоях 5-12, 30-37 и 50-57 см. И только в слое 70-77 см его значения понизились существенно (с 45 до 34 кПа). Это понижение давления происходит за счет уменьшения содержания влаги, осуществляемое в результате передвижения её вверх под действием градиента температуры к зоне промерзания или сильного охлаждения. Резких или значительных изменений давления влаги в течение этих периодов не наблюдается.

Таблица 5.2. Динамика давления влаги и температуры в варианте «Залежь» за период 6 ноября 2014 – 3 февраля 2015 г. (выборочные отдельные даты)

Дата, время	Давление влаги кПа 1	Потенциал динамики влаги кПа 2	Потенциал динамики влаги кПа 3	Потенциал динамики влаги кПа 4	Температура почвы 1, °С	Температура почвы 2, °С	Температура почвы 3, °С	Температура почвы 4, °С
-------------	----------------------------	---	---	---	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

2014-11-21 00:00:00	41	29	34	39	0.2	2.3	2.1	3.4
2014-11-21 03:00:00	41	29	34	39	0.2	2.3	2.1	3.3
2014-11-21 06:00:00	41	29	34	39	0.2	2.2	2.1	3.3
2014-11-21 09:00:00	42	29	34	39	0.1	2.2	2.1	3.3
2014-11-21 12:00:00	42	29	34	39	0.1	2.2	1.9	3.2
2014-11-21 15:00:00	42	29	34	39	0.2	2.1	1.9	3.2
2014-11-21 18:00:00	42	29	34	39	0.1	2.1	1.9	3.2
2014-11-21 21:00:00	54	29	34	39	0.1	2.1	1.9	3.2
2014-11-22 00:00:00	200	29	34	40	0	2.1	1.9	3.2
2014-12-20 00:00:00	123	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.5
2014-12-20 03:00:00	119	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.5
2014-12-20 06:00:00	115	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.5
2014-12-20 09:00:00	111	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.5
2014-12-20 12:00:00	108	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.5
2014-12-20 15:00:00	105	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.5
2014-12-20 18:00:00	101	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.5
2014-12-20 21:00:00	99	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.5
2014-12-21 00:00:00	96	32	36	45	-0.1	0.7	0.6	1.4
2014-12-25 00:00:00	40	32	36	45	0	0.7	0.7	1.4
2014-12-25 03:00:00	39	32	36	45	0	0.7	0.7	1.4
2014-12-25 06:00:00	39	31	36	45	0	0.7	0.7	1.4
2014-12-25 09:00:00	38	31	36	45	0	0.7	0.7	1.4
2014-12-25 12:00:00	38	31	36	45	0	0.7	0.7	1.4
2014-12-25 15:00:00	37	31	36	45	0	0.7	0.7	1.4
2014-12-25 18:00:00	37	31	36	45	0	0.7	0.7	1.4
2014-12-25	37	31	36	45	0	0.7	0.7	1.4

21:00:00								
2014-12-26 00:00:00	37	31	36	44	0	0.7	0.7	1.4
2015-01-09 00:00:00	38	31	36	41	0.1	0.8	0.7	1.5
2015-01-09 03:00:00	38	31	36	41	0.1	0.8	0.7	1.5
2015-01-09 06:00:00	38	31	36	41	0.1	0.8	0.7	1.5
2015-01-09 09:00:00	38	31	36	41	0.1	0.8	0.7	1.5
2015-01-09 12:00:00	38	30	36	41	0.1	0.8	0.7	1.5
2015-01-09 15:00:00	38	30	36	41	0.1	0.8	0.7	1.5
2015-01-09 18:00:00	38	30	36	41	0.2	0.8	0.7	1.5
2015-01-09 21:00:00	38	30	36	41	0.2	0.8	0.7	1.5
2015-01-10 00:00:00	38	30	36	41	0.2	0.8	0.7	1.5
2015-02-04 00:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4
2015-02-04 03:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4
2015-02-04 06:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4
2015-02-04 09:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4
2015-02-04 12:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4
2015-02-04 15:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4
2015-02-04 18:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4
2015-02-04 21:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4
2015-02-05 00:00:00	38	28	35	34	0.2	0.8	0.7	1.4

Отличительной особенностью динамики давления влаги в позднеосенний и зимний периоды является, прежде всего, то, что наблюдается повышение давления (по абсолютной величине) при околонулевой температуре (+0.2...0.0...- 0.1⁰C). Другая особенность её состоит в том, что при практически одинаковой температуре почвы (в области около нулевых её значений) давление в различные даты сильно различается по величине. В то же время

суточная динамика давления может различаться в течение одних суток на 30 и более кПа, а в отдельных случаях и в несколько раз (табл. 5.2. приложение).

Сказанное хорошо иллюстрируют данные табл.5.2 и приложение табл. 5.2 - 5.6. Так, с нуля часов 20 декабря до 00 час. 21 декабря температура почвы в слое 5-8 см понизилась от 0.2 до 0.0⁰С; в слоях 30- 33 и 50-53 см – в пределах 2.0-2.1, а в слое 70-73 см – 3.2⁰С. Давление влаги в слое 5 - 2 см изменялось в течение суток таким образом: 41 кПа (0.⁰⁰), 42 кПа (18.⁰⁰), 200 кПа (24.⁰⁰). Следовательно, за одни сутки величина давления возросла (с 41 до 200 кПа) в пять раз при весьма незначительном понижении температуры в этом слое почвы (с 0.2 до 0.0⁰С). В дальнейшем (22 ноября 2014 г) при понижении температуры -0.1⁰С величина давления не изменилась, и на уровне 200 кПа продержала оставаться вплоть до 19.12.14 г. Через сутки (20.12.14) при неизменной температуре (-0.1⁰С) понизилась до 123 кПа, а еще через сутки –99 кПа. Последовавшее за этим (25 декабря) небольшое повышение температуры при 0⁰С привело к понижению давления и составило 40 кПа, а повышение температуры в дальнейшем – 0.2⁰С не оказало на потенциал заметного влияния. И его значение на уровне 38-37 кПа наблюдается до 4 февраля 2015 г.

Причина такого характера динамики давления заключается, вероятно, в изменении содержания влаги в зоне замерзания (или сильного охлаждения) почвы. Эти изменения обусловлены как испарением (вымерзанием) влаги из слоя промерзания, так и подтоком её из нижележащих более теплых и влажных слоев почвы. Скорость этих процессов (мерзлотного испарения и подтягивания влаги) весьма невелика, поэтому требуется значительное время для накопления или уменьшения величины влаги до, своего рода, критической величины, после чего и происходит повышение или понижение величины давления. Интересно также и то, что в остальной толще почвы (8-73 см) значение потенциала в течение этих суток не изменилось и находилось в пределах 29-40 кПа. Высокое значение давления (200 кПа) продолжало оставаться вплоть до 20 декабря.

С полуночи 20 на 21 декабря температура почвы в верхнем слое (5-8 см) продолжало оставаться на уровне 0.1⁰С, в 50-53 см – в пределах 0.6-0.7⁰С, а в

слое 70-73 см – 1.5°C . Значение давления в течение суток изменилось так: 123 кПа (0^{00}), 108 кПа (12^{00}), 101 (18^{00}) и 37 кПа (24^{00}). Отсюда, давление влаги в течение одних суток понизилось в три раза (с 123 до 37 кПа) при сохранении практически тех же самых значений температуры в слое 5-8 см ($0.0...0.1^{\circ}\text{C}$).

По окончании пяти суток давление влаги (25-26 декабря 2014 г.) при нулевой температуре (0°C) в верхнем слое давление влаги понизилось 40 кПа. В течение одних суток составил следующие величины: 40 кПа (0^{00}), 38 кПа (12^{00}), 37 кПа (18^{00}) и 37 кПа (24^{00}). В среднем и нижних слоях почвы температура продолжает оставаться на отмеченных ранее уровнях: $0.7-0.6^{\circ}\text{C}$ и 1.5°C . Отмеченные уровни значений давления влаги и температуры почвы на всех её 4-х уровнях продолжали оставаться до 9-10 января 2015 г., и далее вплоть начала февраля. В это время (4-5 февраля 2015г.) суточная динамика аналогичным образом повторяет динамику 25-26 декабря 2014 г. То же самое и температура почвы в слоях: 5-8 см находится на уровне 0.2°C , 30-33, 50-53 см – $0.8-0.7^{\circ}\text{C}$ и 70-73 см – 1.4°C .

В дальнейшем давление влаги на всех глубинах почвы продолжает очень медленно понижаться в пределах 6-24 кПа. Температура почвы за этот период практически не претерпела сколько-нибудь заметных изменений, составляя, как и ранее, величины в пределах $0.2-0.4^{\circ}\text{C}$, $0.8-0.9$, $0.7-0.8$ и $1.3-1.4^{\circ}\text{C}$ соответственно в слоях 5-8 см, 30-33, 50-53 и 70-73 см.

В продолжение следующего периода (с 3 марта по 10 апреля), т.е. в течение сорока суток, давление влаги по-прежнему продолжает медленно понижаться на всех уровнях почвы. К концу этого периода давление влаги достигло значений 13 кПа в слое 5-12 см, 7 кПа в 30-37 и 50-57 см и 8 кПа в слое 70-77 см. Температура почвы существенных изменений не претерпела 0.7 , 0.8 , 0.7 и 1.2°C . С 9 марта наблюдается резкое понижение давления влаги с 29 до 14 кПа в слое 5-12 см и 10-12 кПа в нижележащих слоях. При этом температура почвы практически не изменилась (табл. 5.3 приложения).

Отмеченные выше медленные и незначительные понижения значений давления, также как и значительные и быстрые, происходят в связи с

увеличением содержания влаги в анализируемой толще почвы (0-77 см). Возрастание влаги в талой почве происходит после выпадения атмосферных осадков, а в замерзшей сверху (подмороженной) почве – путем подтягивания её из нижележащих более влагонасыщенных слоев. В зимний период с низкими положительными и отрицательными величинами температуры поток влаги из нижних, более теплых и влажных слоев почвы, к фронту промерзания (или сильного охлаждения) осуществляется путем диффузии парообразной влаги. В талой почве с положительной динамикой температуры, – в виде диффузии пара и в жидком виде. Движущей силой переноса влаги является градиенты температуры и давления влаги (Муромцев, 1991; 2007). Понижение давления влаги (при постоянной влажности) при повышении температуры, объясняется возрастанием подвижности и активности влаги. Последние приводят к эффекту, аналогичному повышению ее содержания.

Таким образом, из всего вышеизложенного следует, что при повышении температуры почвы давление влаги понижается, а с понижением её температуры, – повышается. Это происходит потому, что поверхностное натяжение воды (сигма) уменьшается; повышение температуры воды от 0 до 50⁰С вызывает уменьшение поверхностного натяжения воды 7.73 дн/см. Поскольку увеличение температуры обуславливает уменьшение поверхностного натяжения воды, то, следовательно, уменьшаются затраты энергии на извлечение единицы массы (объема) воды из почвы. Почвенная влага становится подвижной и активной. Степень изменения (повышение или понижение) давления зависит от содержания влаги и водно-физических свойств почвы.

5.4. Давление влаги в условиях фазового перехода почвенного раствора

Температура почвы к первой декаде ноября с уровня 18-16⁰С в июле и августе понизилась до 4-2⁰С (в целом по профилю почвы). Далее, к декабрю она в слое 5-8 см перешла в область невысоких отрицательных величин (-1...-2⁰С),

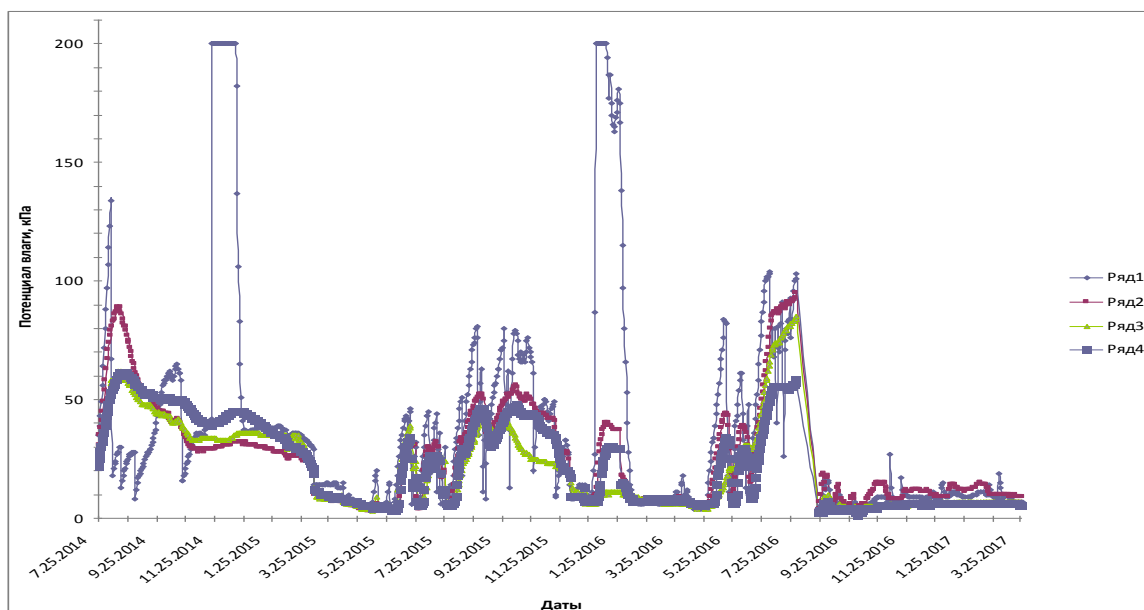


Рис. 5.7. Динамика давления влаги в дерново-подзолистой суглинистой слабооглеенной почве: 1- в слое 5-12 см, 2- 30-37 см. 3 –50-57 см и 4 – в слое 70-77 см.

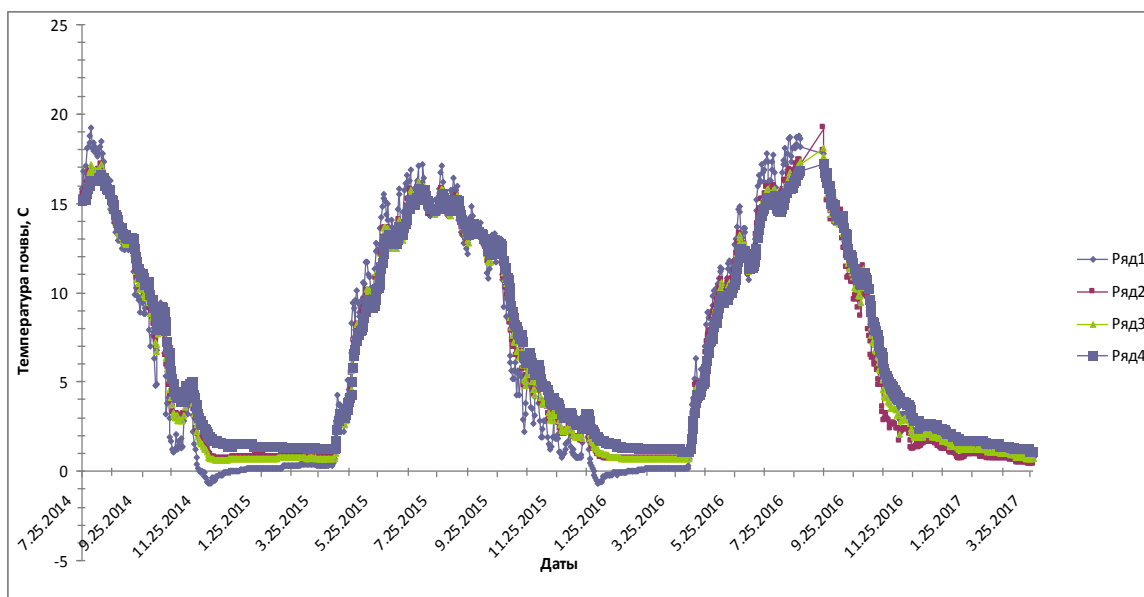


Рис. 5.8. Динамика температуры в дерново-подзолистой суглинистой слабооглеенной почве: 1- слой 5-8 см, 2 - 30-33 см, 3- 50-53 см и 4 - 70-73 см.

а в слоях 30-33, 50-53 и 70-73 см – понизилась до невысоких положительных значений ($0.7-1,5^{\circ}\text{C}$). Эти значения температуры практически не изменились и в течение всей зимы и ранней весны, вплоть до 5 апреля 2016 года (рис. 5.7 и 5.8). Существенные изменения давления почвенной влаги наблюдаются в основном в верхнем (5-8 см) слое в летний и раннезимний (декабрь) периоды 2014 и 2015

гг. Его летние значения, как отмечали выше, колеблются в пределах 150 - 5 кПа.

Однако в начале декабря они резко, практически мгновенно, что называется, «взмыли» вверх до 200 кПа, и оставались на этом высоком уровне в течение трех недель. И это изменение давления полностью согласуется с динамикой температуры почвы: на всех глубинах почвы она приблизилась к оси абсцисс (к нулю), а в самом верхнем (5-8 см) слое – перешла в область отрицательных значений. Содержание влаги, особенно уменьшение её, способное повлиять на резкий «всплеск» давления, оставалось стабильным, и не могло уменьшиться в замерзшем верхнем слое почвы. Возможный приток диффузионным путём парообразной влаги из нижележащих талых слоёв почвы, наоборот, привел бы к понижению потенциала.

Отсюда следует, что при переходе температуры из области положительных значений в область отрицательных величин, давление влаги резко возрастает (в пять – шесть раз), причем только в том слое почвы, где именно наблюдается изменение температуры. При этом важным являются не абсолютные значения изменений температуры, а сам процесс переход её из области положительных в область отрицательных значений. Подобное явление повторилось (практически в тех же значениях давления) и в декабре 2015 года (рис.5.7 и 5.8), что свидетельствует о постоянстве вскрытого внутрипочвенного термодинамического процесса, не описанного ранее в отечественной почвоведческой и гидрологической литературе. Этот процесс обусловлен фазовым переходом почвенного раствора, представляющим собой процесс перехода вещества из одной формы в другую при изменении одного из основных параметров среды, – температуры (Корякин, 2003).

Резкое возрастание потенциала (давления) в условиях фазового перехода объясняется специфическим состоянием почвенной влаги: активность и подвижность ионов воды весьма существенно снижаются, что равносильно уменьшению содержания влаги. Концентрация почвенного раствора возрастает. Процесс перехода почвенного раствора сопровождается уменьшением

внутренней энергии (тепла), что подтверждается повышением потенциала влаги.

Однако в декабре 2016 января и февраля 2017 гг. крупным событием резкого скачкообразного повышения давления влаги (около 100 кПа) не произошло. Высокого пика потенциала влаги не произошло потому, что зима, хотя и изредка была холодной, но многоснежной и отрицательных значений не было.

За всё время наблюдений (июль 2014 – март 2016 г.г.) значительного повышения потенциала влаги, сравнимого с повышением его в начале декабря 2014 и 2015 г.г. не наблюдается. Правда, отмечено заметное повышение его (до 137 кПа) в начале июля 2014 г., произошедшего за счёт понижения содержания влаги до значений ниже оптимального (около 0.5 НВ).

Динамика давления и температуры почвы 2017 г. практически не отличаются предыдущими годами (2014 – 2016 гг.). Давление влаги в верхнем слое (5-12 см) понизилось к концу декабря 2014 г до 40-35 кПа, и приблизилось к его значениям в толще почвы 30-77 см. Динамика его в слоях 30-37, 50-57 и 70-77 см в течение всего времени наблюдений стабильна, без заметных изменений в ту или иную сторону. Она наблюдается в течение длительного времени, вплоть и до марта 2015 года. Динамика температуры почвы характеризуется резкими изменениями и многими переходами, например, в 2016 г. Так, температура понижается в интервале $-1.3...-15.2^{\circ}\text{C}$ (07.02.17 г.), перемежаясь с оттепелями – $0.7-11.7^{\circ}\text{C}$. Относительная влажность воздуха составляет на уровне 96%, снижая до 47-41 %. Осадков мало: от 0.1 до 2.2 мм. Атмосферное давление преимущественно высокое в пределах 748-772 мм, достигая даже сомнительным, слишком высокие (772 мм) значения выше 760 мм. Солнечная радиация изменяется резко и весьма в огромных пределах: 14 - 634 ккал.

Давление влаги даже в декабре с учётом отрицательных значений невысокие значения составляет около 14 кПа (в слое 7-12 см). Аналогичные значения давления составляют и в пределах 10 - 6 кПа в слоях в толще почвы

30-77 см. В соответствии с данными температуры почвы составляют величины в пределах 1.9°C (23.12.16 г.) - 0.8°C (5-8 см) и в интервале $0.4 - 2.4^{\circ}\text{C}$ (в пределах профиля почвы 3-77 см). Подчеркнём ещё, что температура почвы в течение всего этого зимнего периода практически не претерпела сколько-нибудь заметных изменений, составляя, как и ранее, величины в пределах $0.2-0.4^{\circ}\text{C}$, $0.8-0.9$, $0.7-0.8$ и $1.3-1.4^{\circ}\text{C}$ соответственно в слоях 5-8, 30-33, 50-53 и 70-73 см (табл. 5.1 приложения).

Таким образом, в течение зимнего периода температура почвы на всех контролируемых уровнях находится в пределах невысоких положительных значений ($0.3 - 1.4^{\circ}\text{C}$). Температура воздуха колеблется в пределах от $-3 \dots -5^{\circ}\text{C}$ до $+0.2 \dots +2^{\circ}\text{C}$, осадки незначительны (13.4 мм), а суммарное испарение – в пределах 0.1-1.0 мм. Давление влаги понижается на всех контролируемых глубинах почвы в среднем с 33-28 до 31-23 кПа. Отсюда, сравнительно небольшое понижение потенциала происходит при, практически, постоянных значениях температуры и осуществляется за счет диффузионных парообразных накоплений влаги из нижележащих слоев почвы. Отмеченные ранее медленные и незначительные понижения значений потенциала (давления) на фоне стабильного состояния температуры почвы происходят в связи с увеличением содержания влаги. Возрастание её значений в 0-77 см толще почвы происходит путем подтягивания из нижележащих слоев. Сначала, в зимний период и в периоды с отрицательными величинами температуры, – путем диффузии парообразной влаги, а в талой почве с положительной динамикой температуры, – и в жидком виде. Понижение потенциала (давления) влаги происходит при повышении температуры, воздействующей на влагу в направлении увеличения ее подвижности и активности, обуславливая понижение потенциала. А это, в свою очередь, приводит к эффекту, аналогичному повышению содержания её.

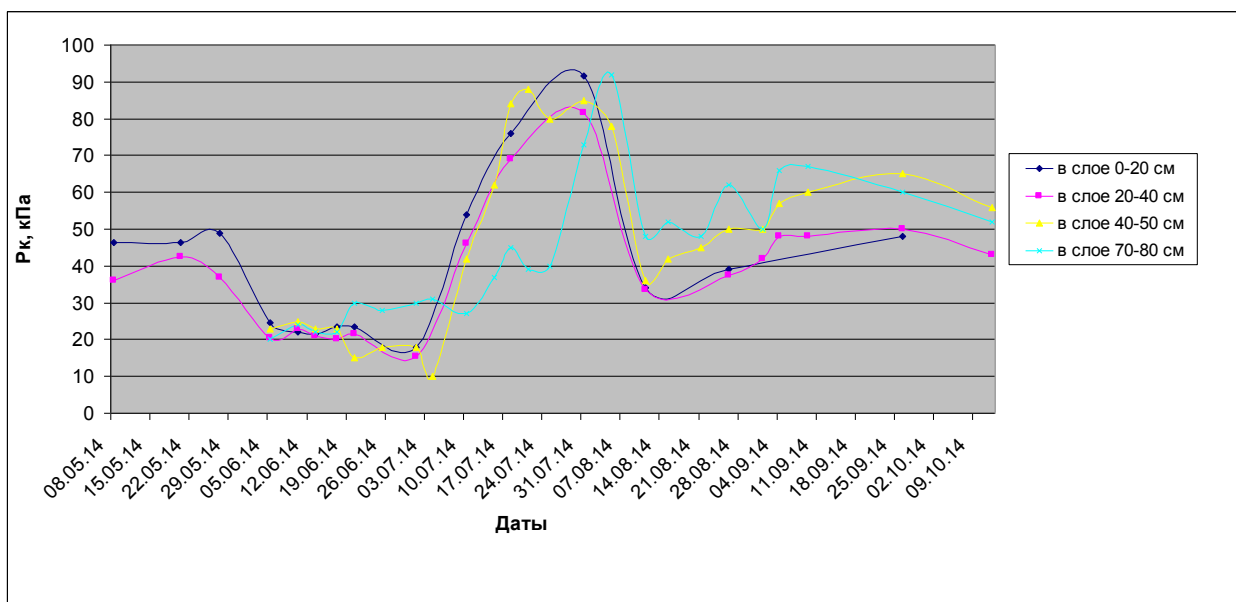


Рис. 5.9. Динамика давления влаги в различных слоях почвы основного опытного поля. Площадка 4.

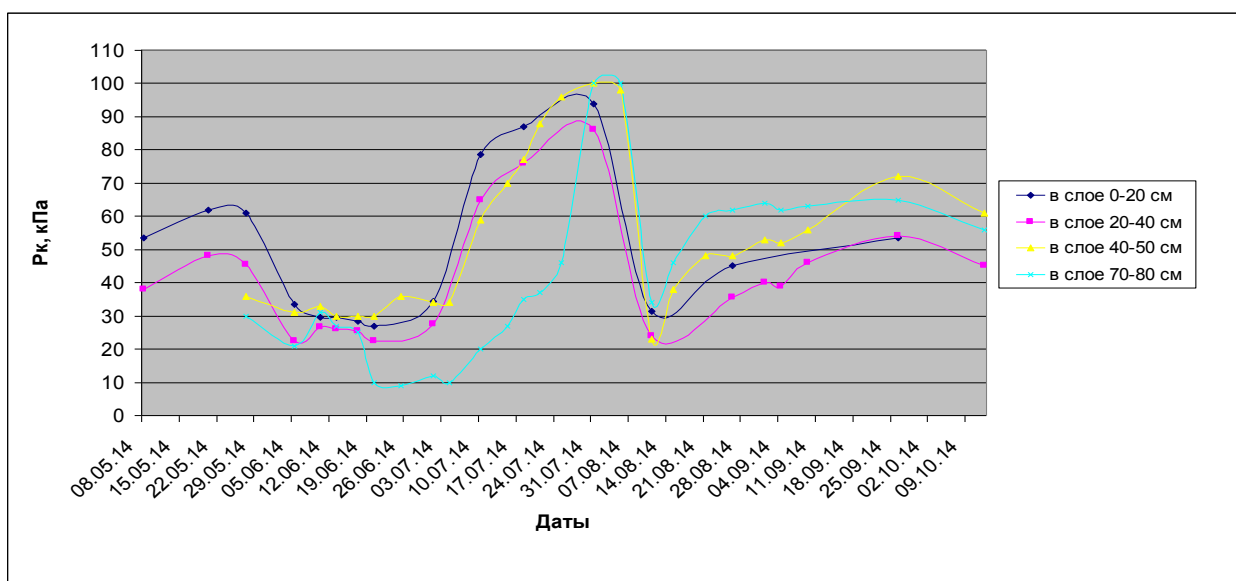


Рис. 5.10. Динамика давления влаги в различных слоях почвы опытного поля. Площадка 2.

Особенностью динамики давления является понижение его значений с глубиной в связи с большим содержанием здесь влаги, обусловленной как меньшим ее расходом на суммарное испарение, так и подпитыванием из грунтовых вод (Муромцев, 2007). В конце мая и в течение двух с половиной недель июня потенциал влаги практически во всём почвенном профиле

остаётся относительно высоким и незначительно превышает критические величины (рис. 5.9 и 5.10).

После выпадения 20 июня атмосферных осадков в сумме 18 мм давление на всех исследованных глубинах существенно понизилось 10 - 20 кПа, что заметно ниже критических величин. Далее вплоть до 7 августа заметных осадков или не было вообще, или они выпадали малыми (несколько мм) величинами, не оказывавшими заметного положительного влияния на увлажнение даже самого верхнего слоя почвы.

В засушливый период, длившийся более полутора месяцев, давление влаги на всех контролируемых глубинах существенно повысилось (рис. 5.9 и рис. 5.10). И уже к концу июля (25-30 числа) достиг значений 78-62 кПа (площадка 2), 79-20 кПа (площадка 4) и в дальнейшем возрос до значений 89-67 кПа на всех площадках вплоть до глубины 50 см. И только в слое 70-80 см его значения все ещё не превышают 40-45 кПа (площадка 4). Однако к началу августа давление в слое 70-80 см повысилось до самых максимальных значений (100 кПа). 7 и 8 августа совокупно выпало 46 мм осадков и давление в течение нескольких дней понизилось 30-50 кПа в слоях 20-50 кПа в слоях 20-70 см. Из этого факта следует, что, казалось бы, весьма значительной суммы осадков (46 мм за два неполных дня) оказалось явно не достаточной для промачивания почвенной толщи дерново-подзолистой почвы до глубины 80 см. Поэтому значения давления влаги в слое 40 - 80 см понизились лишь до уровня критических значений.

В дальнейшем в течение августа и сентября динамика давления влаги повторяет ход и особенности изменений, описанные выше (июнь-июль). Заметные осадки за этот период выпадали лишь 17 августа (20.2 мм) и 9 сентября (16.8 мм). Но они не повлияли заметным образом на величину потенциала (давления). Его значения в этот период находились в пределах 40-50 кПа в слоях 0-20 и 20-40 см, кратковременно понижаясь при выпадении небольших осадков, и 50-65 кПа в слоях 40-50 и 70-80 см, обнаруживая тенденцию к понижению значений к концу исследований.

5.5. Выводы

Величина изменения температуры почвы в течение одних суток невелика и лежат в пределах 1.5°C в верхних и $0.4-0.3^{\circ}\text{C}$ в нижних слоях почвы, приближаясь к нулю с глубиной и стабилизацией содержания влаги. Минимальная величина суточного изменения температуры в самых верхних слоях наблюдается к 9-12 часам, а в слоях на уровнях 30 и 50 см – к 15 часам. Суточные изменения давления влаги обычно (в стабильных температурных условиях) незначительны и находятся в пределах 2-3 кПа. В нижних слоях почвы (глубже 50 см) при минимальных значениях влагообмена и стабилизации содержания влаги суточные изменения могут отсутствовать вообще.

Все виды понижения давления влаги (медленные и быстрые, незначительные и существенные) происходят с увеличением содержания влаги и температуры почвы. В зимний период и в периоды с отрицательными величинами температуры, – путем диффузии парообразной влаги, а в талой почве с положительной динамикой температуры, – и в жидком виде. Движущей силой переноса влаги является градиенты температуры и давления влаги.

Установлено явление резкого скачкообразного повышения давления влаги при переходе положительных значений температуры почвы через ноль в область отрицательных величин, то есть в условиях перехода почвенного раствора (при стабильном состоянии всех других параметров среды). Это явление, не описанное ранее в отечественной гидрологической литературе, названо нами *фазовым переходом почвенного раствора*. Оно представляет собой процесс перехода вещества из одной формы в другую при изменении одного из основных параметров среды – температуры с потерей внутренней энергии почвенного раствора.

ГЛАВА 6. ДОСТУПНОСТЬ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ РАСТЕНИЯМ

6.1. Общее представление о влагообеспеченности почв и растений

Известно, что основные элементы климата наиболее полно учитываются коэффициентом увлажнения (КУ), который представляет собой отношение

среднемноголетних годовых сумм осадков (ОС) к слою испарения (Харченко, 1975; Мажайский, 2002; Мажайский и др., 2013). При влажности почвы, соответствующей наименьшей влагоемкости, обуславливает оптимальные условия влаго- и воздухообеспеченности растений. Влажность почвы, соответствующая разрыву капиллярных связей, называют влажностью разрыва капилляров (ВРК). Она характеризует нижний предел оптимальной влагообеспеченности растений. Для суглинистых и глинистых почв ВРК составляет 0.60–0.75 НВ (Судницын, 1979; Муромцев, 1991; Мажайский, 2002; Роде, 2008; Мажайский и др., 2012).

Различная требовательность растений к водному режиму почвы сложилась в процессе их эволюционного развития и под влиянием деятельности человека. Современные формы растений различаются между собой по отношению к водному режиму почвы в видовом и сортовом отношении. Отношение различных растений к водному дефициту в разные периоды произрастания неодинаково. Небольшое и кратковременное обезвоживание растительных тканей не вызывает глубоких изменений в свойствах протоплазмы, и после устранения полуденного водного дефицита у растений сравнительно быстро восстанавливается нормальная жизнедеятельность (Долгов, 1948; Гусев, 1959; Baver, 1956; Gardner et al, 1975).

С уменьшением тургора клеток до заметного подавления ростовых процессов интенсивность фотосинтеза у растений удерживается ещё на сравнительно высоком уровне. При нормальном водоснабжении растений процессы роста и оттока продуктов фотосинтеза могут достаточно полно протекать в те часы суток, когда растительные ткани имеют наибольшую водонасыщенность. Но при более глубоком и продолжительном водном дефиците происходят необратимые изменения свойств плазмы и при самых благоприятных условиях водоснабжения в последующее время эти культуры дают пониженный урожай (Слейчер, 1970; Судницын, 1979; Baver, 1956). Более глубокий и продолжительный водный дефицит возникает у растений в засушливый период. Они могут подвергаться воздействию атмосферной и

почвенной засух. В орошаемом земледелии чаще наблюдается действие атмосферной засухи, особенно когда она наступает внезапно и сопровождается высокими температурами, суховеями и мглой (Мажайский, 2012, 2012; Муромцев, Мажайский и др., 2013; Durner et al, 2006).

Высокая чувствительность к понижению влажности почвы в период формирования органов плодоношения объясняется возрастающим значением интенсивности ростовых процессов в образовании репродуктивных органов. Даже небольшое обезвоживание растений в этот период заметно задерживает деление и растяжение растущих клеток, что приводит к приостановке дифференциации генеративных органов и резкому уменьшению бутонов в соцветии и колосков в колосе. Такой период в жизни растений называют критическим (Слейчер, 1970; Судницын, 1979; Семёнов и др., 2005; Phoon Kok-Kwang et al, 2010).

Зная сроки наступления критического периода, можно так распределять вегетационные поливы, чтобы на его протяжении не допускалось сильное подсушивание почвы или приурочивать поливы к его началу. Уровень грунтовых вод для хлебных злаков целесообразно его снижение до 70 см, а для растений, имеющих стержневую корневую систему, – ниже 80-90 см. Оптимальное развитие луговых трав возможно лишь в том случае, если содержание воздуха в почве будет не менее 6-10 объемных процентов, зерновых (пшеница, овес) – 10-15 %, корнеплодов – 15-20 % (Семёнов и др., 2005).

Обеспечение сельскохозяйственных культур необходимым количеством воды для получения высоких урожаев является первоочередной задачей орошения, которое нередко необходимо и в южнотаёжной подзоне лесной зоны. Для правильного регулирования водного режима почвы при орошении необходимо знать главнейшие биологические закономерности водного режима самих растений в связи с разнообразными природными и агротехническими условиями их возделывания. Длительное переувлажнение орошаемых земель может привести к их заболачиванию и засолению. Отношение растений к

кратковременному переувлажнению верхних слоёв почвы зависит от потребности их в кислороде и температурных условий.

В прохладные дни признаки угнетения не наблюдаются даже после обильного полива. Но в жаркую пору вскоре после полива некоторые культуры (картофель, капуста, бахчевые) могут страдать от избыточного увлажнения. Избыточное увлажнение почвы задерживает рост и развитие растений, а при длительности переувлажнения обуславливает снижение количества зерен в главных и боковых побегах. Орошение дает большой эффект не только на юге и в зоне неустойчивого увлажнения, но и в зоне избыточного увлажнения в засушливые периоды.

6.2. Оптимизация водного режима почв и влагообеспеченности растений

В условиях орошения в почвах изменяются влажность, температура, теплоемкость, пористость, структура, водопроницаемость и водоудерживающая способность, сила сцепления почвенных частиц, содержание и распределение по горизонтам в почве химических элементов и соединений, уровень грунтовых вод и их минерализация. При отсутствии подземного оттока воды обильные поливы повышают уровень грунтовых вод, и могут вызвать заболачивание орошаемых земель (Зайдельман, 1985). Если грунтовые воды сильно минерализованы и содержат вредные соли, то в результате большого испарения воды в верхнем слое отлагается много солей, почва оказывается засоленной (вторичное засоление) и непригодной для выращивания сельскохозяйственных культур. Орошение положительно влияет на микробиологические процессы, протекающие в почве. Оно замедляет минерализацию растительных остатков, способствует накоплению гумуса и активизирует процесс нитрификации; создает благоприятные условия для жизни и размножения дождевых червей, которые улучшают структуру почвы (Качинский, 1970).

В орошаемых условиях изменяется микроклимат приземного слоя воздуха орошаемой территории, понижается дневная температура воздуха (на высоте 0.5 м разница достигает 6⁰C), а ночью повышает минимальную её

величину (разница достигает 3°C). В холодную погоду с помощью орошения согревают почву и воздух, что позволяет обезвредить действие небольших заморозков (до -3.5°C). Избыточное увлажнение минеральных земель приводит к сильному снижению их продуктивности. Осушаемые земли в основном используют под пастбища, сенокосы, посевы зерновых и кормовых культур. Благодаря регулированию водного режима урожайность сельскохозяйственных культур на осушаемых землях на 25–30 % и более превышает урожайность на полях, не требующих осушения. Режим осушения характеризуется следующими основными показателями: влажностью и аэрацией почвы, продолжительностью затопления почвы и подтоплением ее верхних слоев в различные периоды вегетации, глубиной залегания подземных вод. Они оцениваются пределами оптимальной влажности и содержанием воздуха в корнеобитаемом слое почвы, интервалами оптимального колебания уровней грунтовых вод (верховодки) в вегетационный период. Благоприятные условия воздушного режима обеспечиваются при суммарном содержании кислорода и углекислого газа в почвенном воздухе корнеобитаемого слоя около 20–21 % от объема воздуха. Если углекислого газа содержится 2–3 %, то кислорода должно быть не менее 15 % (Семёнов и др., 2005).

Оптимальные запасы влаги почвы для большинства зерновых культур растений составляет не менее 0.70–0.85 % от наименьшей влагоемкости, а корнеплоды – 0.60–0.65 %. Обычно в начале вегетации для растений требуется более высокая влажность корнеобитаемого слоя почвы, в период формирования урожая, особенно в фазу созревания, она может быть снижена. а мелиорируемых землях оптимальную влажность необходимо создавать в активном слое почвы, мощность которого определяется в первую очередь глубиной распространения корневой системы сельскохозяйственных растений (Качинский, 1970; Семенов и др., 2005; Мажайский, 2012; Муромцев, Мажайский и др., 2013; Green et al, 2013).

Водный режим почв формируется под влиянием прихода и расхода влаги, изменяющихся во времени и во взаимосвязанных между собой процессах. В

качестве характеристики водного режима чаще всего используют прямые показатели содержания влаги в почве: влажность и влагозапасы. При этом влажность почвы является наиболее доступным показателем, который может быть измерен непосредственно на поле. В водобалансовых расчетах используются влагозапасы, которые напрямую связаны с влажностью почвы (Мажайский, 2002; Nolza et al., 2016):

$$W = \alpha \int_0^h \beta \cdot dh \quad (6.1),$$

где W – влагозапасы почвы, мм; β – влажность почвы в долях единиц (содержание в объеме почвы); α – коэффициент, уравнивающий размерности входящих величин; h – расчетный слой почвы, мм.

Из приведенной формулы видно, что влагозапасы пропорциональны мощности почвенного слоя, для которого они рассчитаны. Расчетный слой (слой регулирования влагозапасов), строго говоря, не идентичен увлажняемому слою. Под слоем регулирования влагозапасов понимается почвенный слой, в котором посредством орошения осуществляется регулирование влагозапасов в заданных пределах.

Увлажняемый слой – это слой, промачиваемый поливной водой. Очевидно, что слой увлажнения не может превышать слоя регулирования. Ни тот, ни другой не идентичны корнеобитаемому слою почвы, который зависит от внешних условий, фаз развития и видов растений. Растения достаточно надежно приспособлены к колебаниям почвенной влаги в течение вегетационного периода. В интервале от влажности завядания до влажности, соответствующей разрыву водных капиллярных связей, растения могут существовать без видимых признаков угнетения. Однако продуктивность их остается на довольно низком уровне, резко повышаясь с увеличением количества влаги. Эта влага неподвижна в почве и относится к статически доступной, использование которой возможно только при непосредственном контакте ее с корнями растений. В диапазоне от влажности разрыва капиллярных связей до наименьшей влагоемкости почвенная влага способна

передвигаться к корням растений, поэтому относится к динамически доступной (Мажайский и др., 2012, 2014). Процессы транспирации и накопления растительной массы в данном случае зависят в основном от погодных условий и пищевого режима, в том числе от фитотоксичности химических элементов.

В уравнении водного баланса определение величины водопотребления – наиболее трудоемкий процесс. Эта составляющая водного баланса, по мнению Константинова (1978), Nolz et al. (2016) является «краеугольным камнем нормирования орошения». Среди существующих методов расчета водопотребления орошаемых культур широкое применение нашли методы, основанные на эмпирическом определении основных внешних и внутренних факторов суммарного испарения, – биофизические, метеорологические и другие (Алпатов, 1969).

Метод водного баланса, в том числе при использовании испарителей, несмотря на отдельные недостатки, является одним из основных для определения водопотребления сельскохозяйственных культур. Процесс водопотребления обусловлен большим числом факторов, которые, в свою очередь, также очень сильно меняются (метеорологические показатели, урожайность, свойства культур и состояние почв). Наиболее тесная зависимость водопотребления отмечается с радиационным балансом. С ним одновременно имеют тесную связь и все другие метеорологические факторы.

Для выявления метеорологических факторов, оказывающих наибольшее влияние на водопотребление, (для условий Рязанской области) проведен корреляционный анализ его недельных и отдельно – суточных значений с показателями тепло- и влагообеспеченности (Мажайский, 2012, 2014;). Наиболее тесная связь водопотребления отмечена с суммарной радиацией, радиационным балансом и дефицитом влажности воздуха ($r = 0,85-0,64$), существенная – с продолжительностью солнечного сияния, температурой и влажностью воздуха ($r = 0,50-0,65$), менее устойчивая – со скоростью ветра, испарением с водной поверхности, осадками и температурой почвы ($r = 0,32-0,40$).

Наиболее тесной оказалась связь суточного водопотребления с дефицитом влажности воздуха, измеренным в 14-15 часов дня. Он является экстремальным значением и более точно характеризует условия испарения за сутки по сравнению со среднесуточным дефицитом. В свою очередь, радиационный баланс тесно коррелирует с дефицитом влажности воздуха, а затем с температурой и влажностью воздуха. В суточном периоде связь между водопотреблением и радиацией имеет линейный характер по фазам развития культур. Переход радиационного баланса от отрицательных значений до положительных происходит в среднем через час после восхода солнца, а обратный переход наблюдается вечером, за 1.5 часа до захода солнца (Константин, 1978; Мажайский, 2002; Муромцев, Мажайский и др., 2013; Nolza et al, 2016).

Водопотребление совпадает с началом и концом солнечного сияния. Однако отсутствие максимального значения в этом показателе снижает корреляционную связь и возможность его использования при расчетах водопотребления. Продолжительность солнечного сияния в значительной степени является фактором, определяющим радиационный баланс и дефицит влажности воздуха. На протяжении суток температура, относительная влажность и дефицит влажности воздуха в динамике имеют одинаковые тенденции. Минимальные значения температуры и дефицита, максимальные величины влажности воздуха совпадают с минимумом солнечной радиации.

В заключение раздела следует отметить, что точность расчетов водопотребления по водному балансу почв создает возможность для её успешного применения в рассматриваемой зоне. Положительными сторонами его в сравнении с другими методами и подходами является то, что в расчетах используются метеофакторы, достаточно точно определяющие водопотребление, учитывается вид связи между ними. Исполняющихся по фазам развития растений, продолжительность которых в условиях конкретных по теплообеспеченности лет, определяется суммой среднесуточных температур

воздуха, позволяет более точно рассчитать распределение водопотребления внутри периода вегетации.

6.3. Оценка влагообеспеченности почв и растений

Проблеме оценке водного режима почв и влагообеспеченности растений посвятили свои труды многие выдающиеся ученые-почвоведы, мелиораторы и физиологи растений. Укажем лишь только на некоторых из них Долгов (1948), Гусев (1959), Качинский (1970), Судницын (1979), Воронин (1984), Муромцев (1991), Мажайский (2002, 2012), Семёнов и др. (2005), Роде (2008), Муромцев, Мажайский и др. (2013) и другие. Водный режим почв и влагообеспеченность растений неразрывно связаны между собой, поэтому их оценивают категориями и понятиями влагообеспеченности почв. В соответствии с определением (Мелиоративная энциклопедия, 2003) влагообеспеченность растений уподобляется влагообеспеченности почв. Последняя (влагообеспеченность почвы) представляет собой отношение запаса продуктивной влаги в почве к запасу, соответствующему наименьшей влагоемкости почвы и диапазону активной влаги (Качинский, 1970) или интервалу оптимального увлажнения (интервал оптимальной влажности, оптимальных запасов влаги и другие) почв. Под верхним пределом оптимального содержания влаги в почве понимается наименьшая влагоемкость (НВ), а под нижним пределом – интервал влаги, равный $0.8-0.6$ НВ (Качинский, 1970; Воронин, 1984; Судницын, 1979; Роде, 2008). Однако возможно ли оценивать влагообеспеченность растений, исходя из понятий влагообеспеченности почв? Можем ли мы в полной мере переносить это понятие почвы на растение?

В основе большинства действенных методов оценки влагообеспеченности растений, так или иначе, лежит информация о верхнем и нижнем пределах оптимального интервала влажности почв. В качестве критерия оптимальности водного режима почв обычно служит урожайность возделываемых культур. Однако урожай культур – показатель интегральный, конечный, и его

невозможно использовать для оценки влагообеспеченности растений в процессе их роста и формирования урожая.

Казалось бы, поддержание запасов влаги в почве на оптимальном уровне (например, 0.7 НВ) должно обеспечивать получение высоких и устойчивых урожаев. В действительности все обстоит гораздо сложнее, хотя бы потому, что даже запасы влаги (ЗВ), равных наименьшей влагоемкости, нередко оказывается недостаточно для покрытия расходов их на транспирацию (Т), абсолютное значение которой очень сильно зависит от испаряемости (E_0).

Например, при высокой испаряемости в лесной зоне (3-5 мм/сут.), когда влажность воздуха опускается до 30-25 %, а температура воздуха поднимается до 25-30⁰С, растению для поддержания нормальной жизнедеятельности необходим уровень абсолютной транспирации (АТ), соответствующий испаряемости, т. е. $АТ = E_0$. Иными словами, поток влаги из почвы в растение должен удовлетворять потенциально возможной транспирации, соответствующей (равной) испаряемости, т.е. поток влаги (I) = $АТ = T_0 = E_0$. Однако из-за несоответствия скорости потока влаги через границу «почва – корень растения» скорости потока ее на границе «лист растения – атмосфера» часто в природных условиях имеем ситуацию: поток влаги из почвы в растение $(I) < АТ < T_0 = E_0$.

Для достижения такой высокой интенсивности АТ необходимо обеспечить соответствующую плотность потока влаги из почвы в растение. Однако плотность потока влаги в системе определяется не только ее содержанием в почве, но и сопротивлением проводящей системы «твердая фаза почвы – паренхима – сосуды корня, стебля и листьев». В результате возникает несоответствие между поступлением влаги из почвы в растение и расходом ее на транспирацию, что приводит к возникновению водного дефицита влаги в листьях, к перманентному их завяданию и снижению темпов наращивания полезной продукции.

Состояние, движение и доступность почвенной влаги для растений зависят от комплекса природных и антропогенных факторов. Параметры

природной среды можно подразделить на три взаимосвязанные между собой группы, характеризующие различные части системы «почва – растение – атмосфера» (Муромцев, 1991; Семёнов и др., 2005; Муромцев, Мажайский и др., 2013; Nazaretsyan et al, 2013). К первой группе относят факторы, определяемые почвенными условиями: гранулометрическим составом, сложением и структурой почвы, гидрологическим режимом территории и другими. Вторую группу составляют факторы, связанные с биологическими и физиологическими особенностями растений: степенью жаро- и холодоустойчивости, мощностью надземной и подземной биомасс, плотностью фитоценоза, возрастом растений и другими.

В третью группу входят метеорологические параметры и их сочетание во времени и пространстве: температура воздуха и почвы, влажность воздуха, скорость и направление ветра, испаряемость, альбедо и др. Для того чтобы иметь реальную и адекватно отражающую сиюминутное состояние влаги в почве информацию ($I = AT < E_0$ или $I = AT = E_0$), необходим динамический критерий влагообеспеченности растений – показатель состояния влаги в системе или отдельной ее части (например, в растении), который позволяет судить о степени влагообеспеченности в любой отрезок времени.

Была предпринята попытка использовать в качестве динамического критерия влагообеспеченности растений различные физиологические показатели (сосущую силу растительной клетки, скорость движения влаги по стеблю, абсолютную транспирацию и др.). Однако она не увенчалась успехом, и прежде всего потому, что все абсолютные значения физиологических параметров сильно зависят от испаряемости приземного слоя воздуха и подвержены значительной изменчивости не только в пространстве, но и в пределах одного и того же растения. Поэтому предложены относительные значения некоторых параметров природной среды: относительная испаряемость, относительная транспирация (T/T_0) и другие (Слейчер, 1970; Судницын, Муромцев, 1971; Судницын, 1979; Муромцев, 1991; Мажайского 2002; Семенов и др., 2005).

Последний критерий (T/T_0), представляющий собой отношение действительной (T) транспирации к потенциальной (T_0), имеет преимущество, так как учитывает и изменение метеорологической обстановки и физиологические особенности растений.

Таким образом, кратко указали на влияние атмосферных параметров, отображенных в испаряемости в интегральном виде. Влияние гидрофизических и иных свойств почвы на состояние в ней влаги и доступности ее для растений достаточно хорошо известно из многочисленных трудов отечественных и зарубежных учёных (Качинский, 1970; Судницын, 1979; Слейчер, 1970; Роде, 2008; Weihermüller et al, 2007; Green et al, 2012 и другие). Следовательно, на водный режим и влагообеспеченность системы «приземный слой воздуха – растительный покров – почва – грунтовые воды» воздействуют многие факторы природной среды. Анализ состояния влаги традиционными методами одновременно в разных частях единой системы серьезно затруднен, но его можно рассчитать на основе информации о потенциале влаги в системе.

Взаимодействие воды с вмещающим ее телом (почвой, растением) оценивается в системе «почва – растение» величиной химического потенциала воды (потенциал или давление почвенной влаги). В условиях равновесного состояния системы потенциал (давление) влаги во всех её частях одинаков, а в неравновесном состоянии – вода может передвигаться лишь в направлении к более низкому потенциалу. Между потенциалом (давлением) почвенной влаги (P_p) и влажностью почвы практически во всем интервале увлажнения существует функциональная зависимость, широко используемая в гидрофизических работах Судницына (1979), Воронина (1984), Муромцева (1991), Мажайского (2002), Molz et al (1981) и других учёных. Вполне естественно предположить наличие функциональной зависимости между потенциалами влаги в почве и листьях растений и между относительной транспирацией и потенциалами влаги в системе «почва – лист». Действительно, такие зависимости были получены и другими исследователями (Муромцев, Мажайский и др., 2013).

Отметим, что содержание и состав химических веществ в почве и грунтовых водах достаточно полно определяются особенностями внутripочвенного влагообмена. Под внутripочвенным влагообменом подразумевается (Муромцев, Мажайский и др., 2013; Muromtsev et al, 2015) обмен влагой и растворенными в ней химическими веществами между отдельными почвенными слоями, зоной аэрации и грунтовыми водами, а также между почвой и прилегающим к ней нижним слоем атмосферы другой. Под внутripочвенным влагообменом следует также понимать соотношение основных приходных и расходных статей водного баланса: осадков и подпитывания ГВ – с одной стороны и суммарного испарения и инфильтрации с другой. Главными статьями внутripочвенного влагообмена являются инфильтрация атмосферных осадков через почву в грунтовые воды и подпитывание грунтовых вод (перенос влаги от грунтовых вод к фронту испарения).

Одним из слабо изученных вопросов является взаимосвязь вертикальных потоков влаги в почве и гидрохимией поровых вод (Муромцев, Мажайский и др., 2013; Meissner et al, 2010; Weihermüller et al, 2010; Hosseini et al., 2011). Методической основой исследований этого важного гидрофизического процесса является водный баланс и моделирование водного режима с использованием лизиметров. С гидрологической точки зрения лизиметр представляет собой устройство, в котором заключен элементарный участок зоны аэрации с имитацией уровня ГВ (Муромцев, 1991; Мажайский, 2002; Пыленок и др., 2004; Роде, 2008).

В практике диагностики полива по показаниям тензиометров критические значения давления влаги используют величины, при достижении которых назначают орошение (полив). При этом учитывается гранулометрический состав почвы, физиологические свойства и фазы развития сельскохозяйственных культур (Судницын, 1979; Семёнов и др., 2005; Мажайский, 2012, 2014; Муромцев, Мажайский и др., 2013; Baver, 1956; Hosseini et al., 2011).

В большинстве работ научно-прикладного характера интервал критических значений давления соответствует оптимальному диапазону увлажнения почвы. Этот диапазон представляет собой содержание влаги в почве, «ограниченное» сверху наименьшей влагоемкостью (НВ) – верхняя граница оптимального увлажнения почв, и $0.8-0.6$ НВ – нижняя граница оптимального увлажнения почв. При этом в качестве критерия оптимальности водного режима и влагообеспеченности почв используется урожайность культур (Судницын, 1979; Муромцев, 1991; Муромцев, Анисимов, 2015). Однако этого критерия явно недостаточно для своевременной оценки влагообеспеченности и анализа состояния посевов. Была предпринята попытка использовать в качестве динамического критерия влагообеспеченности растений различные физиологические показатели (сосущую силу растительной клетки, скорость движения влаги по стеблю, абсолютную транспирацию и другие).

Однако она не увенчалась успехом, прежде всего потому, что все абсолютные значения физиологических параметров сильно зависят от испаряемости приземного слоя воздуха. Они подвержены значительной изменчивости не только в пространстве, но и в пределах одного и того же растения. Поэтому были предложены относительные значения некоторых параметров природной среды: относительная испаряемость, относительная транспирация (T/T_0) и другие (Судницын, 1979; Муромцев, Мажайский и др., 2013).

Последний критерий (T/T_0), представляющий собой отношение действительной (T) транспирации к потенциальной (T_0), имеет то преимущество, что он учитывает и изменение метеорологической обстановки, и физиологические особенности растений. Длительные исследования в области тензиометрии позволили подразделить диапазон потенциала (давления) на несколько узких интервалов, характеризующихся различным состоянием почвенной влаги (Анисимов, Муромцев, 2015).

Таблица 6.3. Динамика давления влаги в дерново-подзолистой почве (основное опытное поле) за период с 12 мая по 1 октября 2015 г.

Дата Набл.	Площадка №1				Площадка №2		Площадка №3				Площадка №4			
	0-10	10-20	20-30	50-60	0-10	10-20	0-10	10-20	20-30	50-60	0-10	10-20	20-30	50-60
12.05.2015	36	32	29	27	25	21	24	21	24	25	26	26	25	24
18.05.2015	-	-	26	24	-	-	-	-	23	21	-	-	24	26
27.05.2015	34	33	27	24	21	25	23	23	24	23	26	25	26	26
04.06.2015	-	-	27	23	-	-	-	-			-	-		
11.06.2015	37	34	28	23	27	23	28	25	25	25	28	27	26	24
23.06.2015	-	-	26	24	-	-	-	-	22	23	-	-	26	25
25.06.2015	39	35	29	27	26	24	30	25	24	24	31	30	27	26
03.07.2015	-	-		26	-	-	-	-	23	26	-	-	25	24
09.07.2015	27	24	22	21	19	17	20	21	20	20	22	23	23	22
15.07.2015	-	-	27	25	-	-	-	-		23	-	-	26	23
27.07.2015	42	40	34	31	29	26	32	28	27	27	30	28	27	24
03.08.2015	-	-	36	30	-	-	-	-	28	27	-	-	24	21
06.08.2015	33	31	29	30	24	24	23	25	25	24	25	23	22	20
13.08.2015														
20.08.2015	37	36	28	28	25	22	24	25	24	26	25	23	21	20
24.08.2015	33	34	33	29	25	23	22	28	26	26	23	21	20	20
16.09.2015	36	35	30	30	26	22	24	26	24	23	24	22	20	20
01.10.2015	44	38	33	30	23	23	28	30	27	30	25	26	23	22

Во многих рассмотренных работах (Муромцев, Мажайский и др., 2013) интервалы давления не случайно привязаны к растениям и к фазам их развития (табл. 4.6 приложения). Обоснование $P_{кр}$ проведено с учетом не только возраста растений, но и гранулометрического состава почв. Влияние на давление влаги вида растений устанавливается обычно экспериментальным путём, а метеорологических параметров – путем выяснения соотношений $P_{кр}$ и T/T_0 . Практическим выражением результатов исследования является информацией об интервалах $P_{кр}$ для многих сельскохозяйственных культур. Эти интервалы давления установлены на основании указанных выше исследований с учетом и литературных данных (Муромцев, Мажайский и др., 2013).

Важной самостоятельной задачей является решение вопроса об оптимальных глубинах установки тензиометров в почву. Сложность заключается в том, что корневая система растений проникает в почву на различную глубину, которая к тому же меняется в течение вегетации. Для овощных культур, корневая система которых в основном не проникает глубже 30-40 см по профилю почвы, установку тензиометров можно ограничить слоем 10-20 см (табл. 4.7 приложения).

Обычно норма полива определяется расчетным способом (Муромцев, Мажайский и др., 2013). Этот способ можно применять и при диагностике полива по тензиометрам. Однако поливные нормы можно устанавливать, исходя из показаний тензиометров. Динамика давления влаги, характеризующая водоудерживающие силы влаги, использована в различных вариантах (площадках) в 2014 – 2016 годах (табл. 11 и 4.4 – 4.6 приложения).

Анализ содержания запасов влаги, давления и метеорологической информации, позволяет установить оптимальные (критические) величины давления влаги, применительно к исследованным культурам. Многолетние травы составили – 15-20 кПа (посев-кущение) и 30-35 кПа (от смыкания и до полного окончания), эспарцет – 15-20 кПа (от смыкания и до полного окончания) и 25-30 кПа (от смыкания и до полного окончания) и кукурузы (на силос) – 25-30 кПа (до трубования) и 30-40 кПа (цветение - вызревание зерна)

кПа. Урожай кукурузы оказался максимален на площадке 1(бугор), а минимален на площадке 4 из-за переувлажнения в нижних частях опытного участка (пл. 3 и 4).

Доступность почвенной влаги является величиной, составляет максимальные значения, определяющие ресурсы тепла и влаги, а также потенциальные возможности водно-физических свойств и структуры самой почвы.

6.4. Метеорологические и физиологические аспекты доступности почвенной влаги и растений.

Ранее нами (Муромцев, 2003; 2011; Мажайский, 2002, 2014; Муромцев, Мажайский и др., 2013; 2014) были выявлены некоторые особенности потребления почвенной влаги растениями, заключающиеся, в частности, в том, что объём почвенной влаги и интенсивность ее потребления увеличиваются, а «мертвый» запас уменьшается в направлении от гигрофитов к мезофитам и далее к ксерофитам. При этом интервалы значений потенциала почвенной влаги, соответствующие влажности устойчивого завядания растений разных экологических групп, различны. Салат (гигрофит) погибает при содержании влаги, равном 1.5 ВЗ, овес (мезофит) – 1.0 ВЗ, а ксерофитные растения – ниже 1.0 ВЗ.

Дальнейшие наши исследования свидетельствуют о том, что на интенсивность и особенности потребления почвенной влаги растениями оказывают заметное влияние и некоторые другие факторы, в частности, объём биомассы на единицу площади и кратковременные дефициты (засухи) почвенной влаги.

Исследования проведены на аллювиальных почвах реки Арчеды (Волгоградская область) и реки Москвы (Московская область). В прирусловых частях рек Арчеды и Москвы расположены аллювиальные супесчаные почвы, а в центральных частях пойм – суглинистые их аналоги. Морфогенетические и агрофизические свойства этих почв кратко рассмотрены в работе (Муромцев,

2011). Здесь дополнительно укажем, что величины основных водно-физических свойств аллювиальных суглинистых почв близки между собой. В частности, объемная масса - верхнего, 0-30 см, слоя составляет 1.1-1.2 г/см³, влажность завядания – 8.0 - 11.0 %, наименьшая влагоемкость 26-28 %, гумус 2.48 - 2.81%. Аллювиальная супесчаная почва (пойма реки Арчеды) в слое 0-30 см характеризуется величинами объемной массы – 1.45 г/см³, влажности завядания -2.72 %, наименьшей влагоемкости - 11.4 % и гумуса - 1.34 %.

Исследования выполнены в лабораторных и полевых условиях с использованием больших (около 9 кг почвы) вегетационных сосудов. В вегетационных сосудах с аллювиальной суглинистой и супесчаной почвами выращивали в лабораторных условиях салат (гигрофит), овес (типичный мезофит), засухоустойчивые сорта пшеницы и проса и типичный ксерофит житняк. В вегетационных сосудах были установлены тензиометры для измерения капиллярного потенциала влаги. Полный потенциал влаги в листьях и почвах измеряли психрометрическим методом (Муромцев, 2011), а влажность почвы сосудов и испарителей – весовым методом.

Результаты вегетационных опытов по исследованию остаточной влажности в момент завядания растений различных экологических групп приведены в табл. 6. 4.

Таблица 6.4. Остаточная влажность аллювиальных почв (пойма реки Арчеда), масса надземной биомассы и корней различных растений в конце вегетационных опытов.

Почва	Культура	Остаточная влажность почвы, %	Вес сухой надземной биомассы, %	Вес сухих корней, г	Отношение массы надземной биомассы к массе корней	Суммарный вес надземной биомассы и корней, г
Аллювиальная супесчаная	Овес	2.9	9.0	5.5	1.60	14.5
	Салат	4.0	5.6	3.6	1.56	9.2
	Пшеница	2.1	6.9	3.8	1.82	1.7
	Просо	1.8	3.1	3.5	0.91	6.7
Аллювиальная суглинистая	Салат (1)	15.0	5.3	4.6	1.16	9.9
	Салат (2)	1.5	3.9	3.1	1.26	7.0
	Пшеница	9.0	9.3	4.5	2.07	13.8
	Просо (1)	9.0	6.1	-	-	-
	Просо (2)	9.7	4.1	-	-	-

Примечание. Здесь (1) и (2) означает варианты с различной плотностью фитоценоза.

В соответствии с информацией табл. 6.4. остаточная влажность почвы, соответствующая ВЗ, заметно различается по культурам. Наиболее высокое значение влажности завядания (среднее по сосуду) наблюдается под салатом: 4,0 % в супесчаной и 16,5 % в суглинистой черноземовидной почвах, а минимальная – под просом: 1,9 и 9,0 % соответственно. Это явление свидетельствует об усилении адаптационных реакций растений в направлении гигрофиты – мезофиты - ксерофиты. Несмотря на то что объем почвы вегетационных сосудов ограничен, все же различие в биомассе растений довольно заметно влияет на влажность завядания (ВЗ) и относительную транспирацию (T/T^0). Во всех случаях ВЗ заметно ниже в вариантах с большей биомассой по сравнению с вариантами меньшей биомассой. Так, у салата с сухой биомассой 5,3 г ВЗ составила 15 %, а с биомассой 3,9 г - 16,5%. Эти различия следует отнести к достоверным, поскольку определение влажности весовым методом проводилось с точностью 5 г, т. е. 0,1 - 0,2% от измеряемой величины.

Еще более заметно влияние различной по значению биомассы на относительную транспирацию проса (рис. 6.11). Просо с большей биомассой начинает снижать T/T_0 на 4-е и 9-е сутки на супесчаной и суглинистой почвах, а с меньшей биомассой - на 7-е и 11-е сутки соответственно. С физической точки зрения рассматриваемые различия ВЗ и T/T_0 в вариантах с различной биомассой объясняются неравнозначностью условий влагопотребления. В вариантах с большей T/T_0 биомассой наблюдается и большая масса корней, полнее осваивающая объем почвы сосуда. В этих условиях потребление влаги осуществляется непосредственно в местах ее скопления, тогда как при меньшей массе корней растения могут использовать микроскопления влаги лишь в условиях достаточно быстрого подтока ее к поглощающим корневым волоскам.

Последовательность краткосрочных почвенных засух в опытах с овсом и их длительность показаны в табл. 6.4.

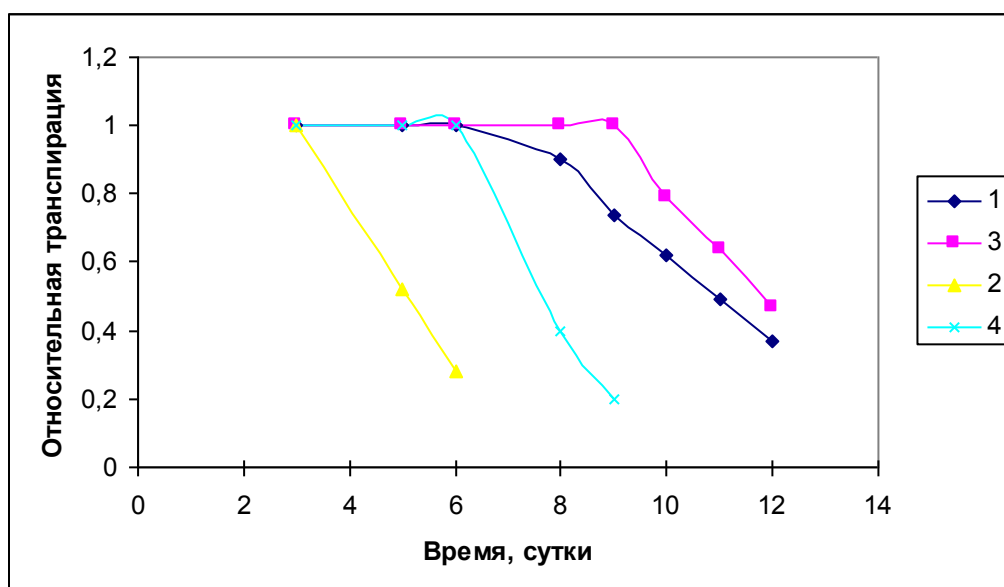


Рис. 6.11. Влияние наземной биомассы на интенсивность транспирации проса на различных почвах. Аллювиальная суглинистая: 1 – биомасса 6.3 г, 3 – 4.1 г; аллювиальная супесчаная: 2 – биомасса 3.1 г, 4 – 2.4 г.

Из таблицы видно, что некоторые растения были подвержены водному дефициту в фазе кущения; в фазе трубкования засухе подвергали растения, уже перенесшие засуху и ранее не подвергавшиеся ей; в фазе колошения - перенесшие ранее одну-две засухи и более ей не подвергавшиеся.

По истечении месяца после посева семян все выращиваемые растения находились в фазе кущения, подавляющее число растений имело шесть листьев. Средняя высота их варьировала от 65 до 75 см, транспирация достигала около 600 г/сут на сосуд. Первая засуха длительностью 7 сут обусловила уменьшение влажности (W) почвы с 30 до 9% и абсолютной транспирации (АТ) – с 600 до 26 г/сут. У растений, подвергшихся двум засухам, уменьшение влажности и абсолютная транспирация составило соответственно: 28-9 % и 545-170 г/сут при первой засухе. Затем почва была увлажнена до НВ, и в таком состоянии ее поддерживали в течение трех суток. За время второй засухи АТ понизилась до 80 г/сут., влажность составила 9%, а в момент гибели растений – 7%. В третьем варианте (слой почвы 60-90 см) растения были подвержены первой засухе в фазе кущения, второй в фазе выхода в трубку и третьей - в фазе колошения.

Изменение влажности и абсолютной транспирации при первой и второй засухах аналогично варианту, где растения подвергали только одной засухе; при третьей засухе снижение АТ происходило заметно медленнее: через 5 сут после прекращения полива она понизилась лишь до 245 мг на сосуд в сутки. Отчасти это могло быть обусловлено уменьшением суммарной площади листьев за счет отмирания некоторых (в основном нижних) из них.

Таблица 6.5. Схема опытов по моделированию почвенных засух (почва – аллювиальная суглинистая, культура – овёс)

Очередность засухи	Длительность, сут	Фаза развития	Номер сосуда	Слой почвы, см
Первая	4	Кущение	4	0-30
			10	30-60
			15	60-90
Первая	4	Выход в трубку	3	0-30
			7	30-60
			13	60-90
Вторая	4	-//-	4	0-30
			10	30-60
			15	60-90
Первая	9	Колошение	6	0-30
			11	60-90
Вторая	9	-//-	3	0-30
			7	30-60
			13	60-90
Третья	9	-//-	4	0-30
			10	30-60
			15	60-90

В соответствии с данными рис. 6.10 и 6.11 по мере снижения влажности почвы T/T_0 снижается с возрастающей скоростью. При влажности, равной 12 %, относительная транспирация составила 0.35 и растения начали увядать.

При второй засухе заметное плавное снижение T/T_0 наблюдается только в интервале влажности = 20...13.5 %; T/T_0 в этот момент все еще значительна – 0.75. Однако при уменьшении влажности до 11 % она снижается до минимального значения (0.20). В условиях третьей засухи (на рисунках линия из-за совпадения ее с другими линиями) $T/T_0 = 1$ наблюдается в интервале влажности 30-24 %, в интервале влажности 24-13 % T/T_0 снижается медленно, и только в интервале 13.0...9.5 % она быстро достигает минимального

значения (0.20). В вариантах с более тяжёлым по гранулометрическому составу слоем почвы (60-90 см) T/T_0 все еще значительна (0.9) при снижении влажности почвы до 9.5 % при первой засухе и до 8 % при второй и третьей засухах (рис.6.11 и 6.12).

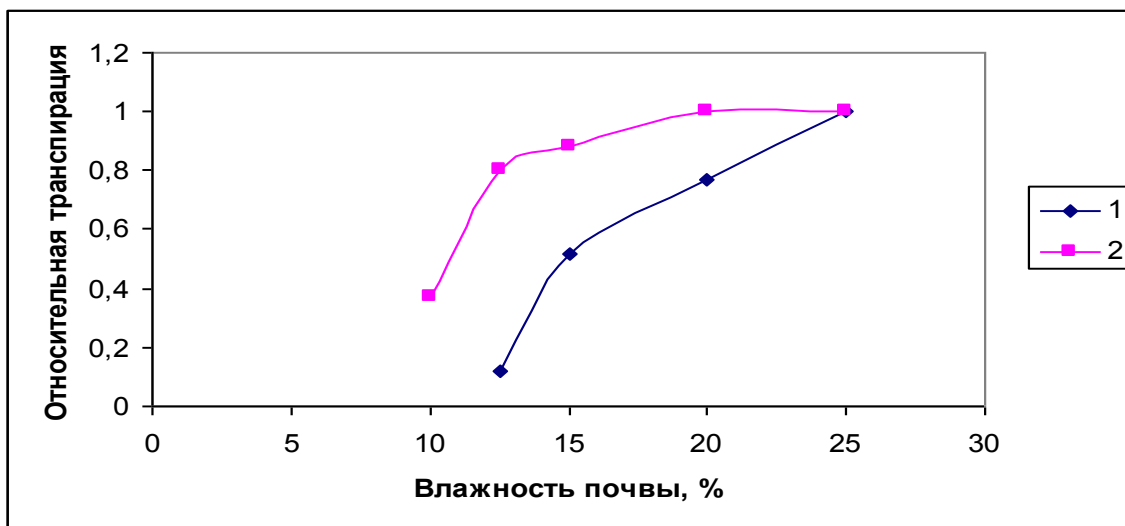


Рис. 6.11. Зависимость относительной транспирации (T/T_0) овса от влажности аллювиальной суглинистой почвы. Слой 0-30 см: 1- первая засуха (сосуд 2), 2 - вторая (сосуд 2), 3 - третья (сосуд 2), 4 - первая (сосуд 1); 5 - вторая засуха (сосуд 1);

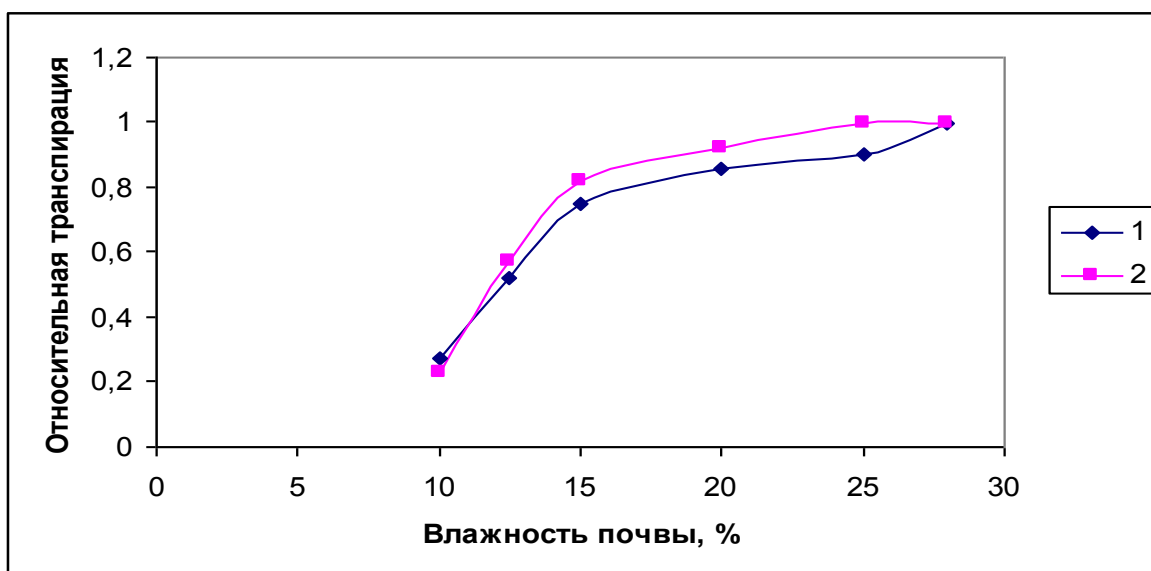


Рис. 6.12. Зависимость относительной транспирации (T/T_0) овса от влажности аллювиальной суглинистой почвы. Слой 30 - 60 см. 1 - первая засуха (сосуд 6), 2 - вторая (сосуд 6), 3 - третья (сосуд 6), 4 - первая (сосуд 5), 6 - первая засуха (сосуд 4).

Опытные материалы (рис. 6.11 и 6.12) свидетельствуют о том, что под влиянием цикла засух интервал доступной для растений влаги увеличивается. Влажность почвы в момент устойчивого завядания растений, подверженных засухам, уменьшается: в слое 0-30 см - с 12 до 10,5% в слое 30-60 см - с 11 до 9 % и в слое 60-90 см – с 7.5 - 6.5 %. Отсюда, интервал потребляемой растениями влаги, возрастает. Значения V_3 , определенные экспериментально и рассчитанные с использованием коэффициента 1.34, составляют 10.5-11.4, 9.6-10.5 и 6.0-6.3% соответственно.

Значения потенциала (давления) влаги, соответствующие влажности устойчивого завядания, составляют величины в пределах от 20 до 35 атм (2000 -3500 кПа) (Муромцев, 2002; 2011; Муромцев, Мажайский и др., 2013), что значительно превышает величину, рекомендованную для оценки влажности завядания по потенциалу влаги (Роде, 1965; Giedrojс B, Wilozynski A., 1982; Baver L.D.,1956). Увеличение интервала доступной влаги под воздействием кратковременных повторяющихся засух объясняется повышением потенциала и перепада потенциала влаги в листьях.

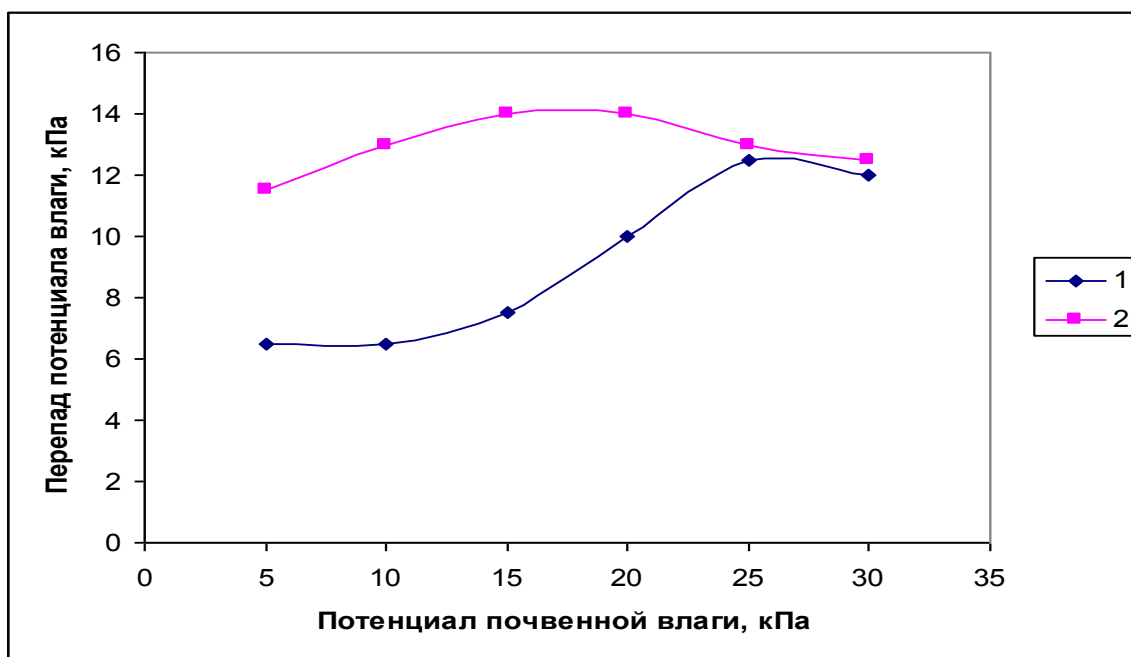


Рис. 6.13. Зависимость перепада потенциала влаги в системе почва - растение ($P_{л} - P_{п}$) от потенциала почвенной влаги ($P_{п}$) для овса, перенесшего одну (1) и две (2) засухи.

На рис. 6.13 представлена зависимость перепада потенциала от потенциала почвенной влаги в почве под культурой овса, перенесшего одну и две засухи. В соответствии с данными рис. 6.13 растения, перенесшие в начальные периоды своего развития непродолжительную засуху, при наступлении в дальнейшем неблагоприятных условий произрастания (повторной засухи) способны при одном и том же содержании влаги в почве развивать более высокую сосущую силу (более низкий $P_{\text{л}}$) по сравнению с растениями, не испытывавшими ранее засухи. Так, в варианте, в котором слой почвы составляет 0-30 см, при влажности 10% и $P_{\text{п}} = 15 \cdot 10^2$ кПа $P_{\text{л}}$ равен при первой засухе $23 \cdot 10^2$ кПа, а при третьей $29 \cdot 10^2$ кПа.

Аналогичные соотношения потенциалов влаги в системе почва-растение наблюдаются и в других вариантах. Перепад потенциала возрастает не только с понижением $P_{\text{п}}$, но и с увеличением числа засух. При этом различия в $P_{\text{л}}$ и $P_{\text{п}}$ для растений, перенесших одинаковое количество засух, оказываются незначительными. Перепад потенциала при одной засухе в фазе колошения в интервале $5 \cdot 10^2 > P_{\text{п}} > 19 \cdot 10^2$ кПа медленно возрастает с $7 \cdot 10^2$ до $9 \cdot 10^2$ кПа. В интервале $19 \cdot 10^2 > P_{\text{п}} > 25 \cdot 10^2$ кПа перепад потенциала быстро увеличивается до $14 \cdot 10^2$ кПа и в интервале $25 \cdot 10^2 > P_{\text{п}} > 55 \cdot 10^2$ кПа уменьшается до $12 \cdot 10^2$ кПа. Для растений, перенесших три засухи, изменение ($P_{\text{л}} - P_{\text{п}}$) иное: в интервале $500 > P_{\text{п}} > 10 \cdot 10^2$ кПа перепад потенциала увеличивается с $12 \cdot 10^2$ до $15 \cdot 10^2$ кПа. А в интервале $10 \cdot 10^2 > P_{\text{п}} > 25 \cdot 10^2$ кПа остается практически неизменным, а в интервале $25 \cdot 10^2 > P_{\text{п}} > 36 \cdot 10^2$ кПа он уменьшается до $12,5 \cdot 10^2$ кПа.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при воздействии цикла последовательных засух ($P_{\text{л}} - P_{\text{п}}$) достигает максимума в интервале средnedоступной влаги и сохраняется на этом уровне довольно длительное время, вплоть до нижней границы труднодоступной влаги. Для растений, перенесших только одну засуху, максимум ($P_{\text{л}} - P_{\text{п}}$) наблюдается только в интервале труднодоступной влаги. Следовательно, растения прошедшие в своем развитии цикл кратковременных почвенных засух, оказываются лучше и

в большей степени адаптированными к экстремальным условиям по сравнению с растениями, находившимися в оптимальных условиях природной среды.

Если биомассу в контрольных опытах принять принимается за 100 %, то при воздействии засух в опытах она снижается до 92, 74 и 56 % соответственно. Отсюда следует, что засухи весьма значительно снижают выход полезной продукции, но в то же время приобретенная устойчивость к ним, проявляющаяся в более экономном расходовании влаги и увеличении нижней границы ее доступности, обуславливает возрастание выживаемости растений в трудных ситуациях. Наиболее сильно влияние почвенных засух проявляется на растениях, находящихся в фазе колошения, т.е. в период, когда формируется основа урожая зерна (колоски).

Таким образом, величины влажности завядания при прочих равных условиях заметно ниже в вариантах с большей биомассой по сравнению с вариантами с меньшей биомассой. В первых случаях потребление влаги растениями осуществляется непосредственно в местах ее скопления, тогда как во вторых случаях растения могут использовать влагу лишь в условиях её быстрого подтока к поглощающим корневым волоскам. Под влиянием нескольких, последовательно проявляющихся кратковременных засух (водных дефицитов влаги) интервал доступной для растений влаги несколько увеличивается, что объясняется повышением значений потенциала и перепада потенциала почвенной влаги.

В условиях воздействия нескольких последовательных засух перепад потенциала возрастает не только с уменьшением влажности, но и с увеличением числа засух, и достигает максимального значения в интервале среднедоступной влаги. Для растений, не подвергавшихся воздействию дефицита влаги и/или перенесших только одну засуху, максимум перепада потенциала наблюдается позднее, в интервале труднодоступной влаги.

Кратковременные почвенные засухи заметно снижают выход полезной продукции, но в то же время приобретенная устойчивость к ним, проявляется

в дальнейшем в экономном расходовании влаги и увеличении нижней границы ее доступности.

6.5. Заключение

Оптимальная влажность почвы в активном слое почвы для большинства зерновых и овощных культур составляет 0.7 – 0.8 наименьшей влагоемкости. Среди существующих методов расчета водопотребления сельскохозяйственных культур широкое применение нашёл метод водного и водно-теплового баланса. Наиболее тесная зависимость водопотребления отмечается с радиационным балансом. С ним одновременно имеют тесную связь и многие другие метеорологические факторы.

Поток влаги из почвы в растение должен удовлетворять потенциально возможной транспирации, соответствующей (равной) испаряемости, т.е. поток влаги $(I) = AT = T_0 = E_0$. Однако из-за несоответствия скорости потока влаги через границу «почва – корень растения» скорости потока её на границе «лист растения – атмосфера» часто в природных условиях имеем ситуацию: поток влаги из почвы в растение $(I) < AT < T_0 = E_0$.

Между потенциалом (давлением) почвенной влаги и влажностью почвы (практически во всем интервале увлажнения), а также между потенциалами влаги в почве и листьях растений и между относительной транспирацией и потенциалами влаги в системе «почва – лист» существует функциональная зависимость.

Внутрипочвенный влагообмен подразумевает обмен влагой и растворенными в ней химическими веществами между отдельными почвенными слоями, зоной аэрации и грунтовыми водами, а также – соотношение основных приходных и расходных статей водного баланса.

Под влиянием нескольких, последовательно проявляющихся кратковременных засух (водных дефицитов влаги) интервал доступной для растений влаги несколько увеличивается, что объясняется повышением значений потенциала и перепада потенциала почвенной влаги.

В условиях воздействия нескольких последовательных засух перепад потенциала возрастает не только с уменьшением влажности, но и с увеличением числа засух, и достигает максимального значения в интервале средnedоступной влаги. Для растений, не подвергавшихся воздействию дефицита влаги и/или перенесших только одну засуху, максимум перепада потенциала наблюдается позднее, в интервале труднодоступной влаги.

Кратковременные почвенные засухи заметно снижают выход полезной продукции, но в тоже время приобретенная устойчивость к ним, проявляется в дальнейшем в экономном расходовании влаги и увеличении нижней границы ее доступности.

ГЛАВА 7. ОПТИМИЗАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ.

7.1. Принципиальные и методологические аспекты оптимизации и регулирования растений на основе капиллярно-сорбционного потенциала почвенной влаги.

Поскольку основные термодинамические свойства влаги в системе почва-растение-атмосфера и критерий влагообеспеченности (T/T_0) связаны между собой функциональными зависимостями, то, как показано в главе 6, любой из этих параметров может быть положен в основу методики оптимизации и регулирования водного режима почв и влагообеспеченности растений. Однако ни один из рассмотренных выше термодинамических параметров не обеспечен такими экспериментальными данными, как капиллярно-сорбционный потенциал в пределах измерения его тензиометрами. Именно благодаря тензиометрам, работающим, в сущности, по принципу корня растений, очень простым по конструкции и весьма надежным в эксплуатации, капиллярно-сорбционный потенциал влаги нашел сегодня такое широкое использование не только в исследованиях и научно-прикладных целях, но и на практике во всем мире.

Поскольку потенциал (давление) влаги характеризует доступность почвенной влаги для растений, то необходимость в дополнительных

определениях влажности почвы при использовании тензиометров для целей орошения полностью отпадает. Нужны лишь предварительные исследования, направленные на выявление так называемых критических значений потенциала ($P_{кр}$), соответствующих началу снижения относительной транспирации, или нижней границе оптимального увлажнения почвы. Эти критические значения используют в качестве диагностических показателей. Установление $P_{кр}$ в содержании почвенной влаги означает, что необходимо проводить орошение. В сущности $P_{кр}$ представляет собой скользящую точку в пределах оптимального увлажнения, зависящую от состояния факторов природной среды.

Другим не менее важным моментом является выбор оптимальной глубины установки тензиометров в почву, потенциал влаги которой наиболее полно при наименьших экономических затратах отражал бы протекание гидрофизических процессов в системе почва-растение. Вопросы тензиометрии, разумеется, не ограничиваются только этим, они многочисленны, и по совокупности их вполне обоснованно можно объединить в самостоятельный раздел. Многие из них уже рассмотрены в монографии ранее. Поэтому здесь остановимся только на тех из них, которые по своему физическому смыслу полнее всего отвечают понятию оптимизации и регулирования водного режима почв и влагообеспеченности растений.

В большинстве работ научно-прикладного характера интервал критических значений потенциала ($P_{кр}$) соответствует оптимальному диапазону увлажнения почвы. Этот диапазон представляет собой содержание влаги в почве, «ограниченное» сверху НВ - верхняя граница оптимального увлажнения почв — и снизу 0.8-0.6 НВ - нижняя граница оптимального увлажнения почв. При этом в качестве критерия оптимальности водного режима и влагообеспеченности почв используется урожайность культур. Однако необходимость динамических критериев влагообеспеченности растений, как показано ранее, является очевидной.

А. Майяну с сотрудниками провели обширные вегетационные опыты по изучению влияния $P_{кр}$ на урожайность биомассы овса и люцерны (по работе

Муромцев, Мажайский и др., 2013). Максимальный выход продукции на песчаных, суглинистых и глинистых почвах они получили в условиях полива при $P_{кр} = 33$ кПа. При понижении потенциала влаги до 60 кПа урожайность биомассы овса уменьшилась на 10-40 % в зависимости от вида почвы, а урожайность биомассы люцерны – в 1.5-2.0 раза. Максимальный урожай сельскохозяйственных культур в США наблюдается в условиях полива при $P_{кр}$, равном для огурцов 25-35 кПа, дынь 50 - 60 кПа, и помидоров 60 - 70 кПа и для плодовых 70-80 кПа. В соответствии с обзором Х. Билораи (по материалам Муромцева, 1991) поливы салата-латука, душистого горошка, сахарной свеклы, картофеля, апельсинов, грейпфрута и бананов проводят при достижении $P_{кр}$ соответственно следующих значений: 40-60, 50-100, 30-50, 20-100 и 30-150 кПа.

Интересные исследования в этом направлении проведены в Индийском сельскохозяйственном институте на аллювиальном супесчаном суглинке среднего плодородия. Полив участков с картофелем проводили при достижении $P_{кр}$ значений 50 и 33 кПа. Тензиометры были установлены на глубине 22.5 см от поверхности. Полученные результаты свидетельствуют о том, что влияние $P_{кр}$ на урожай картофеля на разных стадиях его развития не одинаково. В первые 20 суток после посадки величина $P_{кр}$ не влияла на урожай. В стадии образования и удлинения столонов (20-40-е сутки после посадки) снижение значения $P_{кр}$ до 50 кПа привело к значительному снижению урожая картофеля (до 30%). С. Дубец и Кругман (по материалам Анисимова и Муромцева, 2015) провели исследования трех методов определения сроков полива картофеля на черноземовидном суглинке: по морфологическим признакам растений, водному балансу и потенциалу влаги. Оптимальное значение $P_{кр}$, по мнению авторов, находится в интервале 40-60 сантибар (40-60 кПа). Средняя за три года урожайность картофеля оказалась на 3024 и 6899 кг/га выше по сравнению с вариантами установления сроков полива по водному балансу и по морфологическим признакам соответственно.

Вопрос о диагностике полива растений с использованием потенциала влаги этими примерами далеко не исчерпан. В нашей стране прикладным вопросам тензиометрии посвящены работы К.Н. Шишкова, И.И. Судницына и некоторых других авторов, подробная сводка которых содержится в работе (Муромцев, Мажайский и др., 2013).

Длительные исследования этого вопроса и анализ литературных данных позволили подразделить диапазон $P_{кр}$, измеряемого тензиометрами, на несколько интервалов, характеризующихся различным состоянием почвенной влаги. Интервалу $P_{кр}$ от 0 до 10 кПа соответствует влажность почвы при НВ легкого гранулометрического состава. В этом интервале $P_{кр}$ полив растений следует прекращать, чтобы прекратить фильтрацию воды в нижележащие слои почвы и выщелачивание питательных веществ из верхних плодородных слоев почвы. В интервале потенциала от 10 до 30 кПа целесообразно проводить поливы огородных и овощных культур, а также трав. В интервале потенциала от 30 до 60 кПа следует проводить поливы большинства культурных растений-мезофитов (в основном зерновые культуры). Интервал потенциала от 60 до 85 кПа указывает на то, что для большинства сельскохозяйственных травянистых культур имеющаяся влага становится уже недостаточной для оптимального обеспечения их водой и питательными веществами. В этом интервале возможно проводить поливы плодовых культур с мощной корневой системой.

Конечно, такое деление диапазона потенциала на интервалы является несколько условным по ряду причин. И прежде всего потому, что влагообеспеченность является соответствием плотностей потока влаги из почвы в растение и из растения в атмосферу и зависит от вида культуры и его возраста, испаряемости, температуры воздуха и атмосферного давления, а также от вида почвы и ее гидрофизических свойств. Относительно влияния на $P_{кр}$ вида почвы и ее свойств можно вполне определенно констатировать, что оно в диапазоне высокого увлажнения невелико и «перекрывается» или находится в пределах только что указанных интервалов. Поэтому не случайно во многих рассмотренных работах интервалы потенциала привязаны только к

растениям и к фазам их развития. Обоснование $P_{кр}$ проведено нами с учетом не только возраста растений, но и гранулометрического состава почв (**табл. 7.1**).

Влияние на $P_{кр}$ вида растений устанавливается обычно экспериментальным путем, а метеорологических параметров – путём выяснения соотношений $P_{кр}$ и T/T_0 . Практическим выражением результатов исследования является табл. 7.1, содержащая информацию об интервалах $P_{кр}$ для многих сельскохозяйственных и древесных культур. Эти интервалы $P_{кр}$ установлены нами на основании указанных выше исследований с учетом и литературных данных.

Важной самостоятельной задачей является решение вопроса об оптимальных глубинах установки тензиометров в почву. Сложность заключается в том, что корневая система растений проникает в почву на различную глубину, которая к тому же меняется в течение вегетации. Для овощных культур, корневая система которых в основном не проникает глубже 30-40 см по профилю почвы, установку тензиометров можно ограничить слоем 10-20 см.

Таблица 7.1. Интервалы $P_{кр}$ (кПа) для различных растений с учетом фаз их развития и гранулометрического состава почв

Культура	Фаза развития	Интервалы $P_{кр}$ (кПа)
Салат	От посева до смыкания	-10...-15
Петрушка	От смыкания до конца вегетации	-15...-30
Капуста белокочанная	От посадки до образования кочана	-15...-25
	Формирование кочана	-25...-35
Огурцы	Посадка – цветение	-15...-25
	Цветение – завязь плодов	-25...-35
	Рост и созревание плодов	-35...-45
Сельдерей, морковь	От посева до заметного созревание корнеплода	-10...-15
	До полного созревания плода	-15...-25
Салат	От посева и в течение 10-14 суток	-10...-15
	До конца вегетации	-15...-25
Клубника	От посадки до цветения	-10...-15
	Завязь ягод и их рост	-15...-20
	Созревание ягод	-20...-30
Фасоль	От посева до цветения	-15...-25
	Цветение – налив бобов	-25...-30
	Созревание бобов	-30...-40

Свекла	Посев семян – рост ботвы до смыкания	-10...-30
	Рост и формирования корнеплода	-20...-35
Картофель	Посадка – цветение	-15...-20
	Рост клубней	-20...-35
Пшеница, ячмень, овес, рожь	Посев – кущение	-15...-20
	Стеблевание – цветение	-20...-25
	Налив зерна – молочная спелость	-25...-30
	Вызревание зерна	-30...-40
Помидоры	Посадка рассады – цветение	-15...-25
	Цветение – завязь плодов	-20...-30
	Рост плодов	-25...-35
	Вызревание плодов	-34...-40
Просо	Посев – кущение	-15...-20
	Цветение – налив зерна	-30...-35
	Созревание зерна	-35...-45
Эспарцет	От посева до цветения	-15...-25
	Цветение – скашивание	-25...-30
Кукуруза на силос	Посев – кущение	-10...-15
	Выход в трубку – выметывание метелки	-20...-25
	Цветение – налив зерна	-20...-35
	Молочная спелость – вызревание зерна	-35...-50
Многолетние травы	Посев – кущение	-10...-15
	От полного смыкания травостоя до скашивания	-20...-30

Гораздо сложнее обстоит дело на плодородных суглинистых почвах под зерновыми культурами, корневая система которых проникает на глубину до 100 см и более. Исследования в этом направлении свидетельствуют о том, что для всех культур с глубокопроникающей в почву корневой системой установку тензиометров вполне возможно ограничить только двумя ярусами почвы 1/4 и 3/4 глубины распространения основной массы корней. Такой способ размещения приборов в почве позволяет иметь информацию о потенциале влаги на двух основных глубинах корнеобитаемого слоя почвы. При этом по показаниям тензиометров верхнего яруса осуществляют полив растений, а по показаниям тензиометров нижнего яруса полив прекращают.

Такой подход к решению вопроса о глубине установки тензиометров позволяет заранее определить оптимальные глубины размещения приборов в почве в зависимости от глубины распространения корневой системы растений и

фаз их развития. Примеры расчета глубины установки тензиометров в зависимости от мощности корневой системы приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2. Глубина установки (см) тензиометров в почве в зависимости от мощности корневой системы растений

Глубина корнеобитаемого слоя почвы	Ярус почвы	
	верхний (1/4 корнеобитаемого слоя)	нижний (3/4 корнеобитаемого слоя)
Теплицы	10 – 20	не устанавливаются
До 45 см	10 – 20	30 – 40
До 60 см	10 – 20	40 – 50
До 90 см	20 – 30	65 – 75
До 120 см	25 – 35	85 – 95

Следует обратить внимание и на то, что установка приборов в верхний (0-10 см) слой почвы нежелательна, так как в полевых условиях, и особенно при несоблюдении оптимального режима орошения, на суглинистых почвах появляются трещины, приводящие к нестабильности работы тензиометров. Правда, в этих случаях нами рекомендованы тензиометры с датчиками в виде воронки, у которой пористым является только плоскость основания. Такие тензиометры более устойчивы при появлении трещин.

Другим затруднением использования тензиометров, как впрочем, и любых влагомерных приборов, является необходимость извлекать их из почвы при ее обработке. Тензиометры для пропашных культур рекомендуем устанавливать в рядки. Надземная часть тензиометров при этом должна иметь высоту, меньшую, чем расстояние между поверхностью почвы и корпусом почвообрабатывающих орудий. Возможен и такой вариант, как отчуждение небольшой площадки, на которой устанавливаются приборы. Третий вариант решения этой задачи заключается в использовании «гибких» тензиометров, корпус которых выполнен из эластичных материалов. При прохождении по полю обрабатывающих машин такой прибор пригибается к поверхности почвы.

Обычно норма полива определяется расчетным способом. Этот способ можно применять и при диагностике полива по тензиометрам. Однако поливные нормы можно устанавливать и исходя из показаний тензиометров.

Рекомендуемая методика сводится к следующему. При достижении критических значений потенциала по показаниям тензиометров верхнего яруса производится полив, который продолжается до тех пор, пока по показаниям тензиометров нижнего яруса значения потенциала не повысятся до интервала 5-10 кПа, после чего полив прекращают. При этом могут иметь место различные варианты соотношений показаний приборов верхнего и нижнего ярусов. Например, тензиометры верхнего яруса показывают $P_{кр}$, а тензиометры нижнего яруса - оптимальные значения: 5-10 кПа. В этих случаях и начало, и окончание полива следует проводить по показаниям тензиометров верхнего яруса.

Основная трудность при определении нормы полива по тензиометрам заключается в том, что их показания в процессе полива не всегда соответствуют фактическому насыщению почвы водой, поскольку более или менее равномерное распределение поливной воды в орошаемом слое наступает значительно позже. Несоответствие показаний тензиометров и степени увлажнения почвы в это время объясняется тем, что сброс разрежения (повышение потенциала влаги) в тензиометре осуществляется довольно быстро, в течение 20-30 мин после того, как к керамическому датчику прибора подступит поливная вода. При этом она может проникнуть к датчику по возможному зазору между ним и стенкой почвенной скважины. Поэтому изменение показаний тензиометров до установленного значения не означает еще, что потенциал влаги в окружающей почве повысился до того же уровня.

С учетом изложенного можно рекомендовать следующую процедуру установления оптимальной поливной нормы. Сначала поливная норма определяется исходя из гидрофизических свойств почвы, начальных и текущих запасов влаги, т.е. обычным путём. Показания тензиометров после полива такой нормой помогут уточнить ее в дальнейшем. Если, например, показания приборов нижнего яруса при данной норме не повысились по истечении одних-двух суток до 5-10 кПа, то при следующем поливе его норму следует увеличить на 10%, и увеличение ее необходимо продолжить до тех пор, пока

показания тензиометров нижнего яруса после очередного полива не установятся на нужном уровне. Аналогичным образом следует поступить и в том случае, когда начальная поливная норма окажется завышенной. В этом случае поливную норму следует уменьшить на 10 % при каждом последующем поливе.

Что же касается вопроса о количестве тензиометров, устанавливаемых по площади орошаемых полей, то вопрос этот относится к сложной проблеме репрезентативности почвенно-гидрологических и почвенно-мелиоративных показателей, которая к настоящему времени исследована далеко не до конца. В каждом конкретном случае ее решают применительно к почвенно-экологическим условиям территории, исходя из степени однородности почвенного покрова и подстилающих пород в пространстве, растительности, рельефа местности, УГВ и других. Например, в степной зоне на черноземах, отличающихся сравнительной однородностью почвенного покрова, можно рекомендовать одну площадку с тензиометрами (в 2-3-кратной повторности на обоих ярусах) для целого поля с одной культурой, даже если оно и является сравнительно большим - от 50 до 100 га. В условиях Нечерноземной зоны количество площадок с тензиометрами для такого же поля будет определяться УГВ, рельефом местности и количеством почв на уровне подтипа с учетом гранулометрического их состава. Например, в условиях мелиоративной системы Горки-2 с аллювиальными почвами, тензиометры устанавливали на дерновых суглинистых и супесчаных, луговых суглинистых и супесчаных почвах, площади которых составляют от 5 до 15 га.

Установленные традиционным путем (по влажности почвы) поливные нормы часто оказываются заниженными или, наоборот, завышенными в различные промежутки времени вегетационного периода (в связи с изменением в ту или иную сторону факторов природной среды). Тензиометры же позволяют осуществлять гибкую тактику орошения путем оперативного изменения его режима.

7.2. Проблемы и принципы автоматизации орошения растений

Все большая интенсификация сельскохозяйственного производства обуславливает необходимость введения в практику орошаемого земледелия соответствующих, удовлетворяющих потребностям современного хозяйствования, прогрессивных технологий полива. Наиболее законченной формой такого прогрессирующего развития технологии являются автоматические системы орошения.

Орошение, как технологический процесс, включает методы и устройства диагностики сроков и норм полива и способы подачи воды на орошаемое поле. Если вторая составная часть полива в значительной степени механизирована и автоматизирована, то первая часть – весьма далека от этого. В настоящее время известны многие автоматизированные системы орошения, однако они относятся только к забору воды из источников водоснабжения, подаче ее на поле и к распределению поливной воды в пределах орошаемого массива полей. Такие системы нельзя отнести к полностью автоматическим, поскольку в них, как правило, отсутствует важнейший блок - почвенный. С точки зрения гидрофизики почв полностью автоматической или автоматизированной системой орошения является такая, в которой бы ее работа (действие) осуществлялась от соответствующего сигнала из почвы, отражающего состояние почвенной влаги и указывающего на необходимость его регулирования. В качестве такой системы можно указать на автоматическую систему рис. 7.1 и рис.7.2.

Предложенная нами система (Рабочев, Муромцев, Беляев, 1981) предложена автоматическая система полива сельскохозяйственных культур, прошедшая испытание в производственных условиях при стационарном орошении на мелиоративной системе Горки-2. Здесь же она использовалась в течение нескольких лет.

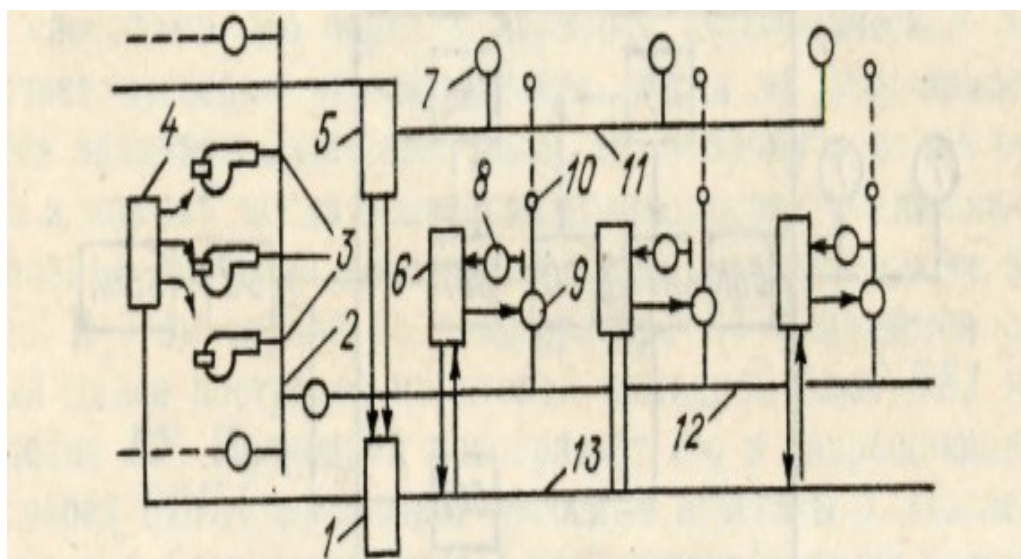


Рис.7.1. Структурная схема автоматической системы полива сельскохозяйственных культур. 1 - блок управления, 2 - магистральный трубопровод, 3 - насосные агрегаты, 4 - блок выбора насосных агрегатов, 5 - блок контроля, 6 - контролируемый пункт, 7 - тензиометры с контактным вакуумметром, 8 - реле давления, 9 - электрогидрореле, 10 - дождевальные аппараты, 11 и 13 - каналы связи, 12 - распределительный трубопровод.

Система действует в автоматическом режиме от выходного сигнала с тензиометров типа АМ-20-II. Преобразование капиллярного потенциала почвенной влаги, непрерывно регистрируемого группой тензиометров (Т), осуществляет контактный вакуумметр, который размещен непосредственно на циферблате последних. С помощью контактного вакуумметра капиллярный потенциал преобразуется в электрический ток в виде сигналов (импульсов), идущих в блок визуального контроля (БВК). Последний (блок) анализирует поступающую информацию и по заданной программе выдает сигналы на блок выбора насосных агрегатов (БВНА). Он выбирает насосные агрегаты в зависимости от их состояния, например, от степени загруженности последних на момент полива. Блок выдержки времени (БВВ) и выходные блоки (ВБ) позволяют осуществлять выборку любого числа тензиометров, установленных на поле, и назначать в соответствии с их показаниями полив.

Система орошения работает следующим образом. При достижении в почве заданного потенциала почвенной влаги ($P_{кр}$) комбинированный датчик (тензиометр плюс вакуумметр) 7 посылает по линии связи 11 электрический

сигнал на БВК (рис.7.2) На последнем загорается лампочка, сигнализирующая о срабатывании конкретного датчика, т.е. в этот момент показания тензиометра достигли заранее заданного критического значения потенциала почвенной влаги. Программное устройство ПУ имеет возможность выделить на дешифраторе АТ и схеме совпадения (СС) выходной сигнал при срабатывании неограниченного числа тензиометров.

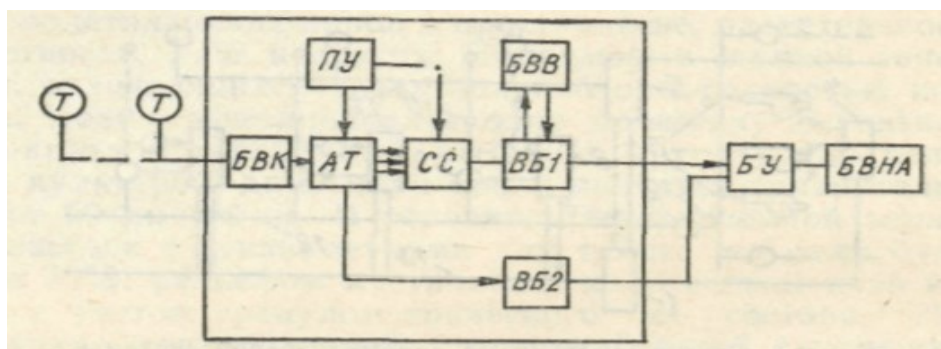


Рис. 7.2. Схема блока контроля состояния тензиометров. Т– тензиометры, БВК – блок визуального контроля, АТ –дешифратор, ПУ – программное устройство, СС – схема совпадения, БВ1 и БВ2 – выходные блоки, БВВ – блок выбора времени, БУ – блок управления, БВНА – блок выбора насосных агрегатов.

Если, например, на орошаемом поле установлено 10 тензиометров, – показания которых в данный отрезок времени различаются между собой, ПУ фиксирует только те сигналы от тензиометров, которые соответствуют заданному критическому значению потенциала, и записывают их в память. При достижении показаний тензиометров, например, четырех из 10 значений критического потенциала влаги, ПУ выделит на выходах дешифратора и схемы совпадения выходной сигнал при срабатывании любых четырех тензиометров из 10. Количество тензиометров, при срабатывании которых программное устройство выделяет предварительно сигнал.

Возникший на дешифраторе и схеме совпадения сигнал поступает на БВ1, где формируется разрешающий сигнал, и далее на блок управления (БУ), который через блок выбора насосных агрегатов (БВНА) включает насосные агрегаты 3. Блок выдержки времени блокирует БУ от повторного запуска на время начавшегося полива. Блок управления посылает сигнал телеуправления

на заданный контролируемый пункт 6, где включается питание для электрогидравлического реле гидрозадвижки 9 на распределительном трубопроводе 12. При открывании задвижки вода поступает в трубопровод, и давление в нем начинает возрастать. Сигнал с реле давления 8 поступает в блок управления 1 и выключает счетчик времени полива.

После окончания заданного времени полива электрогидравлическое реле контролируемого пункта 6 отключается, гидрозадвижка 9 закрывается и давление в трубопроводе 12 начинает уменьшаться. Сигнал с реле давления 8 поступает в БУ, который производит выбор по линии связи 13 следующего контролируемого пункта б, обеспечивающего подачу питания электрогидрореле задвижки с гидроприводом, и вода поступает на следующий распределительный трубопровод.

Отключить насосные агрегаты (прекратить полив) можно двумя способами. По первому варианту автоматическая система выключает насосные агрегаты тогда, когда на орошаемое поле подается заданное количество воды. По второму - полив прекращается в момент, когда показания тензиометров уменьшаются до оптимальных значений потенциала влаги, которые также задают заранее. В этом случае на дешифраторе АТ появляется сигнал, который далее поступает на второй выходной блок ВБ2 и блок управления БУ. Последний преобразует его в запрещающий сигнал и через БВНА выключает насосные агрегаты 3. После окончания полива блок управления 1 прекращает питание электрогидравлического реле гидрозадвижки 9 и распределительного трубопровода 12 гидрозадвижка закрывается. Вся система автоматического полива представляет собой единое и целостное устройство, в котором каждый блок и узел находятся во взаимосвязи и зависимости - работа устройства без какого-либо блока невозможна.

Система использовалась в течение многих лет на участке со стационарным орошением площадью 10 га. В наиболее репрезентативном месте этого поля было установлено пять тензиометров под углом 30° к поверхности почвы. Тензиометры системы оснащены вакуумметрами и подсоединены к

линии связи, а через нее «привязаны» к автоматизированной насосной станции. Полив может осуществляться как заранее заданной нормой, так и по $P_{кр}$ - в качестве последнего используются значения 12 кПа в начальные фазы развития кукурузы и 20 кПа начиная с июня. При поливах по последнему варианту (по $P_{кр}$) насосные агрегаты отключаются тогда, когда заданное заранее количество тензиометров (например, 3 из 5) «сбросят» разрежение до 5 кПа.

Динамика потенциала влаги в слое установки тензиометров в аллювиальной дерновой суглинистой почве под кукурузой (в автоматическом варианте диагностики) показана на рис. 7.3. Видно, что динамика $P_{кр}$ представляет собой чередование максимумов и минимумов, соответствующих началу и окончанию полива; межэкстремальными значениями потенциала характеризуется межполивной период, отличительной особенностью которого является прогрессивное понижение $P_{кр}$ до заданного значения $P_{кр}$. Аналогичный характер изменения потенциала в межполивной период и в течение полива наблюдается и под другими культурами и на других почвах. Отличительной чертой динамики потенциала влаги, например, в южном среднесуглинистом черноземе под виноградником является значительное иссушение в межполивной период почвенного профиля вплоть до 100 см от поверхности и такое же глубокое промачивание в периоды поливов большими нормами (полив по бороздам). Совсем иная динамика потенциала наблюдается на осушенном торфянике Белоруссии под картофелем. В условиях высокого стояния ГВ заметному иссушению подвергается только верхний слой, да и то лишь в июле. В остальное время изменения $P_{кр}$ (с глубины 40 см) незначительны, и его динамика представлена довольно плавными линиями.

Опыт эксплуатации автоматической системы орошения культур свидетельствует о широкой возможности ее использования в производственных условиях. Стационарный способ орошения является наиболее удобным, но не единственным. Систему можно успешно применять при любом способе дождевания.

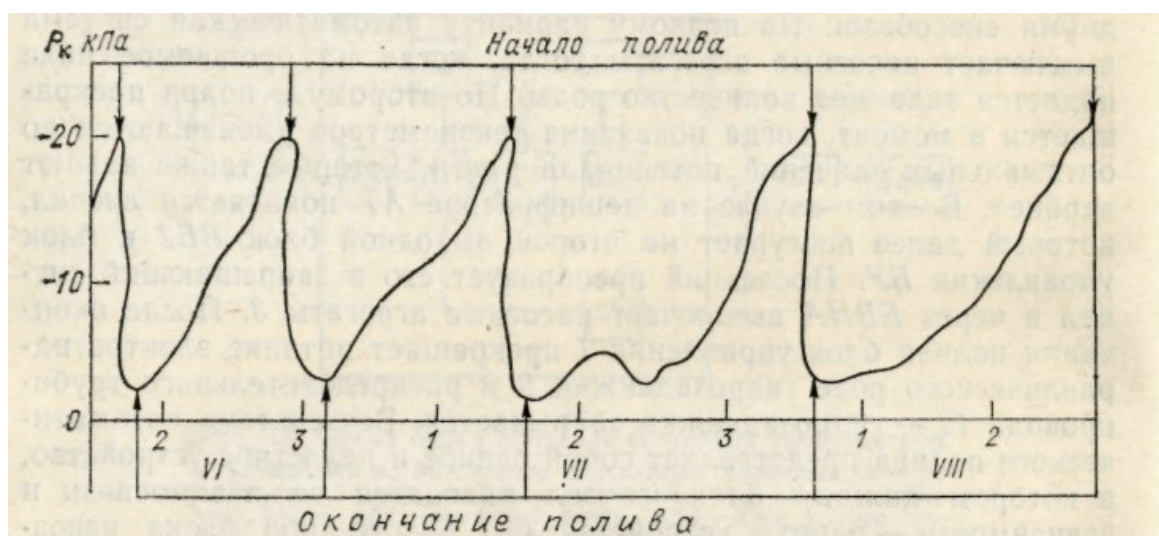


Рис. 7.3. Динамика потенциала влаги в слое 20-25 см аллювиальной дерновой суглинистой почвы в условиях автоматического полива кукурузы.

В экономическом отношении полная автоматизация полива очень выгодна. Затраты на сооружение автоматической системы окупаются в течение двух-трех лет. Рентабельность и эффективность автоматической системы при ее эксплуатации обусловлены увеличением урожая сельскохозяйственных культур не менее чем на 10 % от их продуктивности на орошаемой по предполивной влажности почве. Одновременно с этой прибавкой применение автоматической системы позволяет экономично расходовать воду, что весьма важно при недостатке поливной воды. Рациональное использование воды при поливах уменьшает вынос элементов питания растений и загрязнение окружающей среды. По нашим данным, при интенсивном орошении сумма выноса дренажными водами только пяти элементов минерального питания (общий азот, калий, кальций, магний и натрий) составляет около 320 кг/га. В зависимости от почвенно-климатических, гидромелиоративных и агропроизводственных условий потери элементов питания в результате выноса дренажными водами и фильтрационными токами в грунтовые воды могут быть значительно большими. Оптимизация водного режима почв, особенно при орошении, исключает усиление таких нежелательных процессов, как оглеение почвенного профиля, заболачивание и др. Кроме того, использование полностью автоматических систем диагностирования и проведения полива

позволяет максимально сократить число работников, занятых определением влажности почвы и на поливе. Практически подобные автоматические системы может обслуживать один оператор, причем его занятость составляет не более 2-3 ч.

Еще в 20-е годы пионер отечественной тензиометрии В. Г. Корнев (1935) разработал, а в дальнейшем успешно апробировал в полевых условиях несколько вариантов системы (устройства) с тензометрическим принципом действия, предназначенной для подпочвенного орошения растений. В этой системе функцию пористого датчика тензиометра выполняет пористая керамическая труба, которую укладывают на дно траншеи в корнеобитаемом слое почвы. Труба соединяется с резервуаром, заполненным водой, который может быть расположен как на поверхности почвы (или на уровне трубы), так и под уровнем её последней. Принцип работы такой системы заключается в «использовании» потенциала влаги в системе почва-вода пористой трубы. Испарение влаги из почвы приводит к понижению потенциала почвенной влаги, что влечет за собой расход влаги из системы. Компенсация воды в системе осуществляется из резервуара.

На основе этого принципа в Агрофизическом институте разработана, в сущности, аналогичная система, но предназначенная для использования грунтовых вод (ГВ). При реализации этой системы ГВ с помощью насоса перемещают по вертикальным непористым трубам в горизонтальные пористые – трубы-увлажнители. Недостаток такого устройства заключается в сильном ограничении дренирования ГВ принудительным способом. Если бы ГВ представляли собой обширный резервуар со свободной водой, то это устройство действовало бы безотказно. Однако поскольку грунтовые воды – это лишь предельно насыщенный водой водоносный горизонт почвогрунтов, то интенсивный забор их насосом быстро приведет к дренированию небольшой зоны почвы, непосредственно прилегающей к нижним концам вертикальных труб. Эта дренируемая зона также быстро заполнится воздухом из близлежащих ненасыщенных водой слоев почвы, и дальнейший забор ГВ

станет невозможным, поскольку вместе с водой в пористую трубу увлажнитель будет поступать и свободный воздух. Наличие в системе большого количества воздуха приведет к потере в ней вакуума, и она окажется в нерабочем состоянии. Более того, эта система будет работать только до тех пор, пока вертикальные трубы находятся в ГВ, поскольку вода «запирает» систему подобно крану. При понижении зеркала ГВ система выйдет из строя, поскольку она становится с этого момента открытой, незагерметизированной.

Предложенная система полива грунтовыми водами (рис. 7.4) является автоматической в полном смысле этого слова, поскольку забор ГВ осуществляется не принудительно, а пассивно, путем поступления воды в пористую трубу, расположенную в ГВ. Эта пористая труба герметично соединена с другой пористой трубой-увлажнителем, расположенной в корнеобитаемом слое почвы. Вертикальные трубы являются непористыми и могут быть выполнены из пластмассы и других синтетических материалов. Нижняя труба в условиях глубокого залегания ГВ может быть расположена в КК. После установки устройства в почву систему заполняют водой (через вентиль 3).

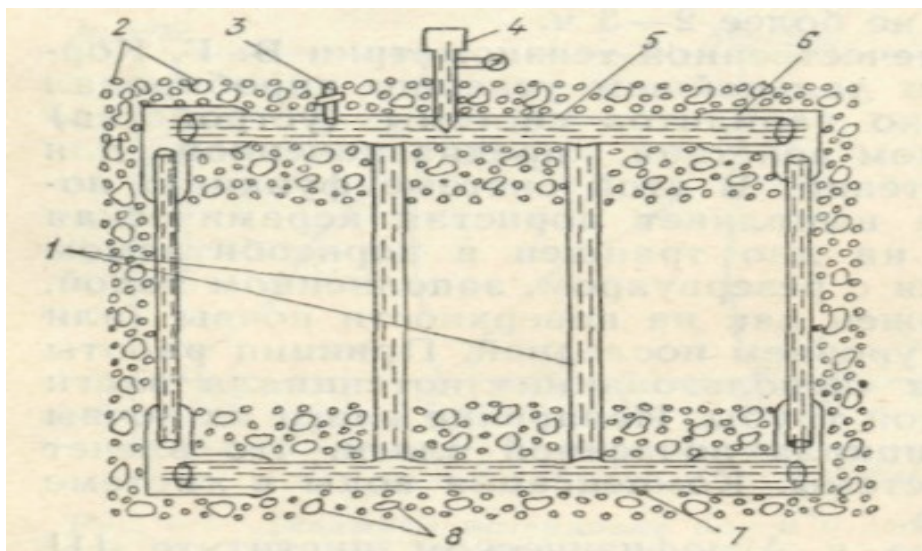


Рис. 7.4. Схема системы (устройства) полива сельскохозяйственных культур грунтовыми водами. 1 – непористые трубы, 2 – корнеобитаемый слой почвы, 3 – вентиль, 4 – тензиометр, 5 – пористая труба-увлажнитель, 6 – соединительная муфта, 7 – нижняя пористая труба, 8 – слой почвы, в котором залегают грунтовые воды.

Физическая сущность, принцип и пределы действия системы вытекают из следующего анализа. Расход влаги из слоя установки пористой трубы-увлажнителя приводит к понижению потенциала влаги. В то же время (сразу после установки) и в течение какого-то времени потенциал свободной воды системы будет равен нулю. Следовательно, в системе почва – пористая труба возникает перепад потенциала, что вызывает движение воды из ГВ в верхнюю пористую трубу и далее в почву. Установление градиента потенциала в системе почва – верхняя пористая труба – нижняя пористая труба-грунтовые воды вызывает устойчивый поток воды из ГВ в корнеобитаемый слой почвы. Таким образом, образуется саморегулируемая система подпочвенного орошения, где движущей силой по переносу влаги является градиент потенциала влаги в системе.

Максимальная глубина ГВ, которая может быть использована для орошения с помощью предложенной системы, и определяется максимальным перепадом P_k минус гидростатическое давление воды в вертикальных трубах. Максимальное значение капиллярно-сорбционного потенциала, измеряемое тензиометрами, составляет примерно 85 кПа. Гидростатическое давление будет равно высоте вертикальных непористых труб, т.е. высоте забора ГВ. Поскольку капиллярно-сорбционный потенциал и гидростатическое давление – величины разнонаправленные, то движущие силы становятся меньшими на значение последнего. В соответствии с этим проведенные расчеты показывают, что предельная глубина залегания нижней трубы находится в 5-6 м от поверхности, при этом расчеты основываются на представлении, что дренирование ГВ и особенно КК осуществляется до влажности почвогрунтов, соответствующей НВ.

В заключение рассмотрим условия дренирования ГВ системой, расположенной на глубине 5 м от поверхности. Максимальный перепад потенциала влаги в системе зона иссушения – грунтовые воды составляет 80 кПа. С вычетом гидростатического давления (50 кПа) перепад уменьшится до 30 кПа. Полученное значение перепада потенциала соответствует значению НВ

почвогрунтов суглинистого гранулометрического состава и заметно выше $P_{кр}$, характеризующего НВ для почвогрунтов более легкого гранулометрического состава. Следовательно, ГВ, потенциал влаги, которых принят за нуль, будут свободно перемещаться вверх, к фронту испарения до тех пор, пока потенциал в зоне ГВ не понизится до 30 кПа. Очевидным является, что предложенная система будет выполнять функцию дренажа при выпадении обильных осадков, после паводков и чрезмерных поливов, которые, к сожалению, все еще имеют место в практике ирригации.

7.3. Особенности приемов регулирования водного режима почв и влагообеспеченности растений в Нечерноземной зоне России.

Нечерноземная зона страны представляет собой огромный регион протяженностью с запада на восток от берегов Балтийского моря до Урала (Свердловская обл.). Площадь зоны только в России достигает 283 млн. га, из них сельхозугодий 46,7 млн. га, что составляет около 20 % земель, используемых в сельском хозяйстве России. Нечерноземная зона существенно различается по геоморфологическому строению, почвообразующим и подстилающим породам, климатическим и экологическим условиям, а также по размерам мелиорированных территорий.

Осушение и орошение оказывают мощное антропогенное воздействие на природно-территориальные комплексы. В результате мелиоративных мероприятий на значительных площадях сведена естественная болотная и кустарниковая растительность, заметно понижен уровень грунтовых вод, что привело в ряде мест к переосушению почв, быстрой минерализации органического вещества и другим негативным последствиям. Ландшафты из аккумулятивных превращаются в аллювиальные и эллювиально-аккумулятивные

Мелиорация как крупномасштабное антропогенное явление оказывает существенное влияние не только на осушенные почвы, но и на прилегающие к ним территории, а также на другие элементы ландшафта воды, приземный

воздух, растительность. Это воздействие мелиорации осуществляется по двум направлениям: 1) непосредственное влияние, обуславливающее частичное обезвоживание прилегающих к осушенным участкам территорий, понижение уровня грунтовых вод, вынос химических элементов-мигрантов за пределы дренажных систем, изменение микроклимата и состава фитоценозом; 2) вторичное воздействие, заключающееся в последующих изменениях генетических, физических и физико-химических свойств почв и почвенных процессов.

Невысокая отдача мелиорированного гектара объясняется целым рядом объективных и субъективных причин, среди которых следует указать на все еще низкий уровень научно-технического обоснования мелиоративных проектов и плохое качество их выполнения, нередкое отсутствие в хозяйствах севооборотов, рациональных систем обработки почв и внесения удобрений, особенно органических. Сюда же следует отнести недостаточную изученность основных свойств мелиорированных почв, почвенные режимы и процессы, протекающие в них при различной длительности осушения и одновременно орошении. Нередко проекты по осушению и орошению основаны на небольшом числе почвенных выработок, не охватывающих всех компонентов структуры почвенного покрова территории, подлежащей мелиорации. При этом обследование почв проектантами осуществляется поспешно, что приводит к получению некачественной информации. Низкий уровень обоснования проекта, с одной стороны, и нередко низкое качество строительства мелиоративных систем, с другой, приводит к тому, что мелиоративные системы часто не работают вообще (сразу же после ввода в эксплуатацию) или не обеспечивают оптимального водного режима зоны аэрации.

При орошении почвы методом дождевания большое значение имеет интенсивность, размер (диаметр) капель дождя и прочие параметры процесса, обуславливающие степень влияния дождя на структуру почвы. Необходимо также отметить повсеместное уплотнение верхнего слоя почв тяжелыми почвообрабатывающими орудиями и тракторами и то, что многие хозяйства не

всегда используют рекомендации по улучшению плодородия почв, содержащиеся в проектах и трудах научно-исследовательских и проектных организаций. В последние десятилетия имеет место всемерное расширение клина пропашных культур на пойменных почвах, приведшее уже к серьезному разрушению зернисто-комковатой и образованию комковато-глыбистой структуры почв и нарушению природного равновесия.

Заканчивая на этом краткое рассмотрение негативных явлений при мелиорации почв и причин, обуславливающих эти явления, укажем на некоторые полезные гидромелиоративные и агротехнические приемы, которые должны содержаться в каждом проекте. Он обязан рационально решать проблему оптимизации водного режима почв и влагообеспеченности растений на мелиорируемых землях. В нем должны найти отражение приемы по восстановлению плодородия почв, нарушенных в процессе строительства мелиоративных систем и проведения культуртехнических работ. Прогрессивное повышение плодородия введенных в сельскохозяйственное использование мелиорированных почв обеспечивается путем включения в проект научно обоснованных систем земледелия, способов обработки почв и сроков внесения удобрений. Проект должен включать мероприятия по борьбе с водной и ветровой эрозией (подбор специальных культур, снегозадержание, организация поверхностного стока, применение структурообразователей и другие), мероприятия по предотвращению потерь элементов, питания растений из почвенного профиля, по утилизации дренажного стока, предотвращению накопления в почвах и растениях токсических веществ.

Особо важное значение приобретает рациональное решение проблемы регулирования водного режима почв Нечерноземной зоны России путём орошения. В практике ирригации сложилось так, что орошение как агротехнический прием в Нечерноземной зоне стало практиковаться значительно позже по сравнению с аридными регионами. Это привело в ряде случаев к тому, что приемы регулирования, положительно зарекомендовавшие себя, например, в сухостепной зоне, были перенесены в условия Нечерноземья.

Однако почвенно-экологические условия этих зон существенно не однозначны; различия заключаются не только в атмосферном увлажнении, но и в гидрофизических и химических свойствах почв, биолого-физиологических свойствах возделываемых культур, сроках вегетации и в других факторах экологической среды. Влияние многих из этих факторов на влагопотребление и на состояние влаги в системе почва-растение-атмосфера рассмотрены ранее (гл.7.3-7.6). Здесь кратко остановимся лишь на условиях атмосферного увлажнения, мощности корнеобитаемого слоя почв и УГВ. Эти факторы являются наиболее важными при разработке приемов регулирования водного режима почв и в значительной степени определяют стратегию и тактику орошения.

Поскольку в аридной зоне E_0 значительно превышает сумму ОС практически за любой промежуток времени, то необходимость орошения здесь во многих случаях является очевидной. Значительно сложнее дело обстоит в Нечерноземной зоне. С одной стороны последняя относится к достаточным и даже в ряде случаев к избыточным по атмосферному увлажнению территориям. Исходя из этого факта, казалось бы, что ОС должно бы быть вполне достаточно для удовлетворения потребностей растений во влаге. Однако в связи с высокой неравномерностью их выпадения в отдельные периоды растения могут испытывать, и действительно испытывают, недостаток во влаге. Дело осложняется еще и тем, что корневые системы большинства сельскохозяйственных культур сосредотачиваются в верхнем (0-40 см) слое почвы. Основными причинами, ограничивающими рост корней в глубину, являются: наличие на глубине 30-40 см (а иногда и выше) подзолистого (или оподзоленного), глеевого неплодородного бесструктурного слоя; высокие плотность аллювиального горизонта и запасы влаги в верхнем корнеобитаемом слое в течение значительной части вегетации.

В этих условиях сравнительно непродолжительные засушливые периоды приводят к возникновению в корнеобитаемом слое значительного водного дефицита почвенной влаги. Наиболее пагубное влияние засушливых периодов

на рост и развитие растений наблюдается на ранних стадиях вегетации, на которые, как правило, и приходятся бездождные периоды. Приток влаги из ГВ, имеющий место в течение всего вегетационного периода в довольно значительных количествах, только частично удовлетворяет потребности растений во влаге. Еще хуже обстоит дело на территориях, где ГВ залегают глубже 2-3 м от поверхности.

Таким образом, с другой стороны, несмотря на высокие суммы ОС, орошение в подзоне южной тайги для ряда культур, особенно для овощных и трав, следует признать целесообразным. Эта целесообразность обуславливается еще и тем, что, например, в Московской области из 100 лет 29 были засушливыми. Однако орошение как агротехнический прием в подзоне южной тайги имеет ряд существенных отличий от такового в аридной зоне. Эти отличия, по нашему мнению, заключаются в следующем.

Учитывая малую мощность (по сравнению с районами традиционного орошения) корнеобитаемого слоя почвы и сравнительно высокие суммы ОС, поливные нормы должны быть небольшими в пределах 20-30 мм. В сущности, данное положение в значительной степени относится и к аридным зонам, поскольку поливы большими нормами одновременно с положительным действием приводит и к ряду негативных последствий: образованию поверхностного и внутрипочвенного стоков, ирригационной эрозии, большим непроизводительным потерям влаги путем испарения. Внутрипочвенный сток приводит к нежелательному в ряде случаев подъему ГВ и вымыванию питательных веществ из почвы, а отсюда - к значительным потерям удобрений и загрязнению окружающей среды.

Вторая особенность, имеющая значение и для других регионов, заключается в использовании динамичных, гибких методов и способов диагностики полива. Эти методы должны обеспечивать практиков сельскохозяйственного производства доступной для быстрого принятия решений информацией, которая в интегральном виде всесторонне и в то же время надежно отражала бы протекание почвенных процессов и

характеризовала состояние влаги по степени ее доступности для растений в любой промежуток времени. К таким методам вполне обоснованно следует отнести тензиометрический, а потенциал влаги является именно такой информацией, которая полностью удовлетворяет поставленным требованиям.

Третья особенность орошения в Нечерноземной зоне вообще, и в подзоне южной тайги в частности, заключается в необходимости учёта испарения ГВ при разработке режимов орошения. Однако практическое выполнение этого условия сопряжено с большими трудностями, поскольку вопрос доли ГВ во влагообеспеченности растений для условий Нечерноземной зоны является далеко не выясненным, а экспериментальное определение сопряжено со значительными трудностями. И в этом отношении тензиометрический метод имеет явное преимущество перед некоторыми другими методами диагностики полива. Такой вывод базируется на том основании, что потенциал влаги в интегральном виде отражает результат взаимодействия всех элементов водного баланса, складывающегося на данной территории. Показания тензиометров как бы фиксируют мгновенный результат, следствие, непрерывно протекающих процессов. При таком положении можно считать безразличным, сколько, например, за данный отрезок времени поступило воды из ГВ в корнеобитаемый слой почвы, поскольку показания тензиометров в интегральном виде отражают доступность почвенной влаги, содержащейся именно в этот отрезок времени.

Далее следует указать на необходимость тщательного экономического обоснования эффективности орошения именно в Нечерноземной зоне. Если в аридных зонах в условиях высокого водного дефицита почвенной влаги орошение, в сущности, почти всегда экономически выгодно, то в Нечерноземной, по-видимому, далеко не всегда. Например, работами Г. С. Базыкиной (по информации Муромцева, Мажайского и др., 2013, показано, что орошение кукурузы в долине р. Москвы во влажные и средние по увлажнению годы экономически невыгодно. Расходы на полив не окупаются невысокими прибавками урожая этой культуры. К этому надо добавить, что в практике ирригационного строительства имели место «увлечения», приведшие к

чрезмерному строительству гидромелиоративных сооружений там, где без них вполне можно обойтись, где это экономически нерентабельно.

В целом же целесообразность орошения в ряде районов Нечерноземной зоны подтверждается практикой сельскохозяйственного производства, в частности, в Северо-Западных областях РФ где в условиях орошения неизменно получают высокие и устойчивые урожаи многих культур.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Водный режим почв и растений неразрывно связаны между собой, поэтому влагообеспеченность растений оценивают категориями и понятиями влагообеспеченности почв и растений. Запасы влаги и влагообеспеченность дерново-подзолистой суглинистой почвы формируются под воздействием атмосферных осадков и частично почвенной верховодки, образующейся периодически на уплотненных слоях профиля в дождливые периоды вегетационного периода. Запасы влаги наиболее динамичны в верхних 0-30 и 0-50 см слоях, максимально насыщенных корнями исследованных растений рапса, эспарцета и кукурузы. Влияние морфогенетических и водно-физических свойств разновидностей почв, обусловленных проявлением запасов влаги разных частей склона, можно считать второстепенным.

Значения потенциала (давления) влаги в почве (от дневной поверхности) до глубины 60 см часто наблюдаются значения 30-33 кПа, что соответствует примерно содержанию влаги, равной наименьшей влагоемкости. Обводненность корнеобитаемого слоя верхней части склона, во влажный год приближается по влагообеспеченности к вариантам пониженных форм рельефа. В длительный засушливый период значение давления влаги достигает наивысших величин (100 кПа), соответствующих верхнему пределу работы тензиометра.

Содержание влаги в верхнем слое почвы (0-30 см) к концу засушливого периода (53 суток) понизилось до максимальной гигроскопичности, а в слое глубиной 50 см – до влажности устойчивого завядания растений. По глубине

воздействия засушливый период 2014 г. не уступает таковым 1972 и 2010 годов. Сильное иссушение дерново-подзолистой суглинистой почвы в лесной зоне скорее характерно для супесчаных почв сухостепной зоны. Максимальная температура воздуха в 2015-2016 гг. достигает 28 – 29⁰С. Среднегодовое значение температуры летних месяцев колеблется в пределах 17 – 23⁰С.

Почвенные засухи значительно снижают выход полезной продукции, но в то же время приобретенная устойчивость к ним, проявляющаяся в более экономном расходовании влаги и увеличении нижней границы её доступности, обуславливает возрастание выживаемости растений в трудных ситуациях. Под влиянием нескольких, последовательно проявляющихся кратковременных засух (водных дефицитов влаги) интервал доступной для растений влаги несколько увеличивается, что объясняется повышением значений давления (потенциала) и перепада потенциала почвенной влаги. Между потенциалом (давлением) почвенной влаги и влажностью почвы, а также между потенциалами влаги в почве и листьях растений и между относительной транспирацией и потенциалами влаги в системе «почва – лист» существует функциональная зависимость.

Зависимость коэффициента влагопроводности (K_n) от влажности почвы и давления (потенциала) почвенной влаги в значительной степени индивидуальна для каждого типа почв. С повышением давления влаги (от 0 до 80 кПа) коэффициент влагопроводности аллювиальной почвы уменьшается в 10-15 раз, а дерново-подзолистой – в 35-76 раз. Максимальные значения влагопроводности (в любой почве) практически близки к значениям коэффициента фильтрации, а минимальные – стремятся к нулю. Равенство коэффициентов фильтрации и влагопроводности обычно имеет место в условиях нисходящего потока при влажности, равной полной влагоемкости или близкой к ней.

Внутрипочвенный влагообмен осуществляется влагой и растворенными в ней химическими веществами между отдельными почвенными слоями, зоной аэрации и грунтовыми водами, а также между почвой и прилегающим к ней

нижним слоем атмосферы. С капиллярным подпитыванием возвращается в корнеобитаемый слой дерново-подзолистой почвы: калия – 0.19 кг/га или 20% от потерь, затем следуют: марганец (16.4% от потерь), кальций (15.0%), цинк (13.4%) и замыкает ряд магний (9.0%).

Главными статьями внутрипочвенного влагообмена являются инфильтрация атмосферных осадков в почву и испарение грунтовых вод. Соотношение объемов подпитывания и инфильтрации влаги при различных средних уровнях грунтовых вод составляет следующие величины: при УГВ=70 см 86 и 17 мм, УГВ=95 см – 97 и 45 мм; УГВ=120 см – 28 и 34 мм и при УГВ=145 см – 13 и 51 мм.

Разрыв капиллярных транзитных путей при высоком содержании влаги заключается в разных (неодинаковых) расходах влаги из ГВ в почву и испарения влаги из почвы. Ликвидации разрывов, поступающей из ГВ влаги, препятствуют пузырьки воздуха, которые при определенных условиях могут соединяться в различные по размерам воздушные полости. Сработка капиллярной каймы при испарении влаги с поверхности почвы в условиях высокого стояния грунтовых вод может достигать значительных размеров по мощности и затрагивать большую часть КК или даже практически полностью всю её зону.

Величина изменения температуры почвы в течение одних суток невелика и лежит в пределах 1.5°C в верхних и $0.4\text{--}0.3^{\circ}\text{C}$ в нижних слоях почвы, приближаясь к нулю с глубиной и стабилизацией содержания влаги. Минимальная величина суточного изменения температуры в самых верхних слоях почвы наблюдается к 9-12 часам, а на уровне 30 и 50 см – 15 часам. Величины температур в 0.0 часов двух смежных суток достигают обычно близких значений. Суточные изменения давления влаги обычно (в стабильных температурных условиях) также невелики и находятся в пределах 2-3 кПа.

В талой почве с положительной динамикой температуры поток влаги осуществляется путём диффузии парообразной влаги и в жидком виде. Все виды понижения давления влаги (медленные и быстрые, незначительные и

существенные) происходят с увеличением содержания влаги и температуры почвы. В зимний период и в периоды с отрицательными величинами температуры, – путем диффузии парообразной влаги, а в талой почве с положительной динамикой температуры, – и в жидком виде. Движущей силой переноса влаги является градиенты температуры и давления влаги.

Установлено явление резкого скачкообразного повышения давления влаги при переходе положительных значений температуры почвы через ноль в область отрицательных величин, то есть в условиях перехода почвенного раствора (при стабильном состоянии всех других параметров среды). Это явление, не описанное ранее в отечественной гидрологической литературе, названо *гидротермическим фазовым переходом почвенного раствора*. Оно представляет собой процесс перехода вещества из одной формы в другую при изменении одного из основных параметров среды – температуры с потерей внутренней энергии почвенного раствора.

Анализ содержания запасов влаги, давления и метеорологической информации, позволяет установить оптимальные (критические) величины давления (потенциала) влаги, применительно к исследованным культурам.

Обоснование критических значений потенциала ($P_{кр}$) проведено с учётом биологического вида, возраста растений и гранулометрического состава почв. Доступность почвенной влаги, характеризующие интервал критических значений, соответствует оптимальному диапазону увлажнения почвы. Этот диапазон представляет собой содержание влаги в почве, «ограниченное» сверху наименьшей влагоемкостью (НВ) – верхняя граница оптимального увлажнения почв, и 0.8-0.6 НВ – нижняя граница оптимального увлажнения почв.

Поток влаги из почвы в растение должен удовлетворять потенциально возможной транспирации, соответствующей (равной) испаряемости, т.е. поток влаги (I) = $AT = T_0 = E_0$. Однако из-за несоответствия скорости потока влаги через границу «почва – корень растения» скорости потока её на границе «лист растения – атмосфера» часто в природных условиях имеем ситуацию: поток влаги из почвы в растение (I) < $AT < T_0 = E_0$.

Оптимальные (критические) величины давления влаги характеризуют применительно к исследованным (травы, эспарцет и кукуруза) культурам: многолетние травы 15-20 кПа (посев-кущение) и 30-35 кПа (от смыкания и до полного окончания). Эспарцет величины составляют: 15-20 кПа (от смыкания и до полного созревания) и 25-30 кПа (от смыкания и до полного созревания), и кукуруза (на силос) – 25-30 кПа (до трубкования) и 30-40 кПа (цветение - вызревание зерна). Длительные исследования в области тензиометрии позволили подразделить диапазон $P_{кр}$.

Решение вопроса о глубине установки тензиометров в почву позволяет заранее определить оптимальные глубины размещения приборов в зависимости от глубины распространения корневой системы растений и фаз их развития. Для всех культур с глубокопроникающей в почву корневой системой установку тензиометров вполне возможно ограничить только двумя ярусами почвы: 1/4 и 3/4 глубины распространения основной массы корней.

Наиболее законченной формой прогрессирующего развития технологии являются автоматические системы орошения полностью автоматической или автоматизированной системой. Она осуществляется от соответствующего сигнала из почвы, отражающего состояние почвенной влаги и указывающего на необходимость его регулирования. Предложена автоматическая система полива сельскохозяйственных культур, прошедшая испытание в производственных условиях при стационарном орошении на мелиоративной системе Горки-2.

Разработана система полива грунтовыми водами. Она является автоматической в полном смысле этого слова, поскольку забор ГВ осуществляется не принудительно, а пассивно, путем поступления воды в пористую трубу, расположенную в ГВ. В этой системе функцию пористого датчика тензиометра выполняет пористая керамическая труба, которую укладывают на дно траншеи в корнеобитаемом слое почвы.

Мелиорация, как крупномасштабное антропогенное явление, оказывает существенное влияние не только на мелиорированные почвы, но и на

прилегающие к ним территории, а также на другие элементы ландшафта, воды, приземный воздух, растительность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматический справочник по Московской области. Л. Гидрометеиздат. 1967. 144 с.
2. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. М.: Агропромиздат. 1985. 304 с.
3. Алексеевский В.Е. О мелиоративно-гидрогеологическом районировании осушаемых земель // Гидротехника и мелиорация. М.: 1970. № 10. с. 27-36.
4. Алексеенко В.А. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра. 1990. 142 с.
5. Алпатьев А.М. Влагооборот в природе и их преобразования. Л.: Гидрометеиздат. 1969. 324 с.
6. Анисимов К.Б., Муромцев Н.А., Семенов Н.А. Тензиометрический метод исследования водного режима почв и влагообеспеченности растений. В сборнике: Современные методы исследований почв и почвенного покрова//Материалы Всероссийской конференции с международным участием. 2015. С. 223-225.
7. Атлас Московской области. Масштаб 1:100000. М.: Роскартография, Геология СССР. Т. IV. Центр Европейской части СССР. Геологическое описание. М.: Недра. 1976. 742 с.
8. Базыкина Г.С. Исследование зависимости капиллярного давления от влагосодержания при испарении из капиллярно-пористых сред. Автореф. канд. дис. Л.: 1974. С. 5-18.
9. Базыкина Г.С. Водно-физические свойства дерново-подзолистых супесчаных почв Московской области в связи с их орошением// влияние орошения на плодородие почв легкого механического состава Московской области. М.: 1981. С. 43-53.

10. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1984. 204 с.
11. Глобус А.М. Экспериментальная агрофизика почв. Л.: 1969. 356 с.
12. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических моделей. Л.: Гидрометеиздат. 1977. 427 с.
13. Гусев Н.А. Некоторые закономерности водного режима растений. М.: Изд-во АН СССР. 1959. 779 с.
14. Долгов С.И. Исследование подвижности почвенной влаги и доступности ее для растений. Л.: Изд-во АН СССР. 1948. 208с.
15. Желязко В. И., Тиво П. Ф., Мажайский Ю. А.. Использование бесподстильного навоза на мелиорируемых агроландшафтах Нечерноземья. Рязань: Мещерского ф-ла Всерос. ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2006. 304 с.
16. Жибуртович К. К., Основин, В. Н., Мажайский, Ю. А., Курчевский, С. М. Оптимизация параметров водного режима осушенных и сопредельных земель с учетом надежности мелиоративных систем. Рязань: РГАТУ, 2012. 376 с.
17. Зайдельман Ф.Р. Гидрологический режим Нечерноземной зоны. Л.: Гидрометеиздат. 1985. 240 с.
18. Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа. 1970. 357 с.
19. Корнев В.Г. Подпочвенное орошение. М.: Сельхозгиз. 1935. 175 с.
20. Коротков Б.И. Основы орошения культурных пастбищ в Нечерноземье// Сб. науч. тр. ВИК. М.: Вып. 10. 1975. С. 57-70.
21. Коротков Б.И. Водопотребление луговых травостоев на пойменных землях // Гидротехника и мелиорация. №12.1980. С. 32-35.
22. Константинов А.Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы. Л.: Гидрометеиздат. 1978. 263 с.
23. Корякин Н.В. Основы химической термодинамики. М.: Академия. 2003. 463 с.

24. Мажайский Ю.А. Экологические факторы регулирования водного режима почв в условиях техногенного загрязнения агроландшафтов. М.: Изд-во МГУ. 2001а. 227 с.
25. Мажайский, Ю. А., Евтюхин В. Ф., Резникова А. В. Экология агроландшафта Рязанской области. М.: Изд-во МГУ. 2001б. 95 с.
26. Мажайский Ю.А. Обоснование режимов комплексных мелиораций в условиях техногенного загрязнения агроландшафта: диссертация д-ра с.-х. наук. М.: 2002. 456 с.
27. Мажайский Ю. А., Тобратов С. А., Дубенок Н. Н., Пожогин Ю. П. Агроэкология техногенно загрязненных ландшафтов. Смоленск: ООО «Маджента». 2003. 383 с.
28. Мажайский Ю.А., Захарова О.А., Ушаков Р.Н., Костин Я.В. Эколого-экологическая оценка антропогенных воздействий на почвенный покров Рязанский области. Рязань: Изд-во Мещёрского филиала ВНИИГиМ. 2005. 148 с.
29. Мажайский Ю.А., Ковалев Н.Г., Сондей В.Б. Агроэкологическое обоснование ведения сельскохозяйственного производства на мелиорируемых длительно используемых, нарушенных и загрязненных землях. Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ 2014. 484 с.
30. Мелиоративная энциклопедия. М.: Росинформагротех. 2003. Т. 1. С. 622.
31. Мелиоративная энциклопедия. М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2004. Т. 2. С. 10–11.
32. Методические рекомендации по проведению лизиметрических исследований водного, солевого и пищевого режимов почв на многолетних травах. М.: 1979. 36 с.
33. Муромцев Н.А. О некоторых методических вопросах использования тензиометров в исследованиях водного режима почв//Метеорология и гидрология. 1979. № 10. С. 111–117.
34. Муромцев Н.А. Мелиоративная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеиздат. 1991. 272 с.

35. Муромцев Н.А., Семенов Н.А. Потери и возврат химических веществ в почвах при инфильтрации и подпитывании грунтовыми водами. Почвоведение. 2005. №2. С. 457-463.
36. Муромцев Н.А. Интенсивность испарения грунтовых вод в зимний период// Сб. научных работ ВНИИГиМ. М.: 2007. С. 67-73.
37. Муромцев Н.А. Оценка влагообеспеченности растений//Бюллетень почвенного института им. В.В.Докучаева. 2011. Вып. 67. С. 20 - 31.
38. Муромцев Н.А., Коваленко П.И., Семенов Н.А., Мажайский Ю.А., Яцык Н.В., Шуравилин А.В., Воропай Г.В., Анисимов К.Б., Коломиец С.С.. Внутрипочвенный влагообмен, водопотребление и водообеспеченность многолетних культурных травостоев. Рязань. 2013. 300 с.
39. Муромцев Н.А., Анисимов К.Б.. Некоторые особенности формирования водного режима дерново-подзолистой почвы на различных элементах геоморфологической катены//Бюллетень Почвенного института. 2015. № 77. С. 78 – 93.
40. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энергомассообмен в системе растение – почва – приземный воздух. Л.: Гидрометеиздат. 1975. 358 с.
41. О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области. Информационный выпуск//Под ред. Качан А.С., Рыбальского Н.Г. М.: НИА. Природа. 2008. 402 с.
42. Панов Г.А. Мощность биологически активного слоя чернозема обыкновенного// Сб. науч. тр. Челябинск. 1999. Вып. 1. С. 87-94.
43. Почвы Московской области и их использование. Коллектив авторов. В 2-х томах. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 2002. Т. 1. 500 с.; Т. 2. 300 с.
44. Пыленок П.И., Сидоров И.В. Природоохранные мелиоративные режимы и технологии. М.: Россельхозакадемии. 2004. 323 с.
45. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 10. Верхневолжский район. Книга 1. Л.: Гидрометеиздат. 1973 475 с.

46. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Л.: Гидрометеиздат. 1965. Т.1. 663 с.
47. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге//Избр. тр. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. 2008. Т. 3. 663 с.
48. Руководство по монтажу и использованию автоматической метеостанции. Гавард: 2009. 63 с.
49. Семенов Н.А., Муромцев Н.А., Сабитов Г.А., Коротков Б.И. Лизиметрические исследования в луговодстве. М.: Изд-во Аверс Пресс. 2005. 584 с.
50. Слейчер Р.О. Водный режим растений. М.: Мир. 1970. 365 с.
51. Судницын И.И., Муромцев Н.А., Чан Конг Тау. Психрометрический метод определения потенциала влаги в почве и растениях// Почвоведение. 1971. № 4. С. 47–56
52. Судницын И.И. Движение почвенной влаги и влагопотребление растений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 254 с.
53. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. Л.: Гидрометеиздат. 1975. 373 с.
54. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. Ун-та. 2005. 432 с.
55. Шишов Л.Л., Муромцев Н.А., Большаков В.В., Орлова Л.П. Исследование режима влаги и химических веществ в агроландшафтах южной тайги. М.: 2001. 230 с.
56. Шуравилин А. В., Мажайский Ю.А. Практикум по мелиорации сельскохозяйственных земель. Рязань: РГАТУ. 2011. 213 с.
57. Baver L.D. Soil physics. New-York. 1956, 489 p.
58. Durner, W., Or., D. Soil Water Potential Measurement. Encyclopedia of Hydrological Sciences. Apr. 2006, pp. 1-14.
59. Durner, W., Jansen, U., Iden, S. C. Effective hydraulic properties of layered soils at the lysimeter scale determined by inverse modelling. European Journal of Soil Science. Feb. 2008. Vol. 59 Issue 1, pp. 114-124.

60. Gardner W.R., Gurg W.A., Knight J. Water uptake by the vegetation. In 2 heat and mass transfer in the biosphere. Part 1. transfer processes in the plant environment // Soil. Ski. 1975, № 4, pp. 443–456.
61. Giedrojć B, Wilozynski A. The influence of meteorological factors and capillary potential of soil on field water consumption by crops. Zesz. probl. post. Nauk rol. 1982, N 281, pp. 85-93.
62. Green, T. R., and R. H. Erskine. Measurement and inference of profile soil-water dynamics at different hillslope positions in a semiarid agricultural watershed, Water Resour. Res., 2012, 47, W00H15, doi:10.1029/2010WR010074.
63. Hosseini S.M., Mir M., Ganjian N., Pisheh Y.P. Estimation of the water retention curve for unsaturated clay // Can. J. Soil Sci. 2011, Vol, 91. No 4, pp. 543-549.
64. Meissner, R., Rupp, H., Seeger, J., Ollesch, G., Gee, G.W. A comparison of water flux measurements: passive wick-samplers versus drainage lysimeters. European Journal of Soil Science. 2010, 61, pp. 609-621.
65. Molz F.J. Models of water transport in the soil-plant system: a review // Water Resour. Res. 1981, V.17, № 5, pp. 1245-1260.
66. Muromtsev N.A., Pylenok P.I., Semenov N.A., and Anisimov K.B. Specific Features of soil Water Exchange and Chemistry of pore and Ground Waters//Eurasian soil Science. Vol. 48, № 7, 2015, pp. 742-747.
67. Nazaretsyan A.T., Kazaryan U.K., Hamparyan G.A. The Content Of Moisture Available For Plants Depending On Aggregation And Density Of The Soil. Annals of Agrarian Science. 2013, Vol 11, No 1: pp 52-55.
68. Nolz, R., Cepude, P., et al., Soil water monitoring in a vineyard and assessment of unsaturated hydraulic parameters as thresholds for irrigation management. Agricultural Water Management. Volume 164, Part 2, 31 January 2016, pp. 235-242.

69. Phoon Kok-Kwang, Santoso Anastasia, Quek Ser-Tong. Probabilistic analysis of soil-water characteristic curves. J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng. 2010, 136, No. 3, pp. 445-455.
70. Weihermüller, L., Siemens, J., Deurer, M., Knoblauch, S., Rupp, H., Göttlein, A. & Pütz, T. In situ soil water extraction: a review. Journal of Environmental Quality. 36, 2007, pp. 1735-1748.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 4.1 приложение. Метеоданные ежедневные (14-00 час.) приземного слоя воздуха. 2014 г.

Дата	Т _{вн} , ⁰ С	W _в , %	Точка росы, ⁰ С	Индекс испр. , ⁰ С	V, м/сек	ОС, мм	Σ, мм	Радиация
2014-07-25 14:00:00	24,3	46	11,1	24,4	5,4	0,0	4,801	834
2014-07-26 14:00:00	24,7	45	11,7	24,4	4,9	0,0	4,645	820
2014-07-27 14:00:00	26,9	38	11,1	26,7	2,7	0,0	4,953	798
2014-07-28 14:00:00	31,6	33	13,3	31,1	2,7	0,0	5,054	865
2014-07-29 14:00:00	31,4	30	11,7	30,6	5,8	0,0	4,877	781
2014-07-30 14:00:00	30,3	43	16,1	31,1	5,4	2,2	4,519	772
2014-07-31 14:00:00	31,5	27	10,0	30,6	2,7	0,2	4,445	858
2014-08-01 14:00:00	31,8	28	11,1	30,6	2,2	0,0	4,776	546
2014-08-02 14:00:00	31,2	37	15,0	31,1	1,8	0,0	3,329	755
2014-08-03 14:00:00	28,3	45	15,6	28,9	3,6	0,0	3,682	854
2014-08-04 14:00:00	25,3	50	13,9	25,6	2,2	0,0	4,697	325
2014-08-05 14:00:00	27,2	43	12,2	27,2	4,0	0,0	4,597	609
2014-08-06 14:00:00	28,7	45	14,4	28,9	4,9	0,0	4,901	346
2014-08-07 14:00:00	26,8	47	14,4	26,7	1,8	32,6	4,468	87
2014-08-08 14:00:00	22,7	74	17,8	23,3	1,3	13,4	2,182	139
2014-08-09 14:00:00	26,6	55	16,1	26,7	2,7	0,0	2,769	628
2014-08-10 14:00:00	24,7	67	17,8	25,6	3,1	0,0	3,072	811
2014-08-11 14:00:00	25,3	54	15,0	25,6	0,9	0,0	3,734	357
2014-08-12 14:00:00	29,3	40	14,4	29,4	4,0	0,0	3,86	729
2014-08-13 14:00:00	19,4	94	18,3	20,6	4,0	6,8	3,047	53
2014-08-14 14:00:00	23,3	54	13,3	23,3	2,2	5,0	2,257	349
2014-08-15 14:00:00	26,4	67	19,4	27,8	2,7	3,0	2,056	644
2014-08-16 14:00:00	20,2	75	15,6	20,6	1,8	0,2	2,132	326
2014-08-17 14:00:00	16,4	93	15,6	17,2	0,4	20,2	2,488	147
2014-08-18 14:00:00	21,6	63	13,9	21,7	2,2	0,0	1,346	775
2014-08-19 14:00:00	23,7	53	12,2	23,9	2,7	0,0	3,021	318
2014-08-20 14:00:00	26,5	43	12,8	26,1	4,5	0,0	3,428	679
2014-08-21 14:00:00	24,8	52	13,9	25,0	3,1	0,0	3,148	600
2014-08-22 14:00:00	20,5	76	15,0	20,6	4,5	3,2	2,871	46
2014-08-23 14:00:00	19,8	51	9,4	19,4	3,1	0,0	1,881	697
2014-08-24 14:00:00	22,2	38	7,2	21,1	3,1	0,0	3,276	715
2014-08-25 14:00:00	15,4	89	13,3	15,6	3,6	0,2	2,411	97
2014-08-26 14:00:00	18,8	49	7,2	17,8	7,6	0,0	1,747	785
2014-08-27 14:00:00	11,1	96	10,6	11,7	2,2	7,0	1,7	115
2014-08-28 14:00:00	18,1	62	10,0	17,8	5,4	1,8	1,524	273
2014-08-29 14:00:00	16,8	79	12,8	17,2	2,2	3,0	1,472	353
2014-08-30 14:00:00	15,7	75	11,1	15,6	4,5	1,8	1,422	888
2014-08-31 14:00:00	15,9	62	8,3	15,6	2,2	0,0	1,778	789
2014-09-01 14:00:00	16,8	67	10,6	16,7	4,0	1,2	1,625	382
2014-09-02 14:00:00	15,8	91	14,4	16,1	1,8	16,6	0,965	181
2014-09-03 14:00:00	13,4	81	10,0	13,3	3,1	0,4	1,015	359

2014-09-04 14:00:00	17,4	62	10,0	17,2	3,1	0,0	2,081	354
2014-09-05 14:00:00	20,7	66	13,9	20,6	2,2	0,0	1,855	630
2014-09-06 14:00:00	19,7	62	11,1	19,4	2,2	0,0	2,564	277
2014-09-07 14:00:00	21,3	53	10,6	20,6	1,8	0,0	2,388	824
2014-09-08 14:00:00	18,2	70	12,8	18,3	1,8	0,0	1,829	147
2014-09-09 14:00:00	19,8	63	11,7	19,4	2,2	0,0	2,134	143
2014-09-10 14:00:00	20,7	49	8,9	20,0	3,6	0,0	2,413	580
2014-09-11 14:00:00	22,1	53	11,7	21,7	1,8	0,0	2,261	540
2014-09-12 14:00:00	22,9	46	10,6	22,8	2,7	0,0	2,54	509
2014-09-13 14:00:00	21,7	48	10,0	21,1	1,8	0,0	2,31	474
2014-09-14 14:00:00	9,6	96	8,9	10,0	4,0	2,6	1,067	97
2014-09-15 14:00:00	14,7	58	6,1	13,9	3,1	0,0	1,649	597
2014-09-16 14:00:00	14,4	49	3,3	13,3	4,5	0,0	2,437	584
2014-09-17 14:00:00	13,4	55	2,8	12,8	3,6	0,0	2,31	418
2014-09-18 14:00:00	13,5	52	3,9	12,8	2,7	0,0	1,727	555
2014-09-19 14:00:00	18,6	56	8,9	17,8	2,2	0,0	1,879	239
2014-09-20 14:00:00	19,9	45	7,2	19,4	2,7	0,0	2,438	534
2014-09-21 14:00:00	18,9	31	1,1	16,7	4,9	0,0	2,311	536
2014-09-22 14:00:00	17,4	39	3,3	16,1	4,9	0,0	2,16	454
2014-09-23 14:00:00	17,8	51	7,2	16,7	8,9	0,0	2,157	599
2014-09-24 14:00:00	10,7	89	8,9	10,6	0,9	4,6	1,367	74
2014-09-25 14:00:00	6,8	91	5,6	6,7	2,7	0,0	0,302	174
2014-09-26 14:00:00	14,4	66	8,3	13,9	2,2	0,0	1,066	451
2014-09-27 14:00:00	13,1	70	7,2	12,8	4,9	0,2	1,473	323
2014-09-28 14:00:00	14,4	61	6,7	13,9	3,6	0,2	1,345	497
2014-09-29 14:00:00	13,5	71	8,3	13,3	3,6	0,0	1,368	196
2014-09-30 14:00:00	12,3	75	7,8	12,2	4,5	3,6	0,913	542
2014-10-01 14:00:00	5,4	68	0,0	5,0	7,2	3,0	1,117	245
2014-10-02 14:00:00	8,6	58	0,6	8,3	3,6	0,0	1,444	406
2014-10-03 14:00:00	9,3	76	5,0	9,4	2,7	0,2	1,118	120
2014-10-04 14:00:00	8,7	62	1,7	8,3	4,5	0,0	0,81	496
2014-10-05 14:00:00	4,6	92	3,3	4,4	2,2	2,2	0,787	117
2014-10-06 14:00:00	7,8	74	3,3	7,2	1,3	0,2	0,534	219
2014-10-07 14:00:00	5,3	73	0,6	5,0	1,3	0,0	0,406	106
2014-10-08 14:00:00	8,9	56	0,6	8,3	3,1	0,0	1,016	433
2014-10-09 14:00:00	9,3	59	1,7	8,9	3,6	0,0	0,862	94
2014-10-10 14:00:00	9,5	91	8,3	9,4	2,2	4,4	0,684	72
2014-10-11 14:00:00	18,4	67	11,7	18,3	4,0	0,4	1,088	264
2014-10-12 14:00:00	13,8	77	9,4	13,9	0,9	0,0	0,99	97

Таблица 4.2 приложение. Содержание влаги (мм) в слоях 0-30, 0-50, 50-100 и 0-100 см площадок основного опытного поля в 2015 г.

Дата	Содержание влаги (W, мм) в слоях почвы опытных площадок															
	Площадка 1				Площадка 2				Площадка 3				Площадка 4			
	0-30 см	0-50 см	50-100 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	50-100 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	50-100 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	50-100 см	0-100 см
12.05.2015	71,1	111,9	104,0	215,9	63,5	103,6	105,7	209,3	61,7	101,5	96,6	198,1	59,3	97,4	96,6	194,0
26.05.2015	71,8	115,6	105,8	221,4	80,8	129,8	119,2	249,0	72,2	117,9	110,8	228,7	69,9	109,6	102,4	212,0
04.06.2015	70,6	112,3	102,3	214,6	72,7	119,3	111,9	231,2	-	-	-	-	-	-	-	-
15.06.2015	64,5	102,8	108,5	211,3	60,5	99,5	106,2	205,7	66,8	114,6	111,9	226,5	62,9	102,3	108,0	210,3
23.06.2015	65,3	107,9	111,2	219,1	69,4	113,1	121,8	234,9	66,3	109,5	107,4	216,9	69,0	114,3	120,1	234,4
03.07.2015	66,2	102,9	109,8	212,7	74,4	116,8	114,8	231,6	67,7	110,6	108,8	219,4	56,1	93,4	98,8	192,2
15.07.2015	62,0	100,5	107,6	208,1	66,9	108,0	117,3	225,3	65,7	107,2	103,4	210,6	64,4	105,1	118,8	223,9
03.08.2015	64,7	105,5	108,3	213,8	71,7	117	115,1	232,1	67,3	105,7	103,1	208,8	71,2	113,4	109,7	223,1
12.08.2015	57,9	98,4	116,7	215,1	66,6	106,3	111,9	218,2	59,4	99,5	101,2	200,7	63,6	106,7	122,7	229,4
24.08.2015	61,3	99,4	116,3	215,7	66,9	106,4	117,4	223,8	60,9	103,1	108,5	211,6	63,6	104,3	114,2	218,5
02.09.2015	58,4	98,7	106,2	204,9	62,3	102,0	101,1	203,1	63,7	104,7	102,3	207,0	56,7	95,2	105,8	201,0
16.09.2015	66,5	108,0	106,6	214,6	67,8	110,8	110,8	221,6	66,7	110,6	106,5	217,1	65,9	109,9	115,4	225,3
01.10.2015	47,1	73,9	72,2	146,1	65,8	107,5	119,6	227,1	66,1	108,3	108,8	217,1	65,0	106,9	109,6	216,5

Таблица 4.3 приложение. Динамика давления почвенной влаги и температуры в варианте «залежь» в 2015 г.

Дата, время	Потенциал динамики влаги кПа 1	Потенциал динамики влаги кПа 2	Потенциал динамики влаги кПа 3	Потенциал динамики влаги кПа 4	Температура почвы 1, °С	Температура почвы 2, °С	Температура почвы 3, °С	Температура почвы 4, °С
2014-12-24 14:00:00	41	36	32	45	0	0,7	0,7	1,4
2014-12-25 14:00:00	37	36	31	45	0	0,7	0,7	1,4
2014-12-26 14:00:00	37	36	32	44	0	0,7	0,8	1,5
2014-12-27 14:00:00	37	36	32	44	0	0,7	0,8	1,5
2014-12-28 14:00:00	36	36	32	44	0	0,7	0,8	1,5
2014-12-29 14:00:00	36	36	31	43	0	0,7	0,8	1,5
2014-12-30 14:00:00	36	36	31	43	0	0,7	0,8	1,5
2014-12-31 14:00:00	36	36	31	43	0	0,7	0,8	1,5
2015-01-01 14:00:00	36	36	31	43	0	0,7	0,8	1,5

2015-01-02 14:00:00	37	36	31	43	0	0,7	0,8	1,5
2015-01-03 14:00:00	37	36	31	42	0,1	0,7	0,8	1,5
2015-01-04 14:00:00	37	36	31	42	0,1	0,7	0,8	1,5
2015-01-05 14:00:00	37	36	31	42	0,1	0,7	0,8	1,5
2015-01-06 14:00:00	37	36	31	42	0,1	0,7	0,8	1,5
2015-01-07 14:00:00	37	36	31	41	0,1	0,7	0,8	1,5
2015-01-08 14:00:00	38	36	31	41	0,1	0,7	0,8	1,5
2015-01-09 14:00:00	38	36	30	41	0,1	0,7	0,8	1,5
2015-01-10 14:00:00	38	36	30	41	0,2	0,7	0,8	1,5
2015-01-11 14:00:00	38	36	30	40	0,2	0,7	0,8	1,5
2015-01-12 14:00:00	38	35	30	40	0,2	0,7	0,8	1,5
2015-01-13 14:00:00	38	35	30	39	0,2	0,7	0,8	1,5
2015-01-14 14:00:00	39	35	30	39	0,2	0,7	0,8	1,5
2015-01-15 14:00:00	39	35	30	39	0,2	0,7	0,8	1,5
2015-01-16 14:00:00	39	35	30	39	0,2	0,7	0,8	1,5
2015-01-17 14:00:00	39	35	30	39	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-01-18 14:00:00	39	35	30	38	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-01-19 14:00:00	38	35	29	38	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-20 14:00:00	38	35	29	37	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-21 14:00:00	38	35	29	37	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-22 14:00:00	38	35	29	37	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-23 14:00:00	38	35	29	36	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-24 14:00:00	38	35	29	36	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-25 14:00:00	38	35	29	36	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-26 14:00:00	38	35	29	36	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-27 14:00:00	38	35	28	35	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-28 14:00:00	38	35	28	35	0,2	0,7	0,9	1,4
2015-01-29 14:00:00	38	35	28	35	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-01-30 14:00:00	39	35	28	35	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-01-31 14:00:00	39	35	28	35	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-09 14:00:00	39	35	28	35	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-02 14:00:00	39	35	28	34	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-03 14:00:00	38	35	28	34	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-04 14:00:00	38	35	28	34	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-05 14:00:00	37	35	28	34	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-06 14:00:00	37	35	28	34	0,2	0,7	0,8	1,4

2015-02-07 14:00:00	37	35	28	33	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-08 14:00:00	37	35	27	33	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-09 14:00:00	35	31	26	32	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-10 14:00:00	35	29	26	31	0,2	0,7	0,8	1,4
2015-02-11 14:00:00	34	30	25	31	0,2	0,8	0,8	1,4
2015-02-12 14:00:00	34	31	25	30	0,2	0,8	0,8	1,4
2015-02-13 14:00:00	35	33	26	30	0,2	0,8	0,8	1,4
2015-02-14 14:00:00	35	33	26	30	0,2	0,8	0,8	1,4
2015-02-15 14:00:00	36	35	26	30	0,2	0,8	0,8	1,4
2015-02-16 14:00:00	36	35	26	30	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-17 14:00:00	36	35	26	30	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-18 14:00:00	36	34	26	30	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-19 14:00:00	36	35	26	29	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-20 14:00:00	36	34	26	29	0,3	0,8	0,9	1,3
2015-02-21 14:00:00	36	35	26	29	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-22 14:00:00	35	33	26	29	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-23 14:00:00	35	33	26	29	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-24 14:00:00	35	32	26	28	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-25 14:00:00	35	32	26	28	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-26 14:00:00	34	31	25	28	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-27 14:00:00	34	31	25	27	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-02-28 14:00:00	33	29	24	27	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-03-01 14:00:00	33	29	25	27	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-03-02 14:00:00	33	28	25	26	0,3	0,8	0,9	1,3
2015-03-03 14:00:00	32	27	24	25	0,3	0,8	0,8	1,3
2015-03-04 14:00:00	32	26	24	25	0,3	0,8	0,9	1,3
2015-03-05 14:00:00	31	25	24	24	0,3	0,8	0,9	1,3
2015-03-06 14:00:00	31	24	23	23	0,4	0,8	0,9	1,3
2015-03-07 14:00:00	31	23	23	23	0,4	0,8	0,9	1,3
2015-03-08 14:00:00	30	22	22	22	0,4	0,8	0,9	1,3
2015-03-09 14:00:00	29	21	22	21	0,4	0,8	0,9	1,3
2015-03-10 14:00:00	14	13	20	19	0,4	0,8	0,9	1,3
2015-03-11 14:00:00	14	11	10	12	0,4	0,8	0,8	1,3
2015-03-12 14:00:00	14	9	10	11	0,4	0,7	0,8	1,3
2015-03-13 14:00:00	14	9	10	11	0,4	0,7	0,8	1,2
2015-03-14 14:00:00	14	9	10	11	0,4	0,7	0,8	1,2

2015-03-15 14:00:00	14	8	10	11	0,4	0,8	0,8	1,2
2015-03-16 14:00:00	14	9	10	11	0,4	0,8	0,8	1,2
2015-03-17 14:00:00	14	9	9	10	0,4	0,8	0,8	1,2
2015-03-18 14:00:00	14	9	9	10	0,4	0,8	0,8	1,2
2015-03-19 14:00:00	14	9	9	10	0,4	0,8	0,8	1,2
2015-03-20 14:00:00	14	8	9	10	0,4	0,7	0,8	1,3
2015-03-21 14:00:00	14	8	9	10	0,4	0,7	0,8	1,3
2015-03-22 14:00:00	14	8	9	10	0,4	0,8	0,8	1,3
2015-03-23 14:00:00	15	8	9	10	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-03-24 14:00:00	15	8	9	10	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-03-25 14:00:00	14	8	9	10	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-03-26 14:00:00	14	8	8	9	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-03-27 14:00:00	14	8	8	9	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-03-28 14:00:00	14	8	8	9	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-03-29 14:00:00	14	8	8	9	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-03-30 14:00:00	14	8	7	8	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-03-31 14:00:00	15	8	8	9	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-04-01 14:00:00	15	8	8	9	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-04-02 14:00:00	15	8	8	9	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-04-03 14:00:00	14	8	8	9	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-04-04 14:00:00	13	8	8	9	0,4	0,7	0,8	1,2
2015-04-05 14:00:00	13	8	8	9	0,4	0,7	0,8	1,2
2015-04-06 14:00:00	13	8	8	8	0,4	0,7	0,8	1,2
2015-04-07 14:00:00	13	9	7	8	0,4	0,7	0,8	1,2
2015-04-08 14:00:00	13	10	7	8	0,3	0,7	0,8	1,2
2015-04-09 14:00:00	15	7	7	8	0,5	0,7	0,7	1,2
2015-04-10 14:00:00	13	7	7	8	0,7	0,7	0,8	1,2
2015-04-11 14:00:00	8	7	6	8	1,9	1	1,1	1,3
2015-04-12 14:00:00	8	7	6	8	2,8	1,7	1,7	1,7
2015-04-13 14:00:00	8	6	6	7	4,3	2,6	2,6	2,3
2015-04-14 14:00:00	8	6	6	7	3,7	3,1	3	2,8

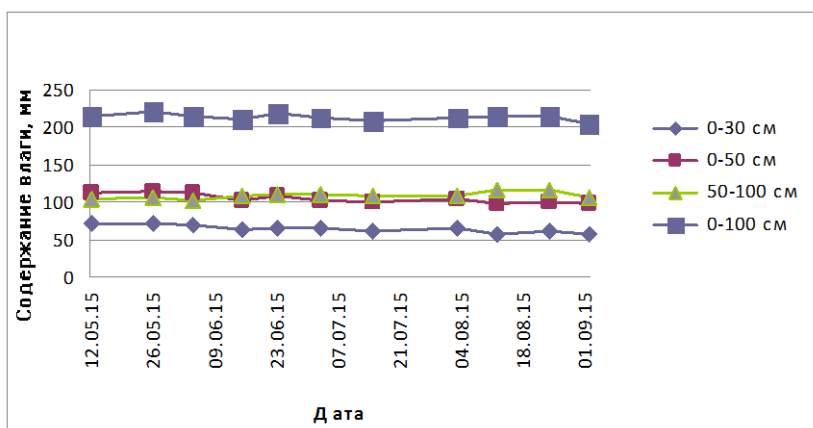


Рис. 4.1 приложение. Динамика содержания влаги на площадке №1 основного опытного поля.

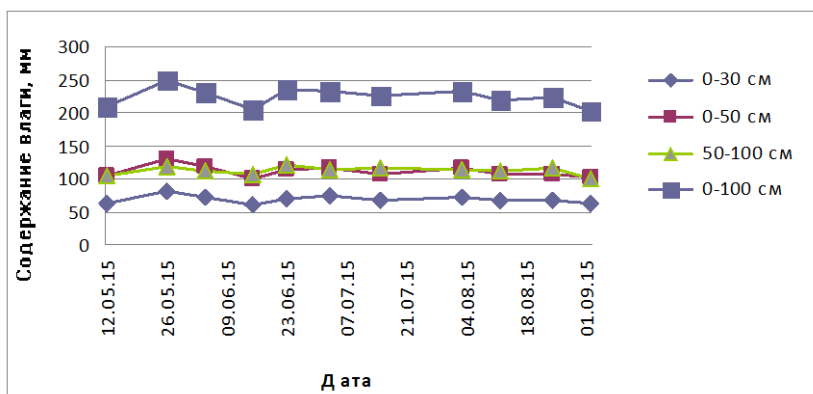


Рис. 4.2 приложение. Динамика содержания влаги на площадке №2 основного опытного поля.

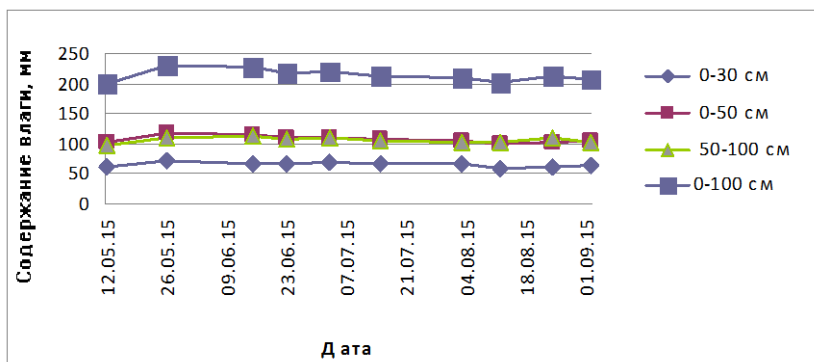


Рис. 4.3 приложение. Динамика содержания влаги на площадке №3 основного опытного поля.

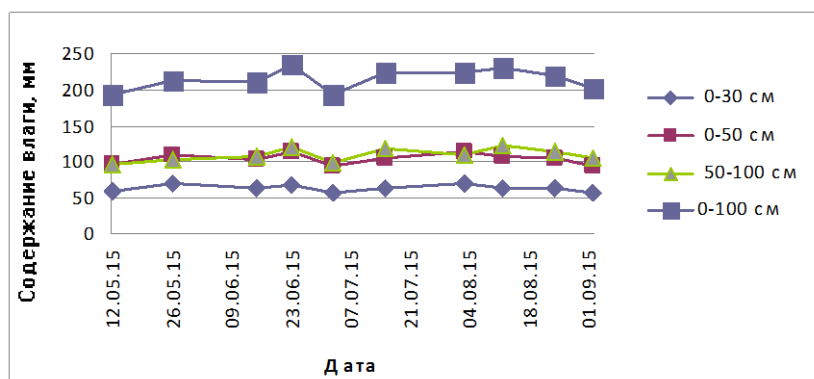


Рис.4.4 приложение. Динамика содержания влаги на площадке №4 основного опытного поля.

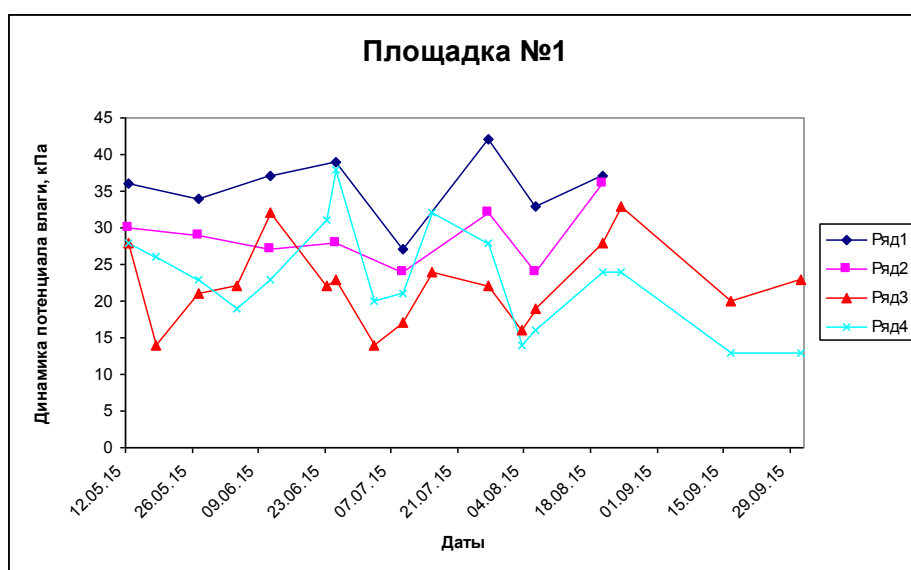


Рис. 4.5 приложение. Динамика давления влаги дерново-подзолистой суглинистой слабооглеенной почвы (пл.1).

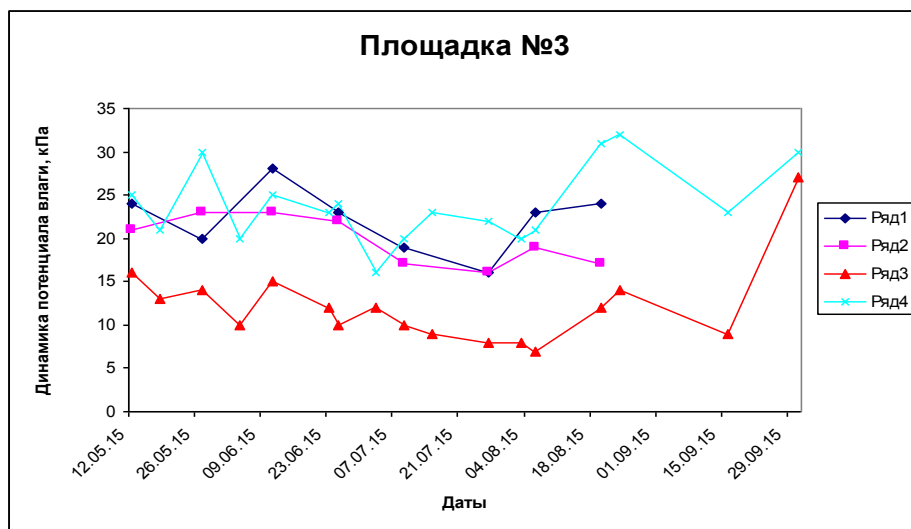


Рис. 4.6 приложение. Динамика давления влаги в дерново-подзолистой суглинистой слабооглеенной почвы (пл.3).

Таблица 4.4 приложение. Динамика давления влаги в вариантах опытного поля. 2014 г.

Дата	№№ площадки	Значение давления влаги (Рк) по глубинам почвенного профиля, см						ОС, мм	Примечание
		0-10	10- 20	20- 30	30- 40	40-50	70- 80		
8.05	1	63	53	49	35	-	-	0	
	2	59	48	41	35	-	-		
	3	60	51	42	31	-	-		
	4	48	45	40	32	-	-		
20.05	1	67	58	54	48			0	
	2	64	60	51	45				
	3	60	57	56	53				
	4	48	45	53	32				
27.05	1	66	56	46	45			Нет дождей	накануне
	2	68	54	50	41	36	30		
	3	65	56	48	39				
	4	51	47	41	33				
5.06	1	38	31	25	27			Дожди	накануне
	2	37	30	22	23	31	21		
	3	35	28	25	23				
	4	24	25	21	20	23	20	-//-	-//-
10.06	1	31	29	27	26				
	2	32	27	28	25	33	31		
	3	30	25	26	24				
	4	22	22	23	23	25	24		
13.06	1	32	30	27	25			-//-	-//-
	2	31	28	27	25	30	27		
	3	29	26	26	22				
	4	20	23	23	19	23	22		
17.06	1	30	30	24	23			Т1вода 80см	С 17 по20.
	2	28	29	26	25	30	25		06-18 мм
	3	28	25	23	20				
	4	24	23	21	19	23	22	Т2вода-50см	
20.06	1	31	28	25	21				
	2	28	26	22	23	30	10	дожди	
	3	27	26	25	24				
	4	27	20	22	21	15	30	18мм	
25.06	1	-	-	-	-				
	2	-	-	-	-	36	9		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	-	-	18	28		
1.07	1	39	31	29	30			4.9?	
	2	34	35	28	27	34	12		
	3	37	33	27	25				
	4	17	19	17	14	18	30		
4.07	1	-	-	-	-			0.5	
	2	-	-	-	-	34	10		
	3	-	-	-	-				

	4	-	-	-	-	10	31		
10.07	1	78	74	72	62				
	2	79	78	70	60	59	20	0.0	
	3	71	75	71	61				
	4	55	53	49	43	42	27	0.0	31 ⁰ С
15.07	1	-	-	-	-				33
	2	-	-	-	-	70	27		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	-	-	62	37		
18.07	1	87	86	80	73			4.1	33
	2	89	85	81	71	77	35		
	3	83	80	78	72				
	4	76	76	71	67	84	45	0.0	33
21.07	1	-	-	-	-				
	2	-	-	-	-	88	37		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	-	-	88	39		
25.07	1	-	--	-	-			0.0	33
	2	-	-	-	-	96	46		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	-	-	80*	40		*-сброс показаний
31.07	1	95	93	91	83			0.0	33
	2	95	93	90	82	100	100		
	3	91	89	90	79				
	4	93	90	87	76	85*	73		*
5.08	1	-	-	-	-			С 5 по 11.8-50 мм	* 33
	2	-	-	-	-	98*	100		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	-	-	78*	92*		
11.08	1	30	24	31	15			-//-	31
	2	35	28	28	20	23	34		
	3	41	29	32	30				
	4	36	32	34	33	36	48		
15.08	1	-	-	-	-			С 12 по 15.8-10мм	
	2	-	-	-	-	38	46		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	-	-	42	52		
21.08	1	-	-	-	-			С 17 по 22.8-23.6 мм	
	2	-	-	-	-	48	60		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	-	-	45	48		
26.08	1	45	43	39	34			С 25 по 30.8-13.8 мм	проверить данные
	2	45	45	38	33	48	62		
	3	46	44	38	34				40-50 и
	4	38	40	40	35	50	62		70-80 см
1.09	1	-	-	-	-				По данным
	2	-		40	-	53	64		1 сентября
	3	-	-	-	-				
	4	-		42	-	50	50	С 1 по 3.9	

4.09	1	-	-	-	-			18.4 мм	
	2	-	-	39	-	52	62		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	48	-	57	66		
09.09	1	-	-	-	-			OC=O мм	
	2	-	-	46	-	56	63		
	3	-	-	-					
	4	-	-	48	-	60	67		
26.09	1	55	55	54	51				Сверить с метеодан.
	2	53	54	52	56	72	65		
	3	52	52	50	53				
	4	48	48	50	50	65	60		
12.10	1	-	-	-	-				.
	2	-	-	45	-	61	56		
	3	-	-	-	-				
	4	-	-	43	-	56	52		
									.

Таблица 4.5 приложение. Запасы влаги (мм) по площадкам в дерново-подзолистой почве Зеленоградского опорного пункта.

Дата	h, см	Площадка 1		Площадка 2		Площадка 3		Площадка 4		Плотность, гр/см ³	Примечание, в том числе и осадки в мм
		W, %	W, мм	W, %	W, мм	W, %	W, мм	W, %	W, мм		
08.05.2014	0-10	14	19,74	16,4	23,12	-		15,7	22,14	1,41	
	10-20	14,7	22,49	17,2	26,32	-		15,8	24,17	1,53	
	20-30	13	20,15	14	21,7	-		16,8	26,04	1,55	
	30-40	13,2	20,72	14,6	22,92	-		18,1	28,42	1,57	
	40-50	14	22,4	14,5	23,2	-		17,7	28,32	1,6	
	50-60	14,7	24,26	16	26,4	-		17,3	28,55	1,65	
	60-70	15,7	26,22	15,6	26,05	-		17,8	29,73	1,67	
	70-80	15,4	25,87	15,7	26,38	-		17,4	29,23	1,68	
	80-90	15,1	25,22	15,7	26,22	-		18,9	31,56	1,67	
	90-100	14,7	24,7	16,3	27,38	-		18,8	31,58	1,68	
20.05.2014	0-10	10,4	14,66	12,1	17,06	14,4	20,3	17,8	25,1	1,41	
	окт.20	12,1	18,51	12,9	19,74	14,8	22,64	16,5	25,25	1,53	
	20-30	14,5	22,48	16,5	25,58	14,6	22,63	17,1	26,51	1,55	
	30-40	14,6	22,92	16,5	25,91	15,4	24,18	18,6	29,2	1,57	
	40-50	14	22,4	14,4	23,04	16,1	25,76	18	28,8	1,6	
	50-60	15,4	25,41	15,8	26,07	17,5	28,88	15,6	25,74	1,65	
	60-70	17,8	29,73	17	28,39	15,6	26,05	15,6	26,05	1,67	
	70-80	17,2	28,9	15,4	25,87	16,9	28,39	17,4	29,23	1,68	
	80-90	16,6	27,72	16,1	26,89	19,3	32,23	17,6	29,39	1,67	
	90-100	15,9	26,71	16,5	27,72	18,8	31,58	15,1	25,37	1,68	
30.05.2014	0-10	20,1	28,34	20,1	28,34	20,8	29,33	22,3	31,44	1,41	Пасмурно, ???
	окт.20	22	33,66	18,2	27,85	19,1	29,22	18,1	27,69	1,53	

	20-30	18,4	28,52	16	24,8	16,2	25,11	17,1	26,51	1,55	
	30-40	16	25,12	18,1	28,42	16	25,12	13,8	21,67	1,57	
	40-50	14,9	23,84	18,5	29,6	16,1	25,76	13,9	22,24	1,6	
	50-60	15,5	25,58	18,6	30,69	15,2	25,08	14,7	24,26	1,65	
	60-70	15,3	25,55	20,3	33,9	15,7	26,22	16,3	27,22	1,67	
	70-80	16,9	28,39	18,8	31,58	17,1	28,73	17,8	29,9	1,68	
	80-90	17,1	28,56	19,7	32,9	16,2	27,05	17,3	28,89	1,67	
	90-100	17,5	29,4	16,2	27,22	18	30,24	17,6	29,57	1,68	
10.06.2014	0-10	-		15,1	21,29	-		18,1	25,52	1,41	Дождь
	окт.20	-		16,1	24,63	-		16,8	25,7	1,53	
	20-30	-		15	23,25	-		14,3	22,17	1,55	
	30-40	-		16,4	25,75	-		15,2	23,86	1,57	
	40-50	-		15,2	24,32	-		16,5	26,4	1,6	
	50-60	-		15,3	25,25	-		17,4	28,71	1,65	
	60-70	-		18	30,06	-		17,4	29,06	1,67	
	70-80	-		17,5	29,4	-		18,3	30,74	1,68	
	80-90	-		18,8	31,4	-		16,9	28,22	1,67	
	90-100	-		18,5	31,08	-		19,3	32,42	1,68	
20.06.2014	0-10	16,1	22,7	14,7	20,73	14,9	21,01	16,8	23,69	1,41	
	окт.20	14,1	21,57	17,1	26,16	16,4	25,09	17	26,01	1,53	
	20-30	13,2	20,46	16,2	25,11	15,2	23,56	17,3	26,82	1,55	
	30-40	13,1	20,57	14,4	22,61	16,7	26,22	15	23,55	1,57	
	40-50	15,1	24,16	14,8	23,68	18,7	29,92	17	27,2	1,6	
	50-60	15	24,75	16,4	27,06	19,2	31,68	16,8	27,72	1,65	
	60-70	15,1	25,22	15,4	25,72	18,9	31,56	17	28,39	1,67	
	70-80	16,1	27,05	15,7	26,38	19,9	33,43	16,9	28,39	1,68	
	80-90	16	26,72	16,8	28,06	20,5	34,24	17	28,39	1,67	

	90-100	16,5	27,72	16,7	28,06	20,7	34,78	17	28,56	1,68	
01.07.2014	0-10	14,5	20,45	16,4	23,12	14,4	20,3	16,4	23,12	1,41	
	окт.20	15	22,95	15,5	23,72	16,2	24,79	15,8	24,17	1,53	
	20-30	14,5	22,48	16	24,8	14	21,7	14,3	22,17	1,55	
	30-40	12,43	19,52	16,1	25,28	14,2	22,29	14,3	22,45	1,57	
	40-50	14,7	23,52	13,3	21,28	15,1	24,16	15,3	24,48	1,6	
	50-60	14,7	24,26	13,5	22,28	15,1	24,92	15,4	25,41	1,65	
	60-70	14,7	24,55	15,9	26,55	15,9	26,55	17,1	28,56	1,67	
	70-80	14,5	24,36	15,5	26,04	16,8	28,22	17,5	29,4	1,68	
	80-90	14,5	24,22	17	28,39	16,8	28,06	18,1	30,23	1,67	
	90-100	15,3	25,7	16,8	28,22	17,7	29,74	18,6	31,25	1,68	
10.07.2014	0-10	12	16,92	12,3	17,34	12,5	17,63	15,4	21,71	1,41	
	окт.20	12,8	19,58	12,1	18,51	13,2	20,2	14,9	22,8	1,53	
	20-30	12,7	19,69	12,5	19,38	13,3	20,62	15	23,25	1,55	
	30-40	13,4	21,04	13,9	21,82	15	23,55	15,5	24,34	1,57	
	40-50	12,8	20,48	14,4	23,04	15,8	25,28	17,2	27,52	1,6	
	50-60	14,2	23,43	16,1	26,57	17,2	28,38	17,6	29,04	1,65	
	60-70	15,4	25,72	16,7	27,89	17	28,39	18	30,06	1,67	
	70-80	16,1	27,05	17,7	29,74	18,3	30,74	17,8	29,9	1,68	
	80-90	17,3	28,89	18,4	30,73	18,8	31,4	18,6	31,06	1,67	
	90-100	16,7	28,06	18,4	30,91	18,8	31,58	18,7	31,42	1,68	
21.07.2014	0-10	4,2	5,92	6,5	9,17	4,7	6,63	8,7	12,27	1,41	
	окт.20	5,8	8,87	6,2	9,49	7,6	11,63	7,6	11,63	1,53	
	20-30	6,6	10,23	7,1	11,01	8,3	12,87	8,4	13,02	1,55	
	30-40	5,6	8,79	6,9	10,83	7,8	12,25	8,8	13,82	1,57	
	40-50	7,8	12,48	6,3	10,08	7,9	12,64	8,7	13,92	1,6	
	50-60	8,1	13,37	8,2	13,53	9	14,85	9,6	15,84	1,65	

	60-70	9,4	15,7	8,9	14,86	11,2	18,7	9,2	15,36	1,67	
	70-80	9	15,12	9,1	15,29	11,7	19,66	10,6	17,81	1,68	
	80-90	8,8	14,7	9,9	16,53	13,6	22,71	10,7	17,87	1,67	
	90-100	10,4	17,47	9,5	15,96	13,5	22,68	10,6	17,81	1,68	
01.08.2014	0-10	5,5	7,76	4,3	6,06	7,4	10,43	5,9	8,32	1,41	
	окт.20	7,1	10,86	6,5	9,95	9,6	14,69	6,5	9,95	1,53	
	20-30	5,4	8,37	7,4	11,47	12,2	18,91	7,9	12,25	1,55	
	30-40	4,4	6,91	6,4	10,05	13,8	21,67	9,2	14,44	1,57	
	40-50	5	8	5,6	8,96	12,8	20,48	9,3	14,88	1,6	
	50-60	9,5	15,68	8,1	13,37	13,2	21,78	10,9	17,99	1,65	
	60-70	11,2	18,7	10,4	17,37	14	23,38	10,8	18,04	1,67	
	70-80	10,8	18,14	11,6	19,49	15	25,2	11	18,48	1,68	
	80-90	12,8	21,38	10,8	18,04	14,5	24,22	11,8	19,71	1,67	
	90-100	11,9	19,99	11,4	19,15	16	26,88	13	21,84	1,68	
11.08.2014	0-10	14,1	19,88	13,4	18,89	14,8	20,87	13	18,33	1,41	
	10-20	8,6	13,16	14,7	22,49	12,8	19,58	10,2	15,61	1,53	
	20-30	9	13,95	11,7	18,14	11,7	18,14	12	18,6	1,55	
	30-40	9,5	14,92	12,2	19,15	11,8	18,53	11,3	17,74	1,57	
	40-50	10,6	16,96	12,3	19,68	12,8	20,48	11,8	18,88	1,6	
	50-60	10,5	17,33	11,6	19,14	12,5	20,63	12,4	20,46	1,65	
	60-70	10,7	17,87	11,8	19,71	15	25,05	12,7	21,21	1,67	
	70-80	11,6	19,49	11,5	19,32	15,5	26,04	14,6	24,53	1,68	
	80-90	12,6	21,04	12,3	20,54	16,6	27,72	15,2	25,38	1,67	
	90-100	12,7	21,34	12,4	20,83	16,5	27,72	16,6	27,89	1,68	
21.08.2014	0-10	28,1	39,62	22,5	31,73	23,2	32,71	27,3	38,49	1,41	
	окт.20	24,1	36,87	26,2	40,09	23,1	35,34	27,8	42,53	1,53	
	20-30	21,3	33,02	25,4	39,37	22,6	35,03	23,8	36,89	1,55	

	30-40	20,8	32,66	23,5	36,9	24,4	38,31	22,2	34,85	1,57	
	40-50	23	36,8	25,6	40,96	25,7	41,12	21,5	34,4	1,6	
	50-60	21,3	35,15	24,7	40,76	25,3	41,75	23,9	39,44	1,65	
	60-70	21,4	35,74	20,8	34,74	21,3	35,57	23,8	39,75	1,67	
	70-80	21,5	36,12	23,7	39,82	22,3	37,46	23,6	39,65	1,68	
	80-90	22,6	37,74	23,2	38,74	23,3	38,91	23,9	39,91	1,67	
	90-100	23,1	38,81	26,1	43,85	23,9	40,15	23,7	39,82	1,68	
01.09.2014	0-10	16,8	23,69	17	23,97	14,7	20,73	15,8	22,28	1,41	
	окт.20	16,4	25,09	12,7	19,43	13,1	20,04	13,7	20,96	1,53	
	20-30	14,7	22,79	12,3	19,07	13,7	21,24	13,2	20,46	1,55	
	30-40	12,8	20,1	11,6	18,21	13,2	20,72	12,2	19,15	1,57	
	40-50	13,6	21,76	13,5	21,6	15,2	24,32	13,1	20,96	1,6	
	50-60	13,3	21,95	14,3	23,6	15,7	25,91	14	23,1	1,65	
	60-70	12,8	21,38	14,2	23,71	14,6	24,38	13,7	22,88	1,67	
	70-80	13,8	23,18	13,5	22,68	16,2	27,22	16,5	27,72	1,68	
	80-90	13,7	22,88	13,7	22,88	16	26,72	16,2	27,05	1,67	
	90-100	14,2	23,86	14,7	24,7	17,5	29,4	16,3	27,38	1,68	
09.09.2014	0-10	14,14	19,94	14,38	20,28	13,74	19,37	16,04	22,62	1,41	
	окт.20	12,35	18,9	13,69	20,95	13,76	21,05	15,22	23,29	1,53	
	20-30	13,2	20,46	13,62	21,11	14,06	21,79	14,52	22,51	1,55	
	30-40	11,48	18,02	13,6	21,35	12,77	20,05	12,22	19,19	1,57	
	40-50	13,64	21,82	12,63	20,21	14,64	23,42	14,88	23,81	1,6	
	50-60	9,01	14,87	12,23	20,18	16,18	26,7	14,28	23,56	1,65	
	60-70	11,18	18,67	14,03	23,43	3,98	6,65	13,17	21,99	1,67	
	70-80	12,04	20,23	15,15	25,45	17,45	29,32	14,06	23,62	1,68	
	80-90	12,26	20,47	15,66	26,15	17,36	28,99	16,14	26,95	1,67	
	90-100	11,85	19,91	15,25	25,62	18,48	31,05	13,54	22,75	1,68	

	100-110	13,51	22,7	13,77	23,13	17,24	28,96	15,74	26,44	1,68	
	110-120	13,87	23,3	13,3	22,34	18,1	30,41	15,77	26,49	1,68	
	120-130	12,56	21,1	13,38	22,48	19,03	31,97	17,17	28,85	1,68	
	130-140	15,27	25,65	13,43	22,56	19,15	32,17	15,75	26,46	1,68	
	140-150	14,3	24,02	14,55	24,44	19,1	32,09	18,75	31,5	1,68	
	150-160	15,48	26,01	14,08	23,65	18,52	31,11	16,91	28,41	1,68	
	160-170	17,31	29,08	14,97	25,15	16,87	28,34	17,71	29,75	1,68	
	170-180	16,2	27,22	15,62	26,24	16,14	27,12	16,45	27,64	1,68	
	180-190	15,74	26,44	18,7	31,42	18,63	31,3	18,88	31,72	1,68	
	190-200	17,71	29,75	30,22	50,77	18,21	30,59	18,32	30,78	1,68	
12.10.2014	0-10	13,8	19,46	12,4	17,48	15	21,15	19,88	28,03	1,41	
	окт.20	13,4	20,5	12,54	19,19	14,8	22,64	15,34	23,47	1,53	
	20-30	12,8	19,84	12,71	19,7	13,8	21,39	12,9	20	1,55	
	30-40	11,2	17,58	11,43	17,95	13,6	21,35	11,91	18,7	1,57	
	40-50	12,7	20,32	14,61	23,38	14,6	23,36	12,31	19,7	1,6	
	50-60	11,5	18,98	14,53	23,97	15,5	25,58	14,35	23,68	1,65	
	60-70	11,3	18,87	13	21,71	15	25,05	14,9	24,88	1,67	
	70-80	12,4	20,83	15,16	25,47	16	26,88	16,05	26,96	1,68	
	80-90	13,7	22,88	14,99	25,03	17,7	29,56	16,8	28,06	1,67	
	90-100	14,8	24,86	15,25	25,62	16,8	28,22	17,4	29,23	1,68	
	100-110	-		14,8	24,86	-		18,27	30,69	1,68	
	110-120	-		16,13	27,1	-		17,57	29,52	1,68	
	120-130	-		18,94	31,82	-		20,79	34,93	1,68	
	130-140	-		17,73	29,79	-		18,71	31,43	1,68	
	140-150	-		16,79	28,21	-		15,38	25,84	1,68	
	150-160	-		16,63	27,94	-		19,86	33,36	1,68	
	160-170	-		18,2	30,58	-		20,61	34,62	1,68	

	170-180	-		17,58	29,53	-		17,57	29,52	1,68	
	180-190	-		18,54	31,15	-		20,23	33,99	1,68	
	190-200	-		18,38	30,88	-		21,73	36,51	1,68	

Таблица 5.1 приложение. Метеоданные (на 14-00) за январь и март 2016 г.

Дата, время	Внешняя температура, °С	Внешняя относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Сумма атмосферных осадков, мм	Суммарное испарение, мм	Атмосферное давление, мм	Солнечная радиация, Ватт
2016-01-19 14:00:00	-7,4	91	1,9	0	0	756,7	33
2016-01-20 14:00:00	-8,4	89	1,5	0	0	759	24
2016-01-21 14:00:00	-10,2	89	0	0	0	767,1	120
2016-01-22 14:00:00	-9,3	88	0,3	0	0,05	767,2	23
2016-01-23 14:00:00	-13,6	86	0,8	0	0	770	27
2016-01-24 14:00:00	-12,9	86	0,8	0	0	771,3	17
2016-01-25 14:00:00	-13,7	88	0,4	0	0	766,4	12
2016-01-26 14:00:00	-9,9	87	1,3	0	0	768,4	23
2016-01-27 14:00:00	-3,7	95	0,8	0	0	757,1	9
2016-01-28 14:00:00	0,6	98	1,3	0	0	753,7	12
2016-01-29 14:00:00	0,9	93	2,3	25,4	0,10	751,4	26
2016-01-30 14:00:00	1,8	95	1,6	2,4	0,33	756,1	30
2016-01-31 14:00:00	2,8	89	2,1	12,2	0,15	749,3	40
2016-02-01 14:00:00	0,9	94	0	4,0	0,08	751,5	10
2016-02-02 14:00:00	-0,9	96	2,8	0,6	0,03	750,4	12
2016-02-03 14:00:00	2,3	94	0,9	8,6	0,13	746,6	80
2016-02-04 14:00:00	0,7	84	1,3	3,2	0,23	753	91
2016-02-05 14:00:00	-0,2	91	1	0	0,23	756,2	26
2016-02-06 14:00:00	-0,9	80	1,4	0,2	0,23	764,8	90
2016-02-07 14:00:00	-0,6	81	1,4	0	0,33	767,2	72
2016-02-08 14:00:00	3	59	1,6	0	0,63	764,9	252
2016-02-09 14:00:00	0,2	79	2,1	0,2	0,71	762,2	167
2016-02-10 14:00:00	1,7	90	2	0	0,40	764,1	60
2016-02-11 14:00:00	-0,3	78	2,5	0,6	0,60	765,4	138
2016-02-12 14:00:00	-0,9	90	2,5	0	0,58	762,9	78
2016-02-13 14:00:00	1,1	93	0,8	0	0,13	768,2	35

2016-02-14 14:00:00	-2,3	87	2,4	0	0,18	762,3	97
2016-02-15 14:00:00	2,3	92	1	0,2	0,15	761,7	54
2016-02-16 14:00:00	1	97	0,4	8,8	0,10	756,8	54
2016-02-17 14:00:00	-3	85	2	2,0	0,18	773,9	143
2016-02-18 14:00:00	0,4	73	0,4	1,6	0,63	778,3	324
2016-02-19 14:00:00	-4,2	95	0,4	1,2	0,38	776,4	93
2016-02-20 14:00:00	-1,4	80	1,6	0	0,25	774,9	141
2016-02-21 14:00:00	-3,1	83	0,7	0	0,31	763	329
2016-02-22 14:00:00	-2,4	92	1,9	0	0,41	750	40
2016-02-23 14:00:00	2,7	78	1,6	2,2	0,30	754,3	175
2016-02-24 14:00:00	0,9	89	0,5	2,2	0,43	757,4	186
2016-02-25 14:00:00	2	87	1	1,6	0,28	755,5	223
2016-02-26 14:00:00	1,8	89	0,9	1,4	0,53	761,5	394
2016-02-27 14:00:00	4	66	1,4	4,0	0,53	762,8	467
2016-02-28 14:00:00	3,3	60	1,6	1,0	1,07	772,6	399
2016-02-29 14:00:00	1,1	87	0,5	0,4	0,53	770,6	136
2016-03-01 14:00:00	-1,9	84	0,9	0	0,33	774,5	187
2016-03-02 14:00:00	1,4	98	0,7	0,2	0,28	755	62
2016-03-03 14:00:00	-0,2	91	0,3	10,4	0,23	760,4	79
2016-03-04 14:00:00	1,4	92	1,1	0,6	0,28	761,7	93
2016-03-05 14:00:00	1,2	95	0,7	11,4	0,18	759,3	82
2016-03-06 14:00:00	2,6	97	0	2,6	0,20	762,2	57
2016-03-07 14:00:00	1,2	92	0,9	0,2	0,25	768,1	87
2016-03-08 14:00:00	4,1	83	1,7	0	0,35	770,9	195
2016-03-09 14:00:00	7,8	79	1,1	0	0,56	771,2	311
2016-03-10 14:00:00	10,9	54	1,2	0,2	1,42	772,9	456
2016-03-11 14:00:00	11,6	49	0,9	0	1,57	771,8	435
2016-03-12 14:00:00	1,8	88	0,5	1,0	0,74	771,1	118
2016-03-13 14:00:00	3,2	62	1,8	0,2	0,79	770,9	188
2016-03-14 14:00:00	2,5	50	1,5	0	1,34	768,1	171

Таблица 5.2 приложение. Динамика давления влаги и температуры почвы за период 01.01 - 14.02.16 г.

Дата, время	Потенциал динамик и влаги кПа 1	Потенциал динамик и влаги кПа 2	Потенциал динамик и влаги кПа 3	Потенциал динамик и влаги кПа 4	Температура почвы 1, °С	Температура почвы 2, °С	Температура почвы 3, °С	Температура почвы 4, °С
2016-01-19 14:00:00	170	11	39	30	-0,2	0,8	0,7	1,5
2016-01-20 14:00:00	166	11	38	30	-0,2	0,8	0,7	1,5
2016-01-21 14:00:00	163	11	37	29	-0,1	0,8	0,7	1,5
2016-01-22 14:00:00	165	11	37	29	-0,1	0,8	0,7	1,5
2016-01-23 14:00:00	169	11	37	29	-0,1	0,8	0,7	1,5
2016-01-24 14:00:00	171	11	37	29	-0,1	0,8	0,7	1,5
2016-01-25 14:00:00	176	11	37	29	-0,1	0,8	0,7	1,4
2016-01-26 14:00:00	181	11	37	29	-0,2	0,8	0,7	1,4
2016-01-27 14:00:00	175	11	37	29	-0,1	0,8	0,7	1,4
2016-01-28 14:00:00	167	11	37	29	-0,1	0,8	0,7	1,4
2016-01-29 14:00:00	138	11	13	14	-0,1	0,7	0,7	1,4
2016-01-30 14:00:00	115	11	18	15	-0,1	0,7	0,7	1,4
2016-01-31 14:00:00	97	10	18	15	-0,1	0,7	0,7	1,3
2016-02-01 14:00:00	80	10	17	14	-0,1	0,7	0,7	1,3
2016-02-02 14:00:00	66	10	16	13	-0,1	0,7	0,7	1,3
2016-02-03 14:00:00	53	10	15	12	-0,1	0,7	0,7	1,3
2016-02-04 14:00:00	40	10	14	11	-0,1	0,7	0,7	1,3
2016-02-05 14:00:00	28	10	12	10	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-06 14:00:00	20	10	11	9	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-07 14:00:00	14	10	10	8	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-08 14:00:00	12	10	10	8	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-09 14:00:00	9	10	9	8	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-10 14:00:00	8	10	8	7	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-11 14:00:00	8	9	8	7	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-12 14:00:00	8	9	8	7	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-13 14:00:00	8	9	8	7	0	0,7	0,7	1,3

2016-02-14 14:00:00	8	9	8	7	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-15 14:00:00	8	9	8	7	0	0,7	0,7	1,3
2016-02-16 14:00:00	6	9	8	7	0,1	0,7	0,7	1,3
2016-02-17 14:00:00	6	8	7	7	0,1	0,7	0,7	1,2
2016-02-18 14:00:00	6	8	7	7	0,1	0,7	0,7	1,2
2016-02-19 14:00:00	6	8	7	7	0,1	0,7	0,7	1,2
2016-02-20 14:00:00	6	8	7	7	0,1	0,7	0,7	1,2
2016-02-21 14:00:00	6	8	7	7	0,1	0,7	0,7	1,2
2016-02-22 14:00:00	7	8	7	7	0,1	0,7	0,7	1,2
2016-02-23 14:00:00	7	8	8	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-02-24 14:00:00	7	8	8	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-02-25 14:00:00	7	8	8	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-02-26 14:00:00	8	8	8	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-02-27 14:00:00	7	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-02-28 14:00:00	8	7	8	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-02-29 14:00:00	8	8	8	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-01 14:00:00	8	8	8	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-02 14:00:00	8	8	8	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-03 14:00:00	8	8	8	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-04 14:00:00	7	8	8	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-05 14:00:00	7	7	8	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-06 14:00:00	7	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-07 14:00:00	6	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-08 14:00:00	6	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-09 14:00:00	6	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-10 14:00:00	6	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-11 14:00:00	6	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-12 14:00:00	6	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-13 14:00:00	6	6	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-14 14:00:00	6	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2

Таблица 5.3 приложение. Метеоданные за период 15.03. – 21.04.16 г в 2016 году.

Дата, время	Внешняя температура, °С	Внешняя относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Сумма атмосферных осадков, мм	Суммарное испарение, мм	Атмосферное давление, мм	Солнечная радиация, Ватт
2016-03-15 14:00:00	3,4	40	1,6	0	1,47	772	519
2016-03-16 14:00:00	2,2	85	2,1	0	0,96	760,2	102
2016-03-17 14:00:00	2,9	84	1,6	0	0,79	752,9	84
2016-03-18 14:00:00	-3,2	59	1,6	0,4	0,51	745,5	330
2016-03-19 14:00:00	-2,7	68	2	0,2	0,76	751	573
2016-03-20 14:00:00	-3,5	58	1,3	0	0,79	753,6	90
2016-03-21 14:00:00	0	41	1,8	0,4	1,25	756,2	334
2016-03-22 14:00:00	0	52	1,5	0,2	1,22	756,5	256
2016-03-23 14:00:00	0,3	31	2	0	1,57	762,1	577
2016-03-24 14:00:00	-0,4	40	1,6	0	1,37	763,1	436
2016-03-25 14:00:00	2,6	37	1,9	0	1,67	761,6	539
2016-03-26 14:00:00	5,7	33	2	0	2,00	763,1	572
2016-03-27 14:00:00	7,2	21	1,4	0	2,23	766,5	641
2016-03-28 14:00:00	10,5	38	1,1	0	2,44	765,6	738
2016-03-29 14:00:00	9,7	29	2	0	1,96	762,9	607
2016-03-30 14:00:00	8,1	61	1,4	0	2,16	764,9	524
2016-03-31 14:00:00	9,5	65	2,2	0	1,37	760,2	449
2016-04-01 14:00:00	2,4	94	2,2	6,0	0,76	754,7	84
2016-04-02 14:00:00	2,8	86	1,5	2,2	0,43	755,1	126
2016-04-03 14:00:00	5,5	73	3	3,6	1,09	758,5	245
2016-04-04 14:00:00	5,6	64	2,5	0	1,37	758,4	673
2016-04-05 14:00:00	6,6	42	2,1	0	2,13	762,8	684
2016-04-06 14:00:00	9,6	35	0,8	0	2,16	762,4	383
2016-04-07 14:00:00	4,3	91	0,9	2,8	1,35	761	40
2016-04-08 14:00:00	14,1	55	0,8	2,0	0,96	764,6	784
2016-04-09 14:00:00	14,8	64	0,9	0,4	2,01	760,5	340

2016-04-10 14:00:00	10,7	80	0,2	0,2	1,37	762,7	63
2016-04-11 14:00:00	9,2	67	1,6	1,0	0,96	767	364
2016-04-12 14:00:00	13,2	38	1	0	2,62	766,3	714
2016-04-13 14:00:00	15,6	37	0,9	0,2	3,02	762,7	696
2016-04-14 14:00:00	15,7	59	0,6	0	2,46	752,7	181
2016-04-15 14:00:00	10	89	1	3,6	1,09	754,6	62
2016-04-16 14:00:00	1,7	94	1,3	5,2	0,71	760,2	59
2016-04-17 14:00:00	13,8	40	1,1	0,4	1,55	764	735
2016-04-18 14:00:00	12,5	77	1,5	0,2	2,21	757,8	235
2016-04-19 14:00:00	11,7	53	0,7	0	1,78	759,8	180
2016-04-20 14:00:00	12,7	45	2	0	1,65	757,8	246
2016-04-21 14:00:00	8,3	62	1,8	0,6	1,88	756,4	446

Таблица 5.4 приложение. Динамика давления влаги температуры почвы за период 15.03 – 21.04. 2016 г.

Дата, время	Потенциал динамика и влаги кПа 1	Потенциал динамика и влаги кПа 2	Потенциал динамика и влаги кПа 3	Потенциал динамика и влаги кПа 4	Температура почвы 1, °C	Температура почвы 2, °C	Температура почвы 3, °C	Температура почвы 4, °C
2016-03-15 14:00:00	6	6	7	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-16 14:00:00	6	6	7	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-17 14:00:00	6	6	7	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-18 14:00:00	7	6	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-19 14:00:00	6	6	7	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-20 14:00:00	7	6	7	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-21 14:00:00	7	7	7	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-22 14:00:00	7	7	7	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-23 14:00:00	8	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-24 14:00:00	8	6	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-25 14:00:00	9	6	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-26 14:00:00	10	7	8	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-27 14:00:00	11	7	8	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-28	11	7	8	7	0,2	0,7	0,7	1,2

14:00:00								
2016-03-29 14:00:00	9	7	8	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-30 14:00:00	7	7	7	7	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-03-31 14:00:00	6	6	9	8	0,2	0,7	0,7	1,2
2016-04-01 14:00:00	15	6	7	7	0,2	0,7	0,7	1,1
2016-04-02 14:00:00	14	6	7	7	0,2	0,7	0,7	1,1
2016-04-03 14:00:00	18	6	7	7	0,2	0,7	0,6	1,1
2016-04-04 14:00:00	10	6	7	7	0,2	0,7	0,6	1,1
2016-04-05 14:00:00	9	6	7	7	0,2	0,7	0,6	1,1
2016-04-06 14:00:00	10	6	7	7	0,2	0,7	0,6	1,1
2016-04-07 14:00:00	11	6	7	7	0,2	0,7	0,6	1,1
2016-04-08 14:00:00	12	6	7	7	0,3	0,7	0,6	1,1
2016-04-09 14:00:00	9	6	7	7	0,7	0,7	0,7	1,1
2016-04-10 14:00:00	7	6	6	7	2,3	1,2	1,1	1,2
2016-04-11 14:00:00	5	5	6	6	3,7	2,1	2,3	1,8
2016-04-12 14:00:00	6	5	6	6	3,5	2,7	2,8	2,4
2016-04-13 14:00:00	5	5	6	6	4,1	3,2	3,2	2,8
2016-04-14 14:00:00	4	5	6	6	5,2	3,8	3,9	3,3
2016-04-15 14:00:00	4	5	5	6	6,3	4,6	4,8	3,8
2016-04-16 14:00:00	5	5	5	6	5,1	4,8	4,9	4,3
2016-04-17 14:00:00	4	4	5	5	3,8	4,1	3,9	4,1
2016-04-18 14:00:00	4	5	5	6	4,8	4,3	4,4	4,2
2016-04-19 14:00:00	4	5	5	6	4,9	4,4	4,4	4,3
2016-04-20 14:00:00	4	5	5	6	5,7	4,8	4,9	4,4
2016-04-21 14:00:00	4	5	5	6	4,9	4,8	4,8	4,7

Таблица 5.5 приложение. Метеоданные за период 22.04 – 04.07.16 г.

Дата, время	Внешняя температура, °С	Внешняя относительная влажность, %	Скорость ветра, м/с	Сумма атмосферных осадков, мм	Суммарное испарение, мм	Атмосферное давление, мм
2016-04-22 14:00:00	8,4	55	2,2	0,4	1,54	754,2
2016-04-23 14:00:00	9,7	44	2,8	0,2	2,36	756,8
2016-04-24 14:00:00	13,9	33	1,3	0	2,95	762,9
2016-04-25 14:00:00	16,2	52	2,4	0	3,48	761,7
2016-04-26 14:00:00	15,8	62	1,6	0,8	2,62	758,5
2016-04-27 14:00:00	13,6	74	2,9	1,4	1,37	763,8
2016-04-28 14:00:00	15,9	46	2,5	0	1,47	767
2016-04-29 14:00:00	17,5	26	1,5	0	4,24	770,5
2016-04-30 14:00:00	17	27	1,1	0	4,19	770,8
2016-05-01 14:00:00	16,8	26	1,6	0	3,86	770,2
2016-05-02 14:00:00	19,7	25	1,7	0	3,83	768,2
2016-05-03 14:00:00	20,5	23	1,2	0	3,38	766,1
2016-05-04 14:00:00	19,8	33	1,7	0	3,53	763,8
2016-05-05 14:00:00	9,8	78	1,1	2,2	2,49	765,9
2016-05-06 14:00:00	21,6	33	1,6	0	3,12	767,7
2016-05-07 14:00:00	22,2	23	1	0	4,24	769
2016-05-08 14:00:00	23,1	28	1,2	0	3,76	769,9
2016-05-09 14:00:00	25,2	26	1,5	0	4,34	768,6
2016-05-10 14:00:00	21,8	37	1	0	4,65	767,4
2016-05-11 14:00:00	24,7	26	1,3	0	4,19	761,8
2016-05-12 14:00:00	11,7	57	1,8	2,0	3,43	761,9
2016-05-13 14:00:00	14,9	33	1,1	0	3,43	761,8
2016-05-14 14:00:00	17,3	29	2,7	0	4,54	760,5
2016-05-15 14:00:00	16,3	32	2,2	0	4,85	759,1
2016-05-16 14:00:00	13,3	67	0,5	0	2,82	761,2
2016-05-17 14:00:00	14	78	0,4	1,4	0,94	763,3
2016-05-18	15,6	76	0,9	0	1,47	762,2

14:00:00						
2016-05-19 14:00:00	18,4	73	0,8	1,6	1,19	763,2
2016-05-20 14:00:00	13,9	95	0,9	11,6	1,22	754,8
2016-05-21 14:00:00	16,9	63	1,1	4,2	1,09	759,6
2016-05-22 14:00:00	15,3	83	0,4	12,4	1,52	759,6
2016-05-23 14:00:00	16,2	84	0,3	5,6	1,78	761,9
2016-05-24 14:00:00	21,8	48	1	0,8	3,30	761,8
2016-05-25 14:00:00	21,6	59	1,3	7,4	2,26	759,5
2016-05-26 14:00:00	25,2	37	0,7	0	4,04	762
2016-05-27 14:00:00	26	46	1,8	0	4,14	765,7
2016-05-28 14:00:00	25,3	48	0,7	0	4,88	767,2
2016-05-29 14:00:00	25,7	58	0,8	0	4,52	767,1
2016-05-30 14:00:00	25,4	40	1,2	0	4,80	766,6
2016-05-31 14:00:00	21,7	39	1,3	0	4,95	768,2
2016-06-01 14:00:00	21,1	36	0,7	0	4,83	770,1
2016-06-02 14:00:00	22,6	31	1,2	0	3,96	767,1
2016-06-03 14:00:00	22,4	51	0,4	0,6	3,43	761,7
2016-06-04 14:00:00	13,8	90	0	7,2	3,43	755,3
2016-06-05 14:00:00	16,7	50	0,6	3,8	1,90	757,2
2016-06-06 14:00:00	8,2	88	1,6	0,6	0,96	759,7
2016-06-07 14:00:00	7,3	84	1,6	8,6	0,97	761,7
2016-06-08 14:00:00	15,2	46	1,6	0,6	2,46	760,5
2016-06-09 14:00:00	11,7	94	0,6	6,4	2,90	756,4
2016-06-10 14:00:00	18,6	37	1,3	0,2	3,05	760,9
2016-06-11 14:00:00	14,1	92	1,5	2,0	2,26	757,1
2016-06-12 14:00:00	14,1	70	2,1	14,8	1,47	755,5
2016-06-13 14:00:00	15,8	57	1,8	1,8	2,56	759,3
2016-06-14 14:00:00	22,3	35	0,8	0,8	3,78	761,9
2016-06-15 14:00:00	22,2	65	1,4	0	4,12	762
2016-06-16 14:00:00	22,4	73	0,7	0	3,50	761,4
2016-06-17 14:00:00	28,3	47	1,3	0,2	3,30	764,6

2016-06-18 14:00:00	28,6	54	1,8	0	5,33	763,3
2016-06-19 14:00:00	26,1	48	1,3	1,8	3,61	767,8
2016-06-20 14:00:00	26,9	39	0,9	0	4,44	771,4
2016-06-21 14:00:00	29,6	43	1,9	0	4,80	770
2016-06-22 14:00:00	24,7	51	2,3	0	4,62	767
2016-06-23 14:00:00	23,7	51	1,8	0	4,90	771
2016-06-24 14:00:00	25,2	47	1,5	0	4,44	769,5
2016-06-25 14:00:00	27	58	1,5	2,0	3,63	767
2016-06-26 14:00:00	29,9	53	1	0	4,72	764,1
2016-06-27 14:00:00	25	69	1,3	0	4,77	760,1
2016-06-28 14:00:00	22,6	47	0,9	0	3,50	762,6
2016-06-29 14:00:00	25,1	44	0,7	0	4,98	763,4
2016-06-30 14:00:00	25,8	39	1,3	0	5,08	764,4
2016-07-01 14:00:00	27,8	44	0,2	0	4,83	765,6
2016-07-02 14:00:00	28,4	46	0,2	0	4,72	765,9
2016-07-03 14:00:00	29,8	44	0,6	0	3,99	764,4
2016-07-04 14:00:00	29,5	44	1,5	0	3,81	757,8

Таблица 5.6 приложение. Динамика давления влаги и температуры почвы (22.04 – 04.07.16 г.).

Дата, время	Давление влаги, кПа 1	Давление влаги, кПа 2	Давление влаги, кПа 3	Давление влаги кПа 4	Температура почвы 1, °С	Температура почвы 2, °С	Температура почвы 3, °С	Температура почвы 4, °С
2016-04-22 14:00:00	4	5	5	6	5,2	4,9	4,9	4,8
2016-04-23 14:00:00	4	6	5	6	5,4	5,1	5,2	4,9
2016-04-24 14:00:00	5	5	5	6	5,2	5	5	5
2016-04-25 14:00:00	5	5	5	6	7	5,6	5,7	5,2
2016-04-26 14:00:00	5	4	5	5	8,2	6,4	6,6	5,7
2016-04-27 14:00:00	5	4	5	6	8,9	7,1	7,2	6,2
2016-04-28 14:00:00	6	4	5	6	8,9	7,3	7,5	6,6
2016-04-29 14:00:00	10	4	5	6	8,6	7,5	7,6	6,9
2016-04-30 14:00:00	15	5	5	6	8,6	7,6	7,8	7,2
2016-05-01 14:00:00	20	5	6	6	8,3	7,7	7,8	7,3
2016-05-02 14:00:00	24	5	7	6	9,3	7,9	8,1	7,4
2016-05-03 14:00:00	28	5	9	6	9,8	8,4	8,6	7,7
2016-05-04 14:00:00	32	5	12	6	10,1	8,8	8,9	8,1
2016-05-05 14:00:00	34	6	14	6	9,7	9,1	9,1	8,3
2016-05-06 14:00:00	34	6	16	6	9,6	8,7	8,7	8,3
2016-05-07 14:00:00	39	7	19	7	10,3	9,2	9,3	8,6
2016-05-08 14:00:00	44	8	21	10	10,5	9,6	9,6	8,8
2016-05-09 14:00:00	48	8	25	14	10,8	9,8	9,8	9,1
2016-05-10 14:00:00	52	9	27	18	11,2	10,1	10,2	9,4
2016-05-11 14:00:00	57	10	30	21	11,4	10,3	10,3	9,6
2016-05-12 14:00:00	63	11	33	23	11,3	10,6	10,7	9,8
2016-05-13 14:00:00	67	12	35	25	9,8	10	9,9	9,7
2016-05-14 14:00:00	71	12	38	27	9,8	9,7	9,6	9,6
2016-05-15 14:00:00	76	13	40	29	10,1	9,7	9,7	9,4
2016-05-16 14:00:00	84	14	41	30	10,4	10	10	9,6
2016-05-17 14:00:00	83	15	43	32	10,8	9,9	10	9,6
2016-05-18 14:00:00	82	16	44	33	11,3	10,2	10,3	9,6
2016-05-19 14:00:00	82	17	44	34	11,6	10,4	10,5	9,8
2016-05-20 14:00:00	18	18	44	33	11,8	10,6	10,7	9,9
2016-05-21 14:00:00	34	20	43	33	11,2	10,5	10,5	10
2016-05-22 14:00:00	11	21	39	31	11,3	10,5	10,6	10

2016-05-23 14:00:00	9	21	29	25	11,7	10,6	10,7	10,1
2016-05-24 14:00:00	17	21	19	15	11,6	10,7	10,8	10,3
2016-05-25 14:00:00	12	21	10	9	12,7	11,1	11,2	10,4
2016-05-26 14:00:00	20	21	10	6	12,6	11,3	11,5	10,7
2016-05-27 14:00:00	29	21	11	6	13	11,6	11,7	10,9
2016-05-28 14:00:00	39	21	13	6	13,7	12,1	12,2	11,3
2016-05-29 14:00:00	41	22	17	7	14,7	12,7	12,8	11,7
2016-05-30 14:00:00	43	23	21	10	14,8	13,1	13,2	12,2
2016-05-31 14:00:00	48	24	25	15	14,5	13,2	13,3	12,4
2016-06-01 14:00:00	54	25	30	20	13,3	12,9	12,9	12,5
2016-06-02 14:00:00	58	26	33	23	13,1	12,6	12,6	12,3
2016-06-03 14:00:00	61	27	36	26	13,6	12,6	12,7	12,2
2016-06-04 14:00:00	61	28	38	28	13,6	12,7	12,7	12,3
2016-06-05 14:00:00	33	29	38	29	13,4	12,7	12,7	12,3
2016-06-06 14:00:00	44	30	39	29	12,4	12,4	12,3	12,2
2016-06-07 14:00:00	24	31	39	29	11	11,8	11,7	11,9
2016-06-08 14:00:00	27	31	38	28	10,7	11,2	11	11,5
2016-06-09 14:00:00	13	31	37	27	11,7	11,3	11,2	11,3
2016-06-10 14:00:00	39	31	36	26	11,5	11,3	11,3	11,3
2016-06-11 14:00:00	48	30	34	25	11,7	11,3	11,3	11,4
2016-06-12 14:00:00	10	31	31	22	12,2	11,5	11,5	11,4
2016-06-13 14:00:00	8	30	17	12	12,2	11,5	11,5	11,4
2016-06-14 14:00:00	18	30	15	8	11,9	11,4	11,4	11,5
2016-06-15 14:00:00	27	29	16	8	13	11,7	11,7	11,7
2016-06-16 14:00:00	34	29	18	8	14,6	12,4	12,6	12,1
2016-06-17 14:00:00	36	30	20	10	15,2	13,1	13,2	12,5
2016-06-18 14:00:00	42	31	24	13	16	13,6	13,8	13,1
2016-06-19 14:00:00	48	32	28	17	16,6	14,2	14,4	13,5
2016-06-20 14:00:00	52	34	31	21	16,2	14,4	14,6	13,9
2016-06-21 14:00:00	58	36	35	24	16,3	14,6	14,7	14,1
2016-06-22 14:00:00	65	38	38	27	17,2	15	15,2	14,3
2016-06-23 14:00:00	71	40	40	29	16,7	15,2	15,2	14,6
2016-06-24 14:00:00	77	43	43	32	16,2	15	15,1	14,7
2016-06-25 14:00:00	83	44	46	34	16,9	15,2	15,2	14,7
2016-06-26 14:00:00	87	47	50	35	17,3	15,4	15,5	14,9
2016-06-27 14:00:00	91	49	53	37	17,8	15,7	15,9	15,2

2016-06-28 14:00:00	96	53	56	39	17,3	15,8	15,9	15,3
2016-06-29 14:00:00	100	56	60	41	16,2	15,4	15,5	15,2
2016-06-30 14:00:00	101	58	62	43	16,3	15,3	15,3	15,1
2016-07-01 14:00:00	102	59	66	45	16,3	15,2	15,3	15,1
2016-07-02 14:00:00	102	62	69	47	16,9	15,4	15,5	15,1
2016-07-03 14:00:00	103	64	72	49	17,3	15,6	15,7	15,2
2016-07-04 14:00:00	104	66	76	50	17,7	15,7	15,9	15,2

Урожайность кукурузы на большом опытном поле в 2016 году составил следующие величины: 645, 520, 540 и 500 ц/га соответственно на площадках 1, 2, 3 и 4.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	8
1.1. Дерново-подзолистая среднесуглинистая слабооглеенная почва Зеленоградского стационара	8
1.2. Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва ВНИИ кормов им. В.Р.Вильямса и Мещёрского филиала ВНИИГиМ	17
1.3. Краткое резюме	22
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	23
2.1. Исследование методов и приборного гидрофизического обеспечения.	23
2.2. Метод определения влагопроводности.	30
2.3. Заключение	35
ГЛАВА 3. ВОДНЫЙ РЕЖИМ И ВОДОУДЕРЖИВАЮЩИЕ СИЛЫ ДЕРНОВО–ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ.	35
3.1. Введение	35
3.2. Особенности запасов влаги и водоудерживающие силы в засушливых и экстремально сухих условиях атмосферного увлажнения.	38
3.3. Закономерности водного режима дерново-подзолистой почвы в условиях влажного года.	48
3.4. Заключение	62
ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ, ПОТЕРЬ И ВОЗВРАТ ВЛАГИ И ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ВО ВНУТРИПОЧВЕННОМ ВЛАГООБМЕНЕ	63
4.1. Введение	63
4.2. Исследование потерь и возврат влаги и химических веществ во внутрипочвенном влагообмене	68
4.3. Внутрипочвенный влагообмен почвы	72
4.4. Заключение	81

ГЛАВА 5. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ.	83
5.1. Введение	83
5.2. Динамика потенциала почвенной влаги в тёплый период года.	84
5.3. Динамика потенциала (давления) почвенной влаги в холодный (зимний) период года.....	97
5.4. Давление влаги в условиях фазового перехода почвенного раствора.....	104
5.5. Выводы	111
ГЛАВА 6. ДОСТУПНОСТЬ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ РАСТЕНИЯМ	111
6.1. Общее представление о влагообеспеченности почв и растений.....	111
6.2. Оптимизация водного режима почв и влагообеспеченности растений.....	114
6.3. Оценка влагообеспеченности почв и растений.....	119
6.4. Метеорологические и физиологические аспекты доступности почвенной влаги и растений.	127
6.5. Заключение.....	136
ГЛАВА 7. ОПТИМИЗАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ.....	137
7.1. Принципиальные и методологические аспекты оптимизации и регулирования растений на основе капиллярно-сорбционного потенциала почвенной влаги....	137
7.2. Проблемы и принципы автоматизации орошения растений	146
7.3. Особенности приемов регулирования водного режима почв и влагообеспеченности растений в Нечерноземной зоне России.	155
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....	161
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	166
ПРИЛОЖЕНИЕ	173
ОГЛАВЛЕНИЕ	204