

ФГБОУ ВО
АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ГОНЧАРОВ Илья Александрович

**ПОЧВЕННО-ГИДРОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ
АЛТАЙСКОГО ПРИОБЬЯ**

Специальность 06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
профессор МАКАРЫЧЕВ С. В.

Барнаул – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ.....	8
ГЛАВА II. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	14
ГЛАВА III. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	17
3.1. Климатические особенности.....	17
3.2. Биологические особенности исследуемых плодово- ягодных культур.....	23
ГЛАВА IV. ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ САДА.....	28
4.1. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного.....	28
4.2. Гидрофизические свойства исследуемой почвы.....	34
4.2.1. Основная гидрофизическая характеристика.....	34
4.2.2. Функция влагопроводности.....	38
4.2.3. Моделирование гидрофизических свойств.....	44
ГЛАВА V. ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД ЯГОДНЫМИ КУЛЬТУРАМИ.....	49
5.1. Формирование режима влажности чернозема выщелоченного под ягодными культурами в период вегетации.....	49
5.2. Сезонная динамика коэффициента влагопроводности чернозема выщелоченного.....	58
5.3. Изменение капиллярно-сорбционного давления чернозема в вегетационный период.....	66
ГЛАВА VI. Моделирование продуктивности ягодных культур в зависимости от условий среды.....	74
ВЫВОДЫ.....	87
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	89

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	90
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	107

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования: Ягодные культуры в условиях Сибири требовательны к условиям произрастания, таким как агрофизические свойства и гидротермические режимы, формирующиеся в почве. Одним из условий получения высоких и устойчивых урожаев ягод и фруктов является создание оптимальных параметров и режимов в почвенном профиле. Известно, что облепиха и жимолость обладают высокой потенциальной продуктивностью, однако из-за слабого использования экологических факторов их урожайность остается низкой.

Закономерности формирования режима влажности почвы в значительной мере определяются ее гидрофизическими свойствами, которые, в свою очередь, зависят от гранулометрического состава, плотности, температуры, порозности, содержания органического вещества. Это предопределяет, с одной стороны, неоднородность почв по гидрофизическим параметрам, а с другой – большие практические возможности для моделирования и прогнозирования гидромелиоративных эффектов, различных агромероприятий и обоснования наиболее рациональных мелиоративных технологий. При математическом моделировании режима влажности в почве необходимо знать ее гидрофизические функции, основную гидрофизическую характеристику (ОГХ) и функцию влагопроводности (ФВ).

Кроме моделирования влагопереноса применение гидрофизических функций является перспективным в области сравнения гидравлических показателей различных типов почв и почвенных горизонтов, характеризующих всю совокупность физических свойств (Воронин, 1984). Их также можно использовать при описании характеристики пространственной изменчивости гидравлических свойств почвы по всему ландшафту.

Ягодное садоводство в Алтайском крае ведется в богарных условиях и на сегодняшний день отсутствуют сведения о процессах формирования

гидрофизического состояния почв, как одного из основных факторов определяющих продуктивность культур. Поэтому комплексные исследования гидрофизических свойств и гидротермических режимов почв под ягодными культурами весьма актуальны.

Цель исследований: Изучить гидрофизические свойства и режимы влажности в черноземах выщелоченных под различными плодово-ягодными культурами для обоснования необходимости проведения оросительных мелиораций.

Задачи исследований:

1) Изучить общие физические и физико-химические свойства исследуемых почв

2) Определить гидрофизические характеристики черноземов выщелоченных под многолетними плодово-ягодными насаждениями

3) Изучить сезонные режимы влажности генетических горизонтов черноземов выщелоченных в садах Алтайского Приобья в зависимости от культуры

4) Исследовать динамику коэффициента влагопроводности и капиллярного давления почвенной влаги в течение вегетационного периода для различных ягодных культур

5) Провести оценку продуктивности ягодных культур в зависимости от гидротермических условий среды.

Объектами исследования являются черноземы выщелоченные сортоиспытательных участков НИИСС им. М. А. Лисавенко, расположенных в пригороде г. Барнаула, на левом берегу реки Оби Высокого Приобского плато.

Научная новизна: Впервые экспериментально определены гидрофизические свойства чернозема выщелоченного в условиях ягодного сада в условиях Алтайского Приобья. Установлены особенности формирования гидрофизического состояния генетических горизонтов почвенного профиля.

Проведена оценка влияния плодово-ягодных культур на режим влажности в черноземе выщелоченном. Обоснована необходимость проведения оросительных мелиораций ягодных культур в условиях Алтайского Приобья.

Основные положения, представляемые к защите:

– выявлено, что гидрофизические свойства чернозёмов выщелоченных Алтайского Приобья определяются их общими физическими и физико-химическими показателями

– получены гидрофизические параметры ван Генухтена-Муалема, которые можно использовать в динамическом моделировании режима влажности чернозёмов под ягодными культурами

– выявлены особенности влияния культуры на режим влажности в течение вегетации

– показано, что потенциал продуктивности облепихи и жимолости в богарных условиях Алтайского Приобья реализован не в полной мере.

Практическая значимость: Выявленные особенности формирования гидрофизического состояния генетических горизонтов чернозёма под различными плодово-ягодными культурами позволяют прогнозировать распространение и аккумуляцию влаги в почвенном профиле в условиях плодового сада Алтайского Приобья.

Апробация работы и публикации: Основные положения диссертации доложены на Международной научно-практической конференции, посвященной 126-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ «Вавиловские чтения» (Саратов, 2013); VII Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: инновации и опыт» (г. Екатеринбург, 2014); X Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству Алтая» (г. Барнаул, 2015 г.). Материалы диссертации опубликованы в 8 статьях, в том

числе 5 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Объем публикаций составляет 2,85 п.л., в том числе доля автора 0,91 п.л.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 110 страницах печатного текста, включая 5 таблиц, 60 рисунков, 4 приложения. Список используемой литературы включает 163 источника, из них 147 отечественных и 16 зарубежных.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю профессору С.В. Макарычеву за постоянное внимание, поддержку и помощь при подготовке рукописи, а также благодарен И.В. Гефке, А.Г. Болотову, С.И. Завалишину и Н.А. Гончарову за их помощь в проведении и обсуждении исследований.

ГЛАВА I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Значительное влияние на содержание влаги в почве оказывает атмосферный климат. В то же время существенная роль в процессе накопления и движения влаги в почве принадлежит её гидрофизическим свойствам: капиллярно-сорбционному давлению и коэффициенту влагопроводности.

К настоящему времени в почвенной гидрофизике сложились определенные представления о движении влаги в почвах (Роде, 1952, 1965, 1969; Качинский, 1970; Судницын, 1964, 1979; Растворова, 1983; Глобус, 1983; Воронин, 1984, 1986, Вадюнина, Корчагина, 1986; Зайдельман, 1987, 2004; Шеин, 2005; Умарова, 2008), основанные на двух подходах с использованием: 1) почвенно-гидрологических констант и 2) основных гидрофизических функций.

Первый подход базируется на фильтрационном типе перемещения влаги, согласно которому почвенная влага равномерно пропитывает с поверхности почвенную толщу (Абрамова, 1953; Роде, 1960, 1961; Качинский, 1970). Для описания влагопереноса в этом случае используют балансовые уравнения с применением почвенно-гидрологических констант, что может приводить к заметным ошибкам при расчетах передвижения влаги (Щербаков и др., 1986; Глобус, 1987; Губер, Шеин, 1997; Умарова, 2008). Во втором подходе эти ограничения отсутствуют, т.к. его основой является закон переноса, позволяющий количественно, на основании законов термодинамики с применением значений давления почвенной влаги описывать направление влагопереноса и его интенсивность (Воронин, 1984; Шеин, 2005).

В Алтайском крае гидрофизические исследования на основе термодинамического подхода начаты сравнительно недавно (Болотов с соавт., 2014, Пузанов с соавт., 2014). В зарубежной литературе изучению гидрофизических свойств почв посвящены работы (van Genuchten, 1981;

Simunek, 2008; Humberto et al., 2008; Xiaoa et al., 2012; Mirbabaei et al., 2013; Liu et al., 2013; Teng et al., 2013; Jeyakumar et al., 2014; Chau et al., 2014).

Изучение водного режима почв является классической проблемой почвоведения, не потерявшей актуальности в наши дни. Широко известны работы Высоцкого Г.Н., Роде А.А. (1960), Зайдельмана Ф.Р., Качинского Н.А. (1930), Вадюниной А.Ф., Карпачевского Л.О., Шеина Е.В. и др., изучавших водный режим, но всегда отмечавших, что водный режим – основа для диагностики почв, их классификации и агрофизической оценки (Аверьянов, 1949; Роде, 1969; Владыченский, 1972; Кулик, 1978; Лихацевич, 1984; Айдаров, 1985; Вадюнина, Корчагина, 1986; Шеин с соавт., 1995, 2001, 2002; Смагин с соавт., 1999; Сметник с соавт., 2005). Исследование этого режима, его количественное представление в виде хроноизоплант или элементов водного баланса почвенного слоя за определенный промежуток времени представляют основу для дальнейших выводов об эволюции почв, их использовании и управлении водным режимом.

Вопросам моделирования гидрофизических свойств почв посвящены работы (Заславский и др., 1988; Терлеев, 1989; Полуэктов и др., 2006, 2007; Крылова, Терлеев, 2008, 2009; Терлеев и др., 2010, 2012, 2013; Баденко, 2011; Баденко и др., 2011, 2013; Баденко, Латышев, 2012; Латышев, 2013

Вопросам движения и накопления почвенной влаги в условиях сада посвящено немало работ в нашей стране и за рубежом. Так установлена зависимость роста и развития корней плодово-ягодных культур от влажности почвы (Захаров с соавт., 2011).

Для условий Молдавии изучено влияние длительного внесения органических, минеральных и органо-минеральных удобрений в садах на содержание органического вещества почвы и его качественный состав, пищевой режим почвы, физико-химические свойства почвы, физические свойства и водный режим почвы, а также на рост и урожайность яблони (Романенко, 1966).

На основании запасов доступной влаги в почве сада при паровой и дерново-перегнойной системах на длительных фонах разных систем установлено, что в первые три года при дерново-перегнойной системе ухудшается водный режим, а с образованием мульчирующего слоя практически разницы не проявлялось. Длительные фоны систем содержания практически не оказывали влияние на содержание влаги. Последняя зависит от общего количества и осадков за вегетационный период (Бутыло, 2011).

В плодовом саду для условий юга России выявлены особенности влияния плотности сложения бурой лесной почвы на её водный режим, в зависимости от местоположения на склоне. Наличие уплотнённых слоёв в профиле почвы на глубине 60-120 см (и более) в средней и нижней частях склона крутизной 10-12° приводит к уменьшению вертикального стока и накоплению влаги в слоях почвы, расположенных над естественным водоупором (Черников с соавт., 2014).

И.И. Судницыным (2014) в условиях сухого субтропического климата средиземноморского типа (Южный берег Крыма, Государственный Никитский ботанический сад, 1981-1990 гг.) установлено значительное пространственно-временное варьирование гидрофизических свойств почв и режима влажности, а также цикличность последнего.

В работе (Кондратьев, 1967) разработан способ применения покровных культур в саду для пополнения органического вещества почвы, определено влияние различных покровных растений на водный и питательный режим плодовых деревьев.

В работе (Яковченко с соавт., 2012) изучено влияние влажности и степени кислотности почвы на интенсивность возникновения и развития микробных и растительных сообществ, а, следовательно, восстановления почвенного плодородия. Понижение влажности почвы в саду во время цветения способствует увеличению продуктивной завязи. Более напряженный водный

режим во время дифференциации плодовых почек способствует увеличению количества генеративных почек.

Для агросерых почв Предволжья установлены границы начальных стадий деградации их физических и водно-физических свойств. Предложены значения слабой и средней степени физической деградации агросерых почв (Валеева с соавт., 2011). Деградация почвенного покрова в условиях сада рассмотрено в работе (Богуславская, 2011).

Одним из эффективных мелиоративных приемов является орошение. В работе (Шуравилин с соавт., 2008) приведены результаты исследования закономерностей распределения влаги в почве при капельном орошении молодого яблоневого сада, распространенной в сухостепной зоне на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья. Установлена продуктивность яблоневого сада в первые три года плодоношения в зависимости от предполивной влажности, глубины увлажнения и обмена подачи поливной воды. Разработаны практические рекомендации к методике расчета поливной нормы, учитывающие возрастные изменения функционирования яблоневых агроценозов в молодом саду.

Для условий юга России обоснованы нормы капельного орошения яблоневых садов промышленного типа. Выявлено, что наиболее высокие показатели продуктивности яблони в условиях сада при режиме орошения с поливной нормой, сниженной на 20% от расчетной (Кириченко с соавт., 2013).

В работе (Алиев, 2013) исследована проблема обеспечения возделывания экологически безопасной продукции в условиях горно-орошаемого земледелия с помощью системы орошения дождеванием и агротехнического потенциала, с помощью которой возможно не только поддержание влажности почвы на оптимальном уровне, но и искусственное его понижение в определенные фазы развития плодово-ягодных культур.

А. И. Головановым показано, что отбор влаги корнями растений является одним из главных расходных факторов, влияющих на динамику влагозапасов в увлажняемой зоне. Рассмотрены особенности формирования водного режима почв при канальном орошении сада (Голованов с соавт., 2013).

Применение и изучение регуляторов роста растений в нашей стране в последнее время приобрели массовый характер. Появляются экологически безопасные регуляторы роста и развития растения отечественного производства. Они играют важную физиологическую роль в увеличении урожайности, улучшении качества продукции и повышении устойчивости к стрессовым факторам.

В условиях Нижнего Поволжья научно обоснованы и определены эффективные параметры технологии выращивания яблоневого сада с применением капельного орошения и регуляторов роста. Использовали препараты «Бутон» и «Мивал-Агро», в качестве контроля – обработка водой. Объектами являлись летние, осенние и зимние сорта яблок. Наилучший результат был получен на зимнем сорте Гала - 33,2 *т/га* с предполивающим порогом влажности 80% НВ при применении регулятора роста «Мивал-Агро», что на 3,4 *т/га* больше по сравнению с контролем. По результатам исследований за 2011-2012 гг. установлено, что использование регуляторов роста оказывает положительное влияние на урожайность плодовых культур, способствует повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды (Калмыкова, 2014).

Изучению процессов энергообмена, фазовой структуры теплотоков в почве, а также разработке экологической гидрофизики почв посвящены работы (Роде, 1965; Волобуев, 1974; Судницын, 1964, 1979; Воронин, 1986). Продолжалась обработка методологии построения теоретических систем, структурно-энергетической концепции в почвоведении (Воронин, 1984, 1986; Макарычев, 1996; Чичулин, 1998).

Влиянию агромелиоративных приемов на почвенно–физическое состояние посвящены работы (Панфилов, Макарычев и др., 1981; Макарычев и др., 1980, 1993, 2002; Горяев, 1989; Гусев, 1989; Татаринцев, 1989; Умаров и др., 1989; Кудряшова, Чичулин, 1989; Тихонравова, 1991; Макарычев, 1997). Взаимосвязь тепла и влаги в почвах изучена в работах (Бадмаев и др., 1996; Mowjood, Ishiguro, 1997).

При изучении водно-физических свойств и режимов почв немаловажное значение имеет применение имитационных моделей, позволяющих воссоздавать и прогнозировать протекание различных процессов в почве. Особенно активно в настоящее время развивается моделирование влагосолепереноса в почвенном профиле для различных типов почв и природных условий (Щербаков с соавт., 1986; Сысуев, 1986; Глобус, 1987; Чеботарев, 1987; Заславский, Полуэктов, 1988; Пачепский, 1992; Кудряшова, Чичулин, 1996, 1989; Губер, Шеин, 1997; Саранцев, 1997; Мамихин, 1997; Болотов с соавт., 2015).

Несмотря на изучение гидрофизического состояния почвы некоторые области почвенной гидрофизики остались не изученными. Недостаточно исследований по влиянию различных культур на гидрофизическое состояние почвы, хотя влияние это может быть довольно существенным и неодинаковым в зависимости от характера развития и мощности корневой системы той или иной культуры.

В связи с этим нами изучено гидрофизическое состояние почв на примере черноземов выщелоченных под различными ягодными культурами (НИИСС им. М.А. Лисавенко).

ГЛАВА II. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись черноземы выщелоченные сортоиспытательных участков НИИ садоводства им. М. А. Лисавенко, расположенных в пригороде г. Барнаула, на левом берегу реки Оби Высокого Приобского плато. Район исследований расположен в подзоне черноземов обыкновенных умеренно-засушливой колючей степи, располагающуюся на Приобском плато (левобережье р. Оби). Плато рассечено ложбинами древнего стока и долинами рек Алея и Чарыша на ряд водораздельных увалов с террасированными склонами. «Обыкновенные черноземы создают широкую почвенную подзону, пространственно вытянутую с северо-запада на юго-восток (Почвы..., 1959, 1974; Хмелев, 1989) вплоть до предгорий и низкогорий Алтая и занимающую среднюю часть Приобского плато. Внутри подзоны обыкновенных черноземов, занимающей Приобское плато, выделены выщелоченные черноземы (Лебедев, 1975; Хмелев, 1977; Гаджиев и др., 1977). Согласно почвенно-географическому районированию Алтайского края в подзоне обыкновенных черноземов колючей степи Приобского плато выделяется несколько почвенных районов различающихся определенными сочетаниями и комплексами почв (Почвы..., 1959)». В этой подзоне преобладают черноземы обыкновенные среднемощные среднегумусные в сочетании с малогумусными маломощными и карбонатными. «Отдельные районы представляют собой сочетания и комплексы черноземов обыкновенных с выщелоченными, а также с лугово-черноземными почвами, с солонцовыми и солонцевато-солончаковыми комплексами (Бурлакова, 1984)».

В полевой период проведено изучение почв методом заложения почвенно-геоморфологического профиля, измерение температуры и влажности под плодово-ягодными культурами в течение вегетационного периода в метровом слое почвы.

Определение физических свойств почв проведено с помощью общепринятых методов (Вадюнина, Корчагина, 1986; Шеин, 2005, Теории и методы, 2007): плотность почвы буровым методом, гранулометрический и агрегатный состав пипет-методом по Н.А. Качинскому с пирофосфатной диспергацией, структурный анализ по Н.И. Савинову. Содержание органического вещества по Тюрину.

В наших исследованиях определение основной гидрофизической характеристики (ОГХ) и функции влагопроводности (ФВ) проведено методом равновесного центрифугирования (Смагин и др., 1998, 1999, 2003), при использовании лабораторной центрифуги TG16WS с максимальной частотой вращения 12000 оборотов в минуту. Центрифуга снабжена угловым ротором и набором центрифужных пробирок (стаканчиков), выполненных из нержавеющей стали с перфорированным дном. Верхняя часть центрифужного стаканчика закрывается крышками во избежание доступа воздуха и сушки образца при высоких скоростях вращения. Для обычных анализов кривых иссушения использовался крупнопористый материал-подкладка. Образец насыщался водой до полной влагоемкости, устанавливался на поверхность подкладки и центрифугировался, начиная с малых оборотов. Остаточная влажность в образцах оценивалась взвешиванием, на аналитических весах. Общее число анализируемых одновременно образцов соответствует емкости ротора и не превышает 12 для используемой центрифуги.

Метод отличается хорошей воспроизводимостью и точностью результатов. В отличие от классических методов гидрофизики почв (тензометрии, капилляриметрии и т.д.) определение ОГХ с помощью рассматриваемого метода производится в широком диапазоне варьирования, достигающем размаха по влажности от МГ до ПВ.

Экспериментальные ОГХ и ФВ аппроксимировали функцией ван Генухтена (van Genuchten, 1980):

$$S_e = (1 + (\alpha P)^n)^{-m} \quad (10)$$

где $m=1-(1/n)$; a , λ , n – эмпирические коэффициенты, и ван Генухтена-Муалема:

$$K_r = K_s S_e^{1/2} (1 - (1 - S_e^{1/m})^m)^2 \quad (12)$$

Тепловой режим изучен с помощью полевого измерителя температуры, основанного на технологии 1-Wire с применением датчиков DS18B20, производства фирмы "Dallas Semiconductor - Maxim", США (Болотов, 2012). Данный тип датчиков зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под №23169-02 и допущен к применению в Российской Федерации.

Полевая влажность определена термостатно-весовым способом. Экспериментальные данные ОГХ аппроксимированы уравнениями (van Genuchten, 1980; Brooks and Corey, 1964). Функция влагопроводности - уравнением (Mualem, 1976).

Зависимость продуктивности растения от факторов внешней среды нами использована модель В.В. Шабанова (2003).

Статистическая обработка полученных данных произведена с помощью программного пакета Excel.

ГЛАВА III. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

3.1. Климатические особенности

Исследования проводились в 2012-2014 гг. в НИИ садоводства им. М. А. Лисавенко на сортоиспытательных участках, расположенных в пригороде г.Барнаула, на левом берегу реки Оби Высокого Приобского плато. Данная территория относится к подзоне черноземов обыкновенных умеренно засушливой колочной степи.

«По агроклиматическому районированию территория лесостепной зоны Алтайского края относится к теплому недостаточно увлажненному климатическому району, характеризующемуся продолжительной и суровой зимой, достаточно жарким и коротким летом, поздними весенними и раннеосенними заморозками (Агроклиматический справочник по Алтайскому краю, 1957; Агроклиматические ресурсы Алтайского края, 1971; Алтайский край. Атлас, 1978)». Суровые климатические условия, заключающиеся в том, что зимой низкие температуры создают реальную опасность вымерзания растений; резкие колебания температуры как почвы, так и воздуха отрицательно влияют на растения круглый год, при этом значительно увеличивается вред от таких колебаний весной и осенью, летом нередко засухи. Весной воздействие низких температур (в том числе заморозков) замедляет развитие растений, угрожает их целостности. Временами низкие температуры воздействуют на растения даже в начале лета и заморозки случаются вплоть до второй половины июня. В конце августа, а также осенью ранние заморозки прерывают вегетацию, наряду с недостаточным количеством осадков летом. Положительные стороны климатических условий Алтайского края для ведения садоводства, которые все же позволяют нормально развиваться плодовым растениям: продолжительный световой день, большое число часов солнечного сияния, как правило, жаркое лето, при этом летних тепловых ресурсов достаточно для возделывания плодовых и ягодных культур.

Приведем обобщенные метеорологические данные для метеостанции НИИСС им. М.А. Лисавенко, характеризующие среднееголетние климатические особенности зоны исследований. Средняя многолетняя температура воздуха – 2,1°C. Самый холодный месяц январь с температурой - 17,5°C (абсолютный минимум -52°C отмечен в 1931г). Самым теплым месяцем является июль, его средняя температура равна 19,3°C. Абсолютный максимум был отмечен в 1953 году с температурой 41°C. Средняя сумма положительных температур составляет 2495°C. На рис.1 показано интегральное распределение суммы эффективных температур воздуха выше 5 °С.

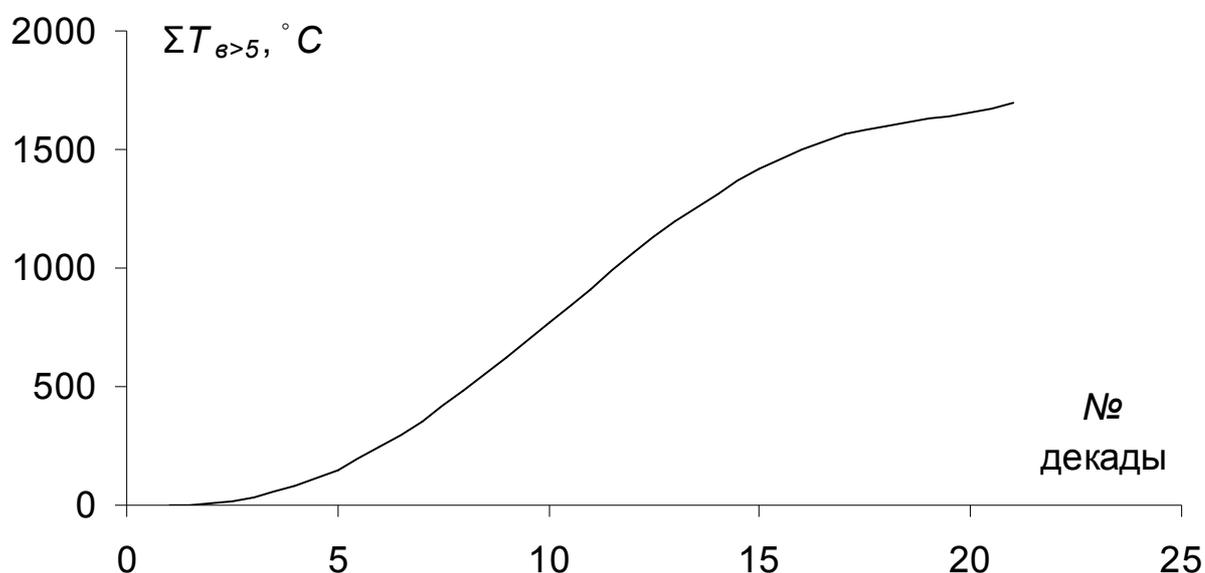


Рис.1. Интегральное распределение подекадной суммы эффективных температур воздуха (°C) за период со средней суточной температурой выше 5 °C. Нумерация декад начинается с апреля.

Режим атмосферного увлажнения колючей степи Алтайского края отличается неустойчивостью по годам и неравномерностью в течение года. Низкая относительная влажность воздуха (средняя годовая равна 71%) при его высоких температурах вызывает повышенную испаряемость с поверхности почвы. Наибольшие величины относительной влажности отмечаются с ноября по март (75-80%), а наименьшие - в мае - июне (56-62%). Среднегодовое

количество осадков составляет 530 мм. Максимальное количество осадков выпадает в июле (70 мм), минимальное - в апреле (23 мм). Наибольшая продолжительность осадков приходится на ноябрь (203 часа), январь (215 часов), наименьшая - на летние месяцы с минимумом в июле (33 часа).

Преобладающими направлениями ветра являются юго-западное и южное и занимающими господствующее положение в январе-мае и августе-декабре. В июне и июле преимущественно наблюдаются ветры северного и северо-восточного направлений, когда часты случаи безветренной погоды. Среднегодовая скорость ветра составляет 3,2 м/с, наибольшая - в ноябре (4,1 м/с), минимальная - в июле (2,3 м/с). В течение года отмечается 39 дней со скоростью ветра равной или более 15 м/с. Продолжительность безморозного периода составляет 120 дней, при длительности вегетационного периода 150-165 дней.

За годы исследований проанализированы данные метеостанции НИИСС им. М.А. Лисавенко (рис.2-4), которые позволяют охарактеризовать климатические условия за время наблюдений.

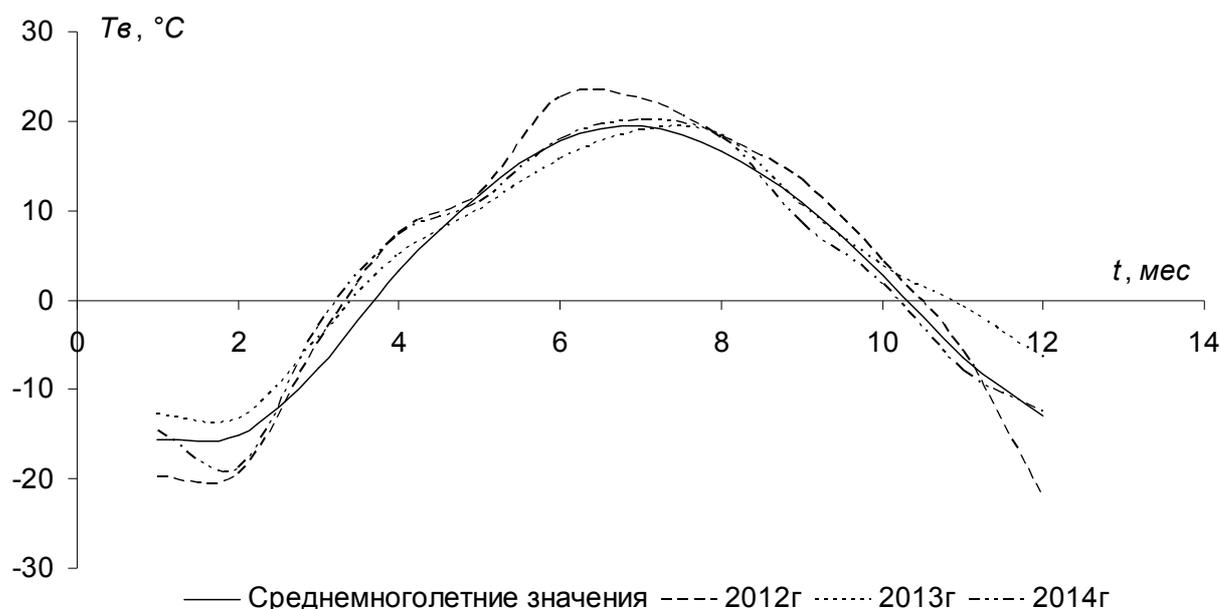


Рис.2. Среднемесячная температура воздуха в годы проведения исследований.

Наблюдения за температурным режимом почвы нами были начаты осенью 2011 года, когда первый осенний заморозок отмечен 11 октября и составил $-3,6^{\circ}\text{C}$ в воздухе и $-8,5^{\circ}\text{C}$ на поверхности почвы. В данный период не отмечено значительных отклонений температуры воздуха от среднеголетних значений. Абсолютный минимум температуры воздуха был зафиксирован в январе и составил -38°C . Зимний период характеризовался значительным недостатком осадков, их количество составило 12; 8; и 1,2 мм в декабре, январе и феврале соответственно при отклонении от среднеголетних значений на 12, 15 и 17 мм соответственно, что для плодово-ягодных культур не является критическим, при этом высота снежного покрова равнялась 28 см.

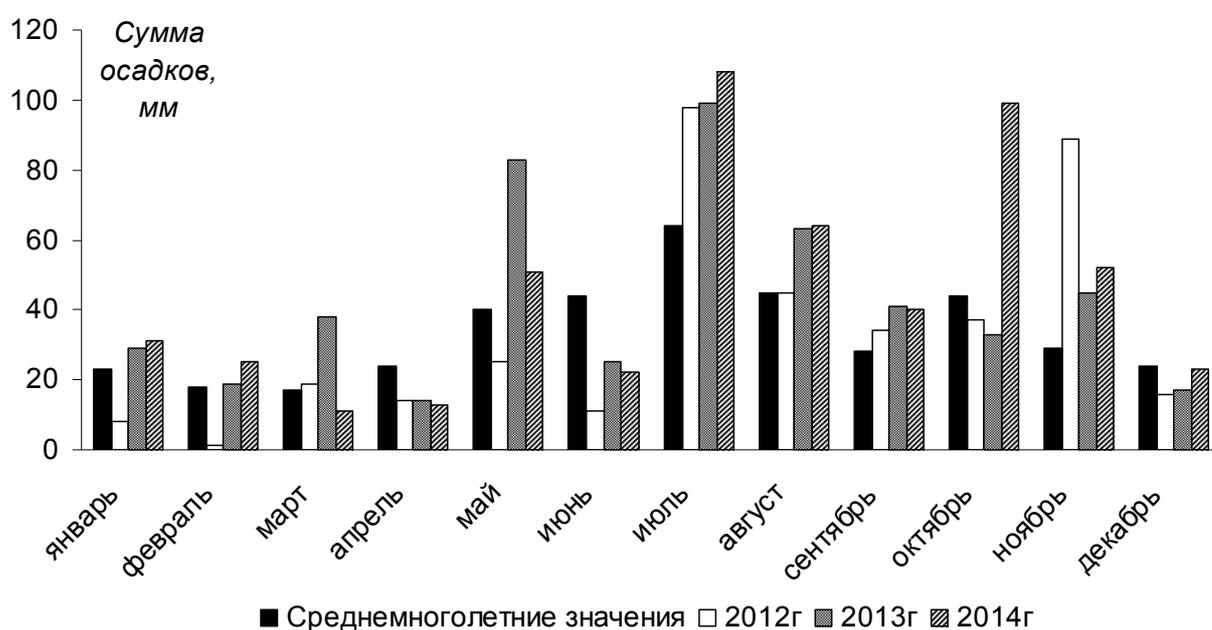


Рис.3. Среднемесячное количество осадков в годы проведения исследований

Весенний период 2012 г. был недостаточно влагообеспечен. Так в мае и июне осадков выпало 25 мм и 11 мм соответственно, что на 15 мм и 33 мм

меньше среднемноголетних значений. Однако в июле осадки (больше на 34 мм среднемноголетних значений) частично восполнили дефицит влаги. «Исключительно жарким оказался летний период, когда среднемесячная температура в июне, июле и августе составляла 22,6°С; 22,4°С и 18,3°С, что выше среднемноголетней на 4,8°С; 3,0°С и 1,6°С соответственно. Максимальная температура воздуха достигла 33,5°С и зафиксирована в июле. Сумма активных температур более 5°С составила 2685°С, более 10°С – 2055°С. Последний весенний заморозок в воздухе был зафиксирован 10 мая и составил -2,5°С, на поверхности почвы -6,0°С. Первый осенний заморозок отмечен 11 октября и составил – -3,6°С в воздухе и -8,5°С на поверхности почвы. Длина безморозного периода составила 153 дня (с 10 мая по 11 октября) Шматова, 2014».

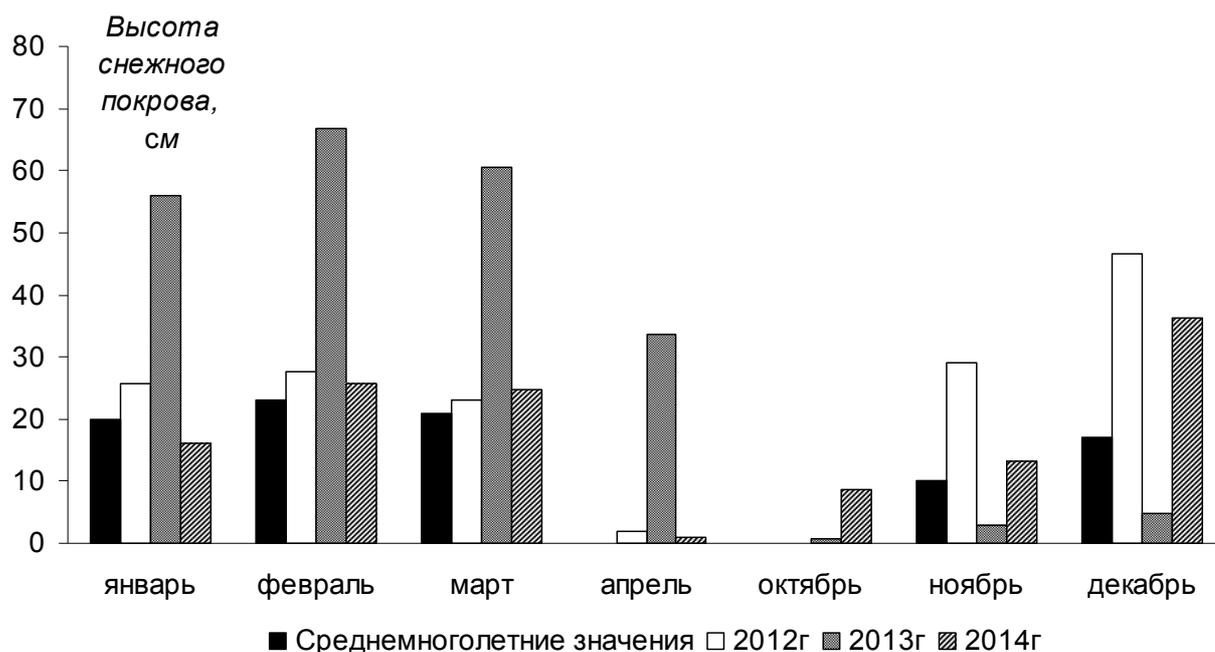


Рис.4. Среднемесячная высота снега в годы проведения исследований.

В зимний период 2012-2013 гг сложились экстремальные погодные условия, сильно отличающиеся от среднемноголетних значений. Так в ноябре выпало 89 мм осадков в виде снега, что на 60 мм больше среднемноголетних значений. В январе, феврале и марте с количество выпавших осадков превышало среднемноголетние на 6, 1 и 21 мм, что вызвало значительное

повреждение кустарниковых растений снеголомами. При этом максимальная высота снежного покрова отмечена на уровне 67 см. Низкие температуры в декабре, когда среднемесячная температура воздуха составила -22°C (минимум -41°C), что на 9°C ниже среднемноголетнего значения не оказали отрицательного воздействия на перезимовку растений, что обусловлено высоким уровнем снега, обладающего теплоизолирующими свойствами.

Вегетационный период 2013 года был недостаточно теплообеспечен, когда среднемесячные температуры в мае, июне и июле были ниже среднемноголетних значений на 1,6; 2,0 и $0,4^{\circ}\text{C}$ соответственно, при этом максимальная температура воздуха достигла $33,5^{\circ}\text{C}$ и была зафиксирована в июле. Сумма активных температур более 5°C составила 2103°C , более 10°C – 1585°C . Последний весенний заморозок в воздухе был отмечен 20 апреля ($-0,2^{\circ}\text{C}$) и на поверхности почвы 16 мая ($-0,3^{\circ}\text{C}$). Первый осенний заморозок отмечен 13 сентября и составил $-0,5^{\circ}\text{C}$ в воздухе, а на поверхности почвы 8 сентября $-1,0^{\circ}\text{C}$, при этом длина безморозного периода составила 145 дней (с 20 апреля по 13 сентября). За данный период осадков выпало больше среднемноголетних значений, в мае на 58 мм осадков выпало 106,0 мм, что на 66,0 мм больше среднемноголетних значений. В июне, июле и августе выпало 54,9; 154,7 и 62,7 мм, что на 10,9; 90,7 и 17,7 мм больше среднемноголетних значений соответственно.

Зимние осадки периода 2013-14гг выпали в октябре 2013г., при этом в ноябре зафиксировано превышение суммы осадков на 16 мм среднемноголетних значений, а в декабре уменьшение на 7 мм. В январе и феврале 2014 г. их отмечено увеличение значений на 8 и 7 мм., чем среднемноголетние. Максимальная высота снежного покрова составила 41 см. Значения температуры воздуха зимой за данный период превышали среднемноголетние значения на $6,4^{\circ}\text{C}$, 1°C в декабре и январе. В феврале среднемесячная температура составила $-18,8^{\circ}\text{C}$, что на $3,6^{\circ}\text{C}$ ниже

средненоголетней. Минимальная температура воздуха достигала $-36,5^{\circ}\text{C}$ в феврале. Летних осадков в апреле и июне выпало меньше нормы на 11 мм и 22 мм, что компенсировалось увеличенными значениями в мае и июле на 11 и 44 мм соответственно, и их оказалось достаточно для удовлетворительного роста и развития растений.

Весенние среднемесячные температуры апреля и мая были выше на $4,6^{\circ}\text{C}$ и $3,9^{\circ}\text{C}$ средненоголетних значений, а в течение периода вегетации на уровне с небольшим недостатком тепла в мае и сентябре. Максимальная температура воздуха достигала $35,9^{\circ}\text{C}$ и была зафиксирована в июле и чуть меньшими значениями в июне и августе.

Таким образом, погодные условия в годы проведения исследований внесли определенные различия в рост и развитие ягодных культур, а также существенно отразились на процессах аккумуляции и распространения тепла и влаги в почве.

3.2. Биологические особенности исследуемых ягодных культур

На распространение ягодных пород, а также их сортов по регионам влияют климатические условия. При определении пород и сортов плодово-ягодных культур, выращиваемых в условиях сибирского климата, учитывается их приспособленность к короткому вегетационному периоду, глубокому промерзанию почвы зимой и медленному оттаиванию весной (Рыжков, 1993). Поэтому одними из наиболее распространенных ягодных культур в нашем регионе считаются жимолость, облепиха, смородина черная, малина.

Все сорта облепихи алтайской селекции принадлежат одному подвиду – *Hippophae rhamnoides sbsp. mongolica* (Rousi, 1971), представляющему собой колючий кустарник или небольшое дерево и в диком виде имеющее довольно широкий ареал распространения. «Ее родина Азия, откуда растения переселились в Европу. Облепиха относится к семейству лоховых (*Elaeagnaceae*),

растет в совершенно различных природно-климатических зонах, сравнительно пластична и нетребовательна к гидротермическим условиям (Барыкина, 1970; Пентегов, 1983)». В настоящее время облепиха (*Hippophae rhamnoides L.*) рассматривается как одна из ведущих культур для садоводства, получившая широкое распространение в Сибири, в частности на Алтае, а также за рубежом. Это обусловлено ее высокой зимостойкостью, обильным ежегодным плодоношением, богатейшим биохимическим составом плодов, умеренным требованиям к плодородию почвы, доступной агротехникой и целым рядом других преимуществ (Базарон, Цибилова, 1978; Калинина, 1993; Кудрук, 1998; Турецкова, Азарова, 1998; Шматова, 2014).

Молодые растения, как правило, имеют центральный проводник и соподчиненные ему боковые ветви. Крону куста составляют ветви разного возраста. У однолетних побегов за один вегетационный период бывает 2-3 периода роста, поэтому обычно могут вырасти боковые побеги второго и третьего порядков ветвления. «Листья облепихи очередные короткочерешковые, линейные или линейно-ланцетные, длиной 3-8 см, шириной 0,3-0,9 см. Плоды облепихи желтого, оранжевого реже красного цвета, шаровидной или эллипсоидной формы, 0,4-1,0 см длины, ароматные с сочной мякотью и относительно крупной косточкой (Матафонов, 1983)». Растение получило свое название из-за того, что ягоды растут достаточно плотно, «облепляют» ветви.

«Корневая система облепихи располагается поверхностно, так в верхнем слое почвы глубиной до 10 см сосредоточено 15-25 % корней, а основная масса корней облепихи (77 %) находится в слое 0-40 см, и лишь малая часть в нижних слоях почвы до глубины 1,5-2,0 м. Корни имеют вид длинных плетей со слабо развитой мочкой, при этом преобладают корни с диаметром 1,3 мм и менее, на их долю приходится 71 % общей длины корней. Однако по массе преобладают корни диаметром более 5 мм (56 % от всей массы). Около 70 %

корней облепихи находится в радиусе 1 м от штамба (Пантелеева, 1970; Хабаров 1989; Трунов и др., 1998; Михайлова, 2005)», при этом критическая температура почвы, при которой они вымерзают, равняется $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Васильченко, 1978; Пантелеева, 2006).

Для прохождения фенофаз у облепихи важное значение имеют не экстремумы, а длительность воздействия температур воздуха. Так распускание почек происходит при сумме эффективных температур $111\text{-}204\text{ }^{\circ}\text{C}$, для начала цветения - $192\text{-}204\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для массового цветения $192\text{-}318\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ермаков, Фаустов, 1983; Михеев, Деменко, 1990), при этом облепиха является светолюбивым растением.

«Облепиха хорошо растет и плодоносит на легких супесчаных, водо- и воздухопроницаемых, плодородных, богатых солями фосфора почвах, но плохо переносит плотные глинистые почвы с недостаточным увлажнением. Однако, облепиха может произрастать и на довольно бедных песчаных почвах и, кроме того, переносит карбонатность почв (Гатин, 1963; Матафонов, 1983; Ермаков, Фаустов, 1983; Трофимов, 1988; Хабаров, 1989; Симоненко и др., 2003). Урожайность облепихи не зависит от содержания азота в почве, поскольку фиксируемый облепихой азот в достаточном количестве поступает в растение, не накапливаясь в почве. В то же время наблюдается слабый рост облепихи там, где содержание подвижных форм фосфора в почве незначительно (Гатин, 1963; Предеина, 1985; Михайлова, 2005)».

Облепиха, по степени снегонакопления среди садовых культур, входит в число наиболее снегонакапливающих растений (Хабаров, 1999), а урожайность весьма устойчива по годам, однако значительные колебания этого показателя в некоторые годы все же бывают (Васильченко, 1970; Трофимов, 1988; Фефелов, Смертин, 2006), что связано с воздействием экстремальных погодных условий на урожайность облепихи. При этом для формирования урожая основными лимитирующими факторами являются влажность, температура воздуха и почвы

(Мочалов, 1973; Ермаков, Фаустов, 1983; Фефелов, 1985; Хабаров, 1991; Скуридин, 1999; Федотов, 2005).

Также довольно широкое распространение в Алтайском крае имеет жимолость съедобная, которая относится к роду жимолость *Lonicera L.*, семейству жимолостных *Caprifoliaceae Vent.* Данная культура скороплодна, так плоды жимолости съедобной созревают рано (как правило, вторая половина июня), что увеличивает срок потребления свежих продуктов плодовоговодства. Жимолость обладает регулярным плодоношением, и при этом, обладает высокой зимостойкостью.

«В ягодах содержится до 13,2% сахаров, 3,1% кислот, 46,8-64,5 мг % аскорбиновой кислоты, 19 % сухих веществ, 1,64 % пектиновых веществ. Кусты жимолости вырастают до 1-1,5 м; продолжительность жизни кустов около 20 лет, ветви имеют серо-бурую и желто-бурую окраску. Вегетировать жимолость начинает рано, а рост побегов совпадает с началом цветения и зависит от температуры воздуха и влажности почвы, а заканчивается при созревании плодов (Лёвин, 2003)».

Хорошую перезимовку растений в значительной мере определяет именно то, что рост побегов и созревание плодов происходит раньше, чем у других плодово-ягодных растений и даже при снижении температуры в период цветения до -5...-7 °С бутоны и цветки не гибнут. Одним из недостатков культуры является медленное нарастание урожая, а после созревания ягоды быстро осыпаются, однако, в настоящее время выведен неосыпающийся сорт жимолости Берель.

Основная масса корней растений находится в горизонте 0-50 см, а в целом корневая система осваивает слой почвы 80-100 см. Отрицательное воздействие на состояние жимолости оказывает подтопление грунтовыми водами, оно выражается в том, что кусты растения суховершинят, прекращается плодоношение. Жимолость, как и облепиха – светолюбивое растение. В случае

затенения эта культура либо слабо плодоносит, либо полностью прекращает плодоношение.

В связи с тем, что рассмотренные культуры в садах Алтая и Сибири имеют широкое распространение, особую актуальность приобретает усовершенствование технологии их возделывания, всестороннее исследование условий роста плодовых растений в, систематические наблюдения за гидротермическим режимом и балансом тепла в почве, а также за состоянием растений (Васильченко, 1978).

ГЛАВА IV. ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ САДА

4.1. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного

Почвенно-физические факторы оказывают довольно значительное влияние на гидрофизические свойства почвы: капиллярно-сорбционное давление (матричный потенциал) почвенной влаги и коэффициент влагопроводности. С влагой связаны важнейшие биологические и абиотические процессы, протекающие в почве и определяющие развитие почвообразования и плодородия. «Черноземы Приобского плато Алтайского края в связи с резкой континентальностью климатических условий отличаются небольшой мощностью, сравнительно невысокой гумусностью, слабой водопроходной структурой (Бурлакова, 1984)».

Исследуемая почва: чернозем выщелоченный среднесуглинистый малогумусный среднесуглинистый.

Морфологическое описание разреза:

Горизонт А – 0-20 см – сухой, темно-серый, слабоуплотненный, пронизан корнями, среднесуглинистый, тонкопористый, зернисто-комковатый, гумусовые вещества, в нижней части кремнезем, переход ясный.

Горизонт АВ – 20-50 см – свежий, среднесуглинистый, уплотненный, комковатый, отдельные корни, в том числе древесных растений, гумусовые вещества, кремнезем, буро-серый, переход постепенный.

Горизонт В – 50-97 см – неоднородный, бурый, в верхней части буро-серый, гумусовые затеки, единичные корни, свежий, среднесуглинистый, уплотнен, комковатый и ореховатый, переход резкий по вскипанию.

Горизонт Ск > 97 см – влажный, светло-бурый, палевый, комковатый и ореховатый, тяжелосуглинистый, карбонаты, псевдомицелий.

В таблице 1 приведено процентное содержание разных фракций почвенных частиц в определенных слоях почвенного профиля.

Таблица 1

Гранулометрический состав чернозема выщелоченного (по Н. А. Качинскому).

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций от абсолютно-сухой почвы, %						
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	Сумма фракций < 0,01
А	0-20	0,49	22,60	37,51	7,56	10,92	20,92	39,40
АВ	20-50	0,55	26,38	35,90	6,85	9,21	21,11	37,17
В	50-97	0,51	14,64	43,91	5,84	7,85	27,25	40,94
С _к	> 97	0,34	29,80	25,96	6,45	12,14	25,31	43,90

Данные таблицы показывают, что чернозем выщелоченный имеет среднесуглинистый, близкий к тяжелосуглинистому иловато-крупнопылеватый гранулометрический состав. Гранулометрический состав почвенных горизонтов чернозема достаточно однороден по всем фракциям. Содержание глинистых частиц в горизонте А составляет 39 %, песчаной фракции 23 %. Довольно значительна доля крупной пыли (37 %), что говорит о преобладании данной фракции над остальными. Это связано с тем, что почвообразующие породы представлены лессовидными суглинками, для которых характерно высокое содержание данной фракции. Максимальное ее количество отмечается в горизонте В. В составе крупных фракций (0,01-1,00 мм) преобладают кварц (39 %) и полевые шпаты (26 %). Исследованный чернозем содержит значительное количество илистых частиц (от 21 до 27 %), состоящих из гидрослюд и монтмориллонита. Значительное содержание крупной пыли определяет слабую

водопроницаемость (18 мм за 1 час) чернозема на опытном участке (Михайлова, 1993). Почвообразующая порода несколько отличается от других почвенных горизонтов и относится к тяжелосуглинистой по гранулометрическому составу, в основном за счет меньшего содержания фракции мелкого песка и повышенного – мелкой пыли.

Водопрочная пористая микроструктура с наиболее ценными микроагрегатами (0,25-0,01 мм) оказывает благоприятное влияние на водно-физические свойства почв. В таблице 2 приведены результаты микроагрегатного анализа чернозема выщелоченного по генетическим горизонтам.

Таблица 2

Микроагрегатный состав чернозема выщелоченного (по Н.А. Качинскому)

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций от абсолютно-сухой почвы, %						Фактор дисперсности, %
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,010-0,005	0,005-0,001	< 0,001	
А	0-20	1,26	25,13	65,01	4,36	2,42	1,79	8,6
АВ	20-50	1,14	21,27	71,82	2,17	2,36	1,24	5,9
В	50-97	1,85	34,12	57,31	3,53	2,01	1,16	4,3
С _к	> 97	2,01	22,16	64,84	4,15	4,26	2,58	10,2

Микроагрегаты размером 0,010-0,005 мм затрудняют водо- и воздухопроницаемость, способствуют повышению испаряющей способности почв. Как видно из таблицы 2, основная доля представлена наиболее ценными в агрономическом отношении микроагрегатами, при этом большее содержание зафиксировано для размеров 0,05-0,01 мм. С глубиной наблюдается

перераспределение этих фракций, так в горизонте АВ отмечено увеличение фракций 0,05-0,01 мм в сравнение с пахотным горизонтом. Количество менее ценных частиц в черноземах незначительно (от 4 до 8 %) и они представлены размером 0,010-0,001 мм. Результаты микроагрегатного анализа свидетельствуют о высокой степени агрегирования изучаемого чернозема выщелоченного.

Величина фактора дисперсности (по Н.А. Качинскому) в гумусовом горизонте чернозема выщелоченного составляет 6-8 %, что указывает на его высокую микрооструктуренность, в то время как горизонт С_к менее агрегирован (микроструктура менее прочная), коэффициент дисперсности достигает 10 %. Л.М. Бурлакова (1988) отмечала, что хорошая способность к микроагрегированию черноземов выщелоченных определяется значительным количеством ила (Бурлакова и др., 1988).

Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает с 1 г/см³ в пахотном горизонте до 1,4 г/см³ в почвообразующей породе (рис.5). По содержанию гумуса в верхнем гумусо-аккумулятивном горизонте исследуемый чернозем относится к малогумусным. Гумусовый горизонт (А+АВ) простирается до глубины 50 см. Содержание гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте находится в пределах 5%, затем убывает до 1,9% в иллювиальном горизонте, с дальнейшим уменьшением до 0,6%.

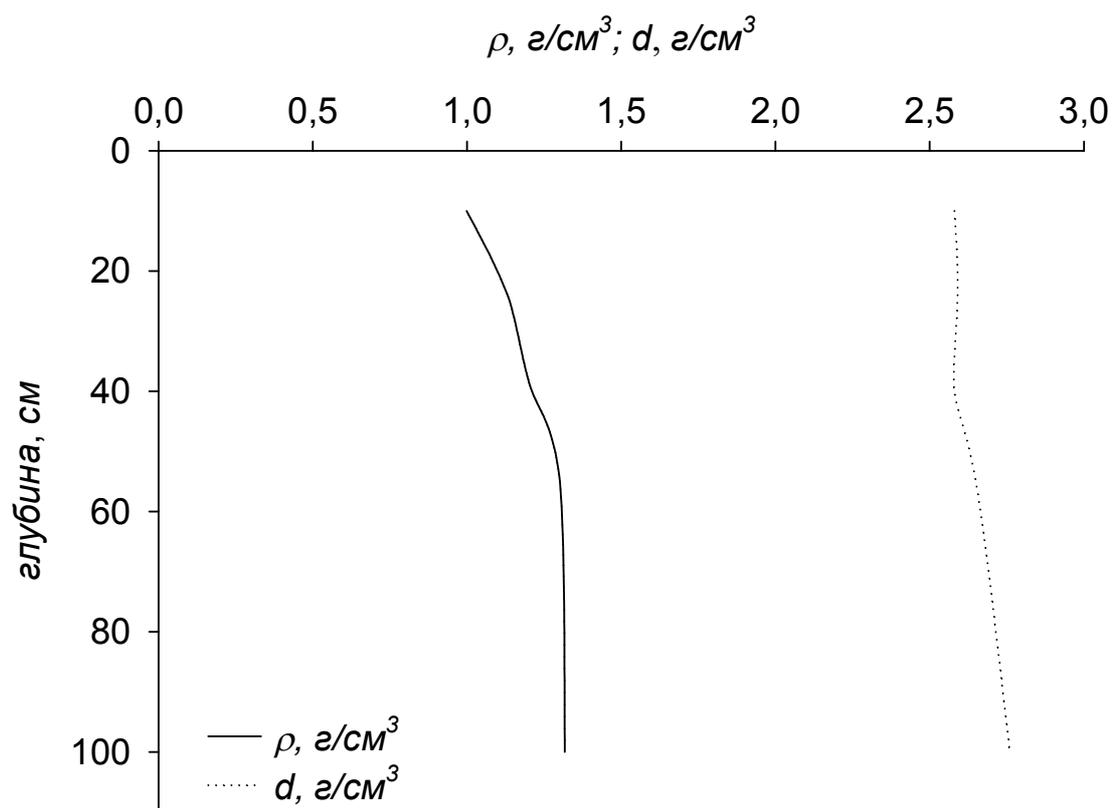


Рис.5. Профильное распределение плотности сложения и плотности твердой фазы в черноземе выщелоченном.

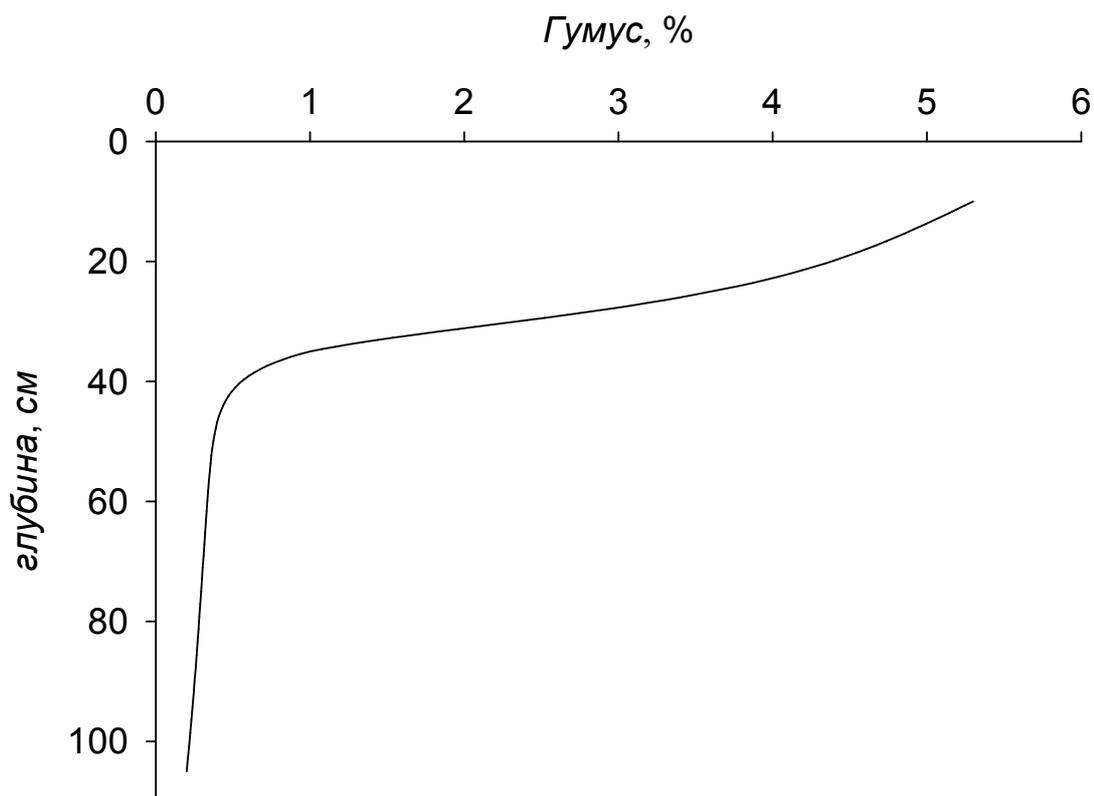


Рис.6. Профильное распределение содержания гумуса в черноземе выщелоченном.

«Реакция почвенного раствора для верхних горизонтов составляет 6,3 – 6,7, что говорит о его нейтральности; с увеличением глубины наблюдаются изменения и реакция становится слабощелочной: $pH = 7,6-8,0$. В составе поглощенных катионов преобладает кальций во всем почвенном профиле (Гефке, 2008)».

Отмеченные особенности распределения гранулометрических элементов, количества гумуса и плотности по почвенным горизонтам определяют характер дифференциации гидрофизических характеристик почвенной толщи чернозема.

4.2. Гидрофизические свойства исследуемой почвы.

4.2.1. Основная гидрофизическая характеристика

К гидрофизическим функциям (характеристикам) почв относятся зависимость капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги ($P_{к-с}$) от ее содержания в почве, обычно называемая основной гидрофизической характеристикой (ОГХ), и зависимость коэффициента влагопроводности ($K_{вл}$) от влажности почвы или давления почвенной влаги. Теоретическому обоснованию структурно-функционального значения этих основных гидрофизических функций посвящены работы А.Д. Воронина (1986), А.М. Глобуса (1987), И.И. Судницына (1979) и др. Для расчетных методов определения основных гидрофизических функций часто используют традиционные гидрологические свойства, например, коэффициент фильтрации. Методам определения коэффициента фильтрации посвящено большое количество работ, обзор которых приведен в работе (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Исследования гидрофизических свойств почвенного профиля проводились на образцах ненарушенного сложения, имеющих форму цилиндра. Данные образцы отбирались в разрезе с различных глубин, что позволило выявить распределение гидрофизических характеристик в почвенном профиле. При этом изучалось изменение капиллярно-сорбционного давления и коэффициента влагопроводности в зависимости от объемной влажности почвы, а также зависимость коэффициента влагопроводности от капиллярно-сорбционного давления.

В данной работе определены ветви иссушения гистерезисной петли ОГХ, т.к. в естественных условиях в почвах обычно быстро протекающий процесс их увлажнения (при осадках или поливах) сменяется сравнительно длинным периодом иссушения (Воронин, 1986). Рисунок 7 позволяет провести сравнение гидрофизических свойств отдельных почвенных горизонтов. Полученные экспериментальные ОГХ (кривые водоудерживания) $P(\kappaПа) = f(\theta)$ для

основных диагностических горизонтов чернозема выщелоченного под ягодными культурами в условиях Алтайского Приобья аппроксимированы функцией ван-Генухтена (сплошная линия) и представлены в полулогарифмическом масштабе (рис.7). Аппроксимация проведена в программном пакете *RETC* (van Genuchten et al., 1991).

Области перехода воды из одной категории в другую (по А.Д. Воронину) зависят от физических и физико-химических свойств почв. Величины соответствующих им капиллярно-сорбционных давлений, расположенных на пересечении ОГХ и секущих Воронина, при переходе от материнской породе к пахотному горизонту по мере увеличения содержания гумуса и уменьшения плотности сложения и, несмотря на утяжеление гранулометрического состава, смещаются в сторону увеличения. При этом происходит смещение кривых ОГХ вправо, в область больших влажностей. Вид кривых водоудерживания среднесуглинистых почв имеют выположенную S-образность с дифференциацией по горизонтам в области капиллярной и гравитационной влаги (рис.7), что объясняется изменением содержания гумуса и плотности сложения в совокупности с изменением содержания гранулометрических фракций по профилю.

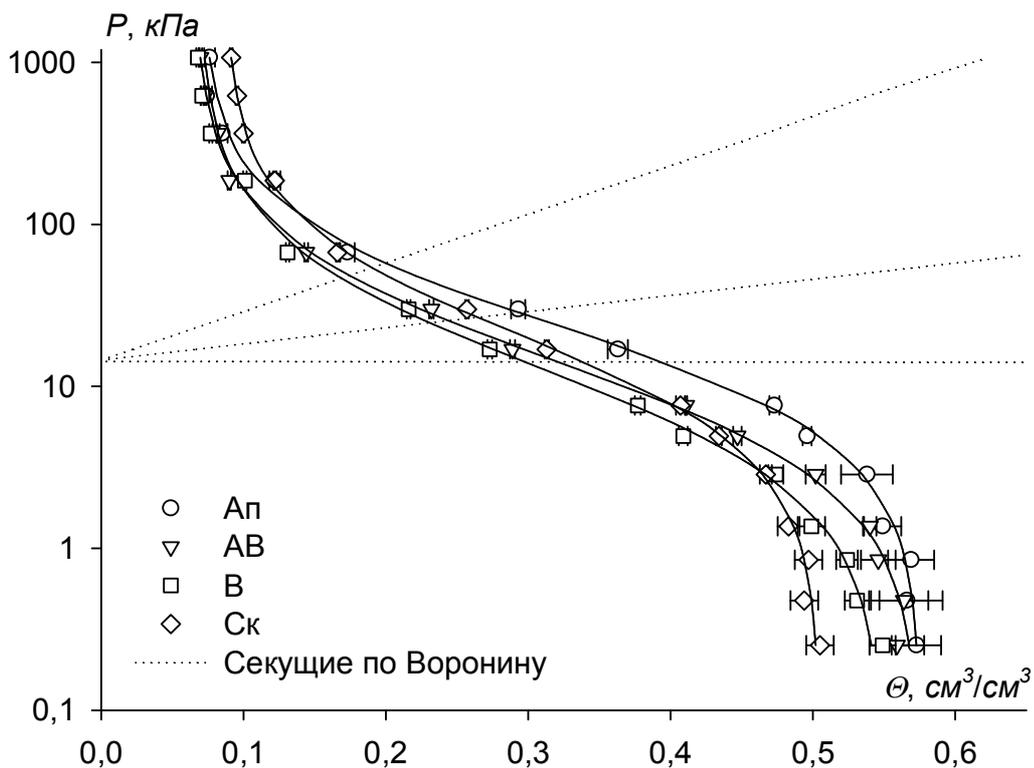


Рис.7. Основная гидрофизическая характеристика чернозема выщелоченного под ягодными культурами.

Из рисунка видно, что максимальная водоудерживающая способность характерна для верхнего горизонта, а его кривая водоудерживания в области капиллярной и пленочно-капиллярной влаги расположена на некотором расстоянии от переходного к иллювиальному горизонту. Однако в области гравитационной влаги кривые водоудерживания горизонтов Ap и AB расположены достаточно близко и имеют практически одинаковые значения давления почвенной влаги. Анализ данного факта позволяет сделать практически важный вывод о физической деградации пахотного горизонта междурядий в условиях сада. Вниз по профилю почвы кривые ОГХ, кроме ОГХ гор.Ск, смещаются в сторону меньших влажностей, не пересекаясь друг с другом вплоть до перехода пленочно-капиллярной малоподвижной влаги в пленочную. В целом кривые водоудерживания чернозема выщелоченного в условиях ягодного сада имеют выраженную S-образность с дифференциацией

по профилю вплоть до верхнего предела иссушения (1000 кПа) с перегибом в области давления барботирования, имеющей довольно широкий диапазон (1-10 кПа) по сравнению с более легкими почвами Алтайского края (Болотов с соавт., 2014).

Следует отметить, что с помощью подхода А.Д. Воронина выявления критических предельно равновесных состояний для средне- и тяжелосуглинистых почв можно достаточно точно оценить переходы влаги из одной категории в другую (Воронин, 1986; Смагин с соавт., 1999; Смагин, 2003). Для исследуемого чернозема из полученной ОГХ рассчитаны давления, соответствующие критическим состояниям влаги: капиллярной влагоемкости (*КВ*, верхний предел пластичности) $P_{кв}$, максимальной капиллярно-сорбционной влагоемкости (*МКСВ*) $P_{мксв}$, максимальной молекулярной влагоемкости (*ММВ*, нижний предел пластичности) $P_{ммв}$ значения которых представлены в таблице 3.

Таблица 3

Критические состояния влаги чернозема выщелоченного под ягодными культурами

Гор	<i>КВ</i>		<i>МКСВ</i>		<i>ММВ</i>	
	$P_{кв}, кПа$	$\theta_{кв}, см^3/см^3$	$P_{мксв}, кПа$	$\theta_{мксв}, см^3/см^3$	$P_{ммв}, кПа$	$\theta_{ммв}, см^3/см^3$
Ап	14,7	0,393	29,3	0,288	57,5	0,198
АВ	14,7	0,338	26,8	0,265	54,3	0,190
В	14,7	0,322	25,8	0,244	48,5	0,174
Ск	14,7	0,297	24,7	0,231	46,6	0,168

Максимальные значения критических состояний влаги чернозема выщелоченного свойственны гор. Ап и АВ, далее по профилю эти значения уменьшаются.

Полученные гидрофизические функции можно использовать в динамическом моделировании режима влажности черноземов под ягодными культурами и при описании характеристики пространственной изменчивости гидравлических свойств почвы по всему ландшафту.

4.2.2. Функция влагопроводности

Синхронно с измерением потенциала почвенной влаги были определены функции влагопроводности по зависимости изменения влажности образца от времени при заданной скорости вращения центрифуги. Зависимость остаточной влажности образца от времени при постоянной скорости вращения образца аппроксимированы параболической функцией с применением линейной релаксационной модели предложенной А.В. Смагиным (Смагин, 1998). Полученные функции влагопроводности характеризуют способность почвы проводить поток влаги при изменении капиллярно-сорбционного потенциала.

Приведем экспериментальные зависимости $K_r(\text{см/сут}) = f(P)$ (рис.5-6) для основных горизонтов чернозема выщелоченного в условиях сада (сплошная линия – аппроксимация функцией ван-Генухтена-Муалема).

Отображение функции влагопроводности в логарифмическом масштабе позволяет провести анализ во всем капиллярном диапазоне её изменения (рис.8).

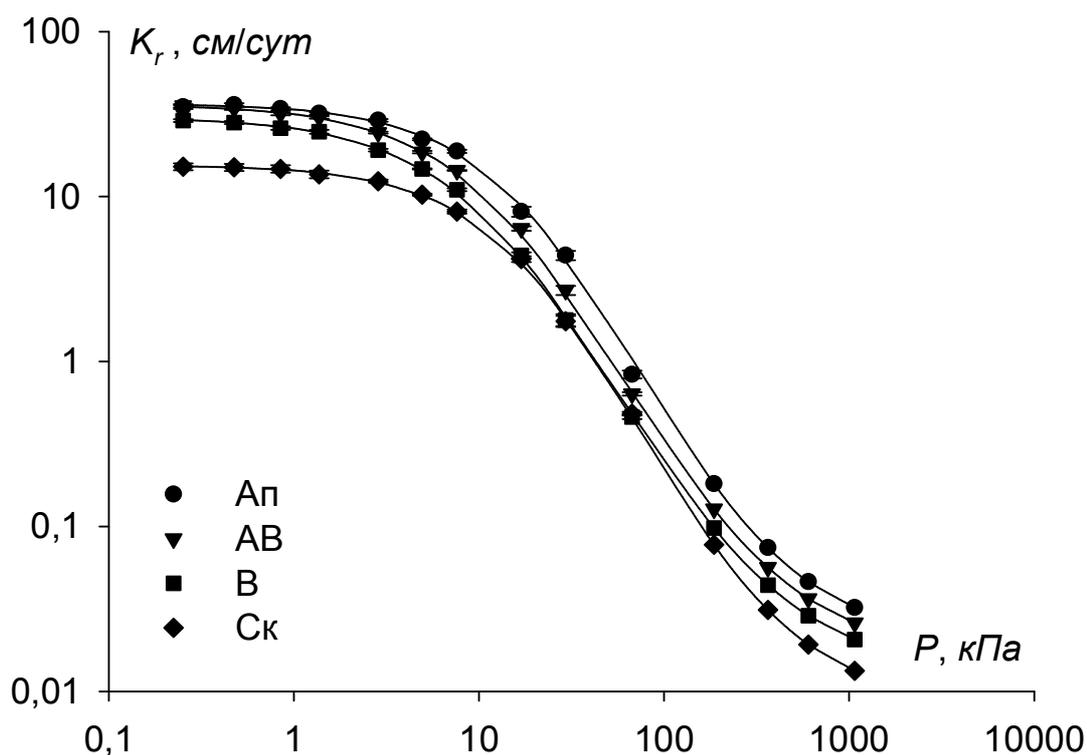


Рис. 8. Функция влагопроводности $K_r(P)$ основных генетических горизонтов чернозема выщелоченного в условиях сада.

Вид функции влагопроводности имеет характерный вид (рис.8), при этом способность почвы проводить поток влаги при уменьшении давления уменьшается на порядки. Так, при уменьшении давления от 0 до -1000 кПа водного столба в исследуемом чернозёме коэффициент влагопроводности уменьшается на 2–3 порядка, от 15–35 до 0,01–0,03 см/сут, что указывает на то, что сухая почва будет проводить воду значительно хуже, чем влажная. Такие явления нередко можно отмечать в почве: при поливах очень высушенной поверхности почвы она некоторое время очень слабо впитывает воду, до тех пор пока не увлажнится её поверхностный слой и влагопроводность возрастет, тогда увеличится и впитывание воды. В диапазоне 0-1 кПа значения коэффициентов влагопроводности пахотного и подпахотного горизонтов, а также иллювиального и почвообразующего горизонтов (диапазон 10-100 кПа) близки по значению, что предопределяет одинаковые особенности

влажнопереноса между этими горизонтами в указанных диапазонах давления почвенной влаги. Также следует учитывать, что при локальных поливах возникает ряд эффектов, связанных с различием давлений влаги в пространстве. Если имеются влажные и сухие зоны (зоны с высоким и низким давлением), то влага преимущественно будет двигаться по влажным участкам, а сухие будут увлажняться медленно, еще некоторое время, оставаясь сухими. Проявление данных особенностей транспортных свойств почвы нужно учитывать при разработке научно-обоснованных технологий, систем орошения и проч. в производственных условиях сада.

Как видно из рисунка 8, влагопроводность исследованной почвы уменьшается при перемещении от пахотного слоя вглубь. Такое поведение, прежде всего, обусловлено изменением содержания тонкодисперсных гранулометрических фракций и структурой почвы.

Рассмотрим коэффициенты влагопроводности при различных энергетических состояниях влаги: θ_r – минимальной влажности почвы, $\theta_{ммв}$ – максимальной молекулярной влагоемкости (нижний предел пластичности), $\theta_{мксв}$ – максимальной капиллярно-сорбционной влагоемкости, $\theta_{кв}$ – капиллярной влагоемкости (верхний предел пластичности), θ_s – влажности полностью насыщенной почвы. При этом видно, что при одинаковой степени увлажнения почвенного профиля наибольшие значения наблюдаются в гор. Ап и АВ, а с глубиной закономерно уменьшаются (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициент влагопроводности генетических горизонтов чернозема выщелоченного при влажностях, соответствующих различным (переходным) состояниям влаги.

Ап					
	θ_r	$\theta_{ммв}$	$\theta_{мксв}$	$\theta_{кв}$	θ_s
$K_r, см/сут$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	1,0	3,8	9,8	34,9
АВ					
$K_r, см/сут$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	1,2	4,6	11,4	34,0
В					
$K_r, см/сут$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,6	2,1	4,8	28,3
Ск					
$K_r, см/сут$	$8,3 \cdot 10^{-7}$	0,2	0,6	1,4	14,9

Воспроизведение функции влагопроводности в полулогарифмических координатах позволяет выделить дифференциацию коэффициента влагопроводности в области капиллярно-гравитационной влаги (близкий к коэффициенту фильтрации) по генетическим горизонтам (рис.9).

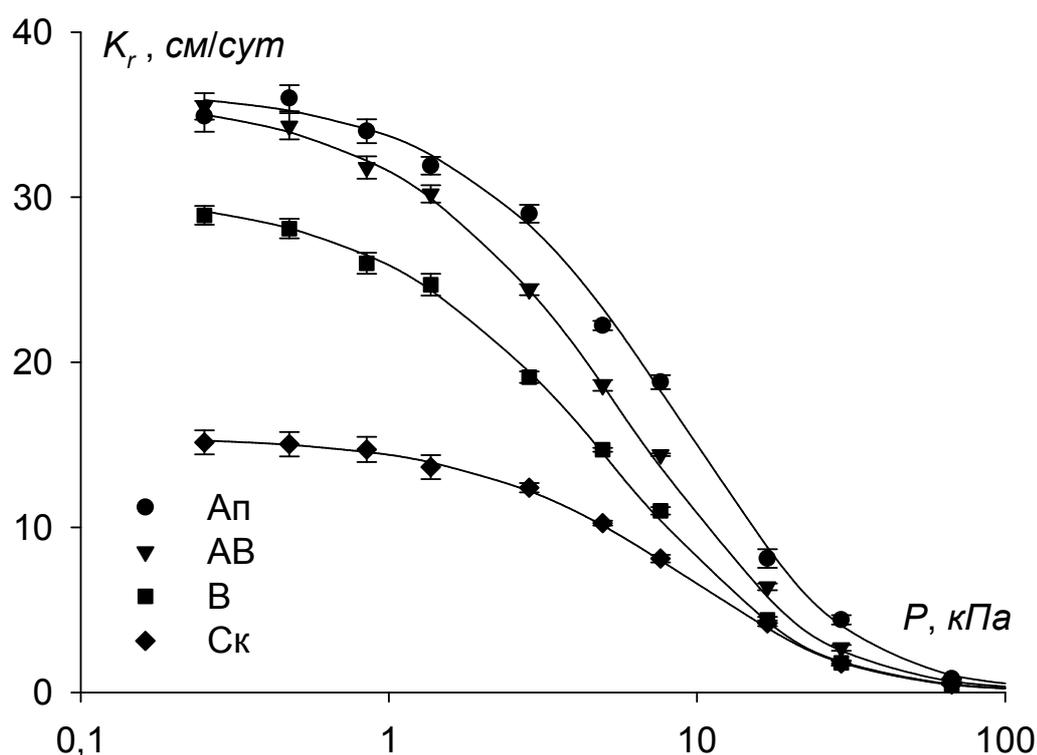


Рис. 9. Функция влагопроводности $K_r(P)$ основных генетических горизонтов чернозема выщелоченного в условиях сада в диапазоне капиллярной влаги.

Анализируя рисунок можно отметить, что при изменении капиллярно-сорбционного давления от 0,25 до 100 кПа в вышеуказанной области влаги коэффициент влагопроводности уменьшается от 35 см/сут до 0,02 см/сут: в гор. Ап $K_r|_{P=0} = 34,8 \text{ см/сут}$; гор. АВ $K_r|_{P=0} = 32,4 \text{ см/сут}$; гор. В $K_r|_{P=0} = 26,9 \text{ см/сут}$; гор. Ск $K_r|_{P=0} = 14,9 \text{ см/сут}$. В области перехода пленочно-капиллярной влаги в пленочно-стыковую, соответствующую ММВ, коэффициенты влагопроводности генетических горизонтов чернозема снижаются до значений 0,02-0,5 см/сут, и при дальнейшем понижении давления влаги составляют сотые доли см/сут.

Используя классификационные градации коэффициента фильтрации почв по Эггельсманну (1984) (цит. по Ф.Р. Зайдельману, 1987, 2004; Теории и методы..., 2007) можно отметить, что гор. Ап, АВ и В относятся к IV (среднему) классу фильтрации, а почвообразующая порода к III (низкому), что

объясняется значительным содержанием крупной пыли. Ранее Н.В. Михайловой (1993) при изучении водных свойств данных черноземов также была отмечена их слабая водопроницаемость. Поэтому черноземы колючей степи имеют наименьшую противозерозионную устойчивость по сравнению с другими зональными почвами, что необходимо учитывать при разработке и закладке новых садов в данной почвенно-климатической зоне.

Сравнение основных гидрофизических характеристик и функций влагопроводности при *ММВ* позволяют найти коэффициенты влагопроводности, обеспечивающие оптимальное увлажнение чернозема под ягодными культурами. Для гор. Ап и АВ его величина составляет 1,6 см/сут, для гор.В – 0,9 см/сут, для гор.Ск – 0,3 см/сут. При значениях коэффициента влагопроводности ниже этих значений в черноземе выщелоченном Алтайского Приобья в условиях сада капиллярный переток влаги от слоя к слою прекращается.

Резюмируя вышесказанное, следует отметить, что при переходе от верхних гумусированных слабоуплотненных горизонтов к почвообразующей более плотной породе коэффициент влагопроводности уменьшается. Полученные результаты позволяют оценить параметры влагопереноса в почвенном профиле в зависимости от глубины, и затем сравнить их динамику под влиянием различных культур в течение вегетации в естественных условиях.

4.2.3. Моделирование гидрофизических свойств

Для использования гидрофизических параметров в имитационном моделировании полученные экспериментальные зависимости $P(\theta)$ и $K_r(P)$ были аппроксимированы функциями ван Генухтена и ван Генухтена-Муалема.

Полученные экспериментальные ОГХ (кривые водоудерживания) $P(\text{кПа}) = f(\theta)$ для основных диагностических горизонтов чернозема выщелоченного под ягодными культурами в условиях Алтайского Приобья аппроксимированы функцией ван Генухтена в программном пакете *RETSC* (van Genuchten et al., 1991) (рис.10).

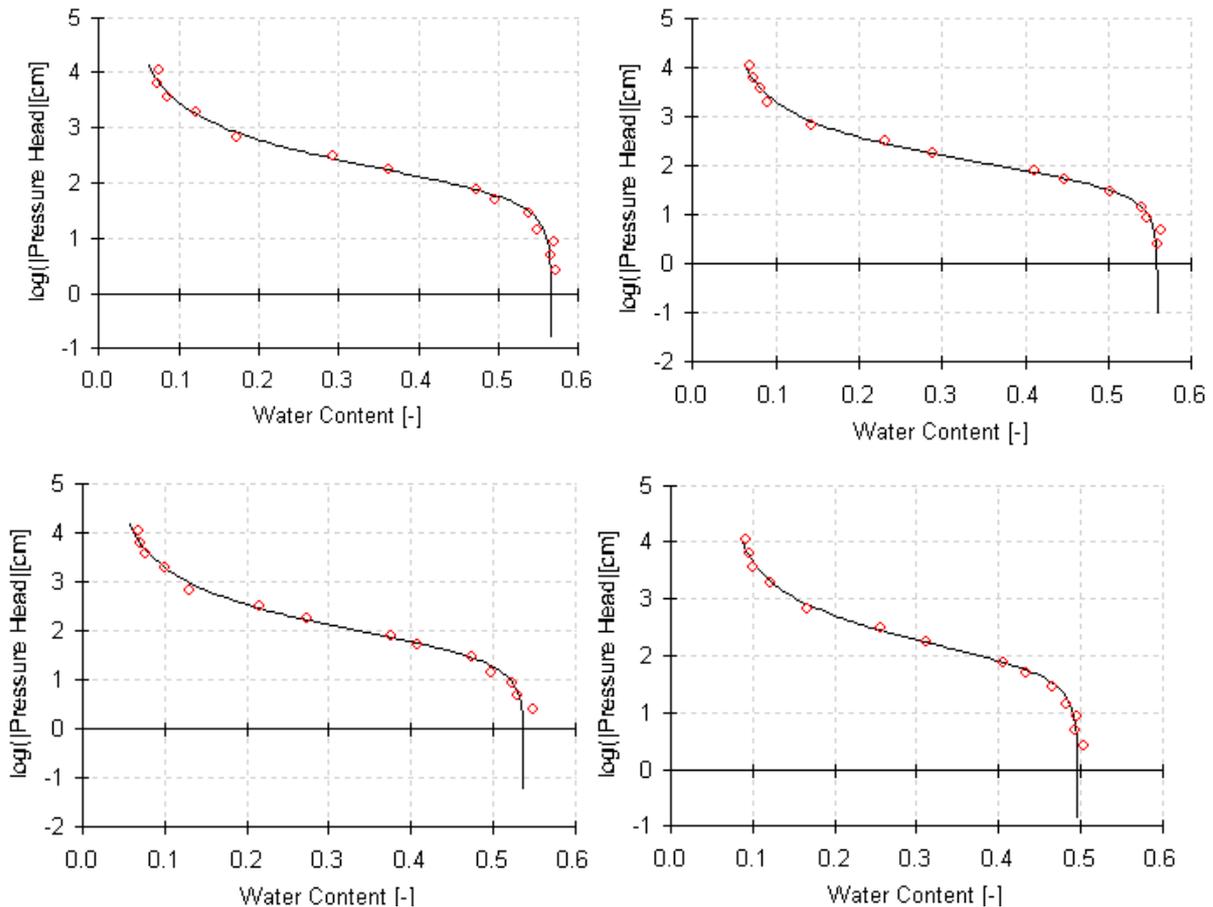


Рис.10. Аппроксимация ОГХ функцией ван Генухтена в *RETSC*.

Полученные аппроксимационные параметры приведены в таблице 5.

Таблица 5

Гидрофизические параметры ван Генухтена чернозема выщелоченного под ягодными насаждениями.

Гори- зонт	$\theta_r,$ $\text{см}^3/\text{см}^3$	$\sigma_{\theta_r},$ $\text{см}^3/\text{см}^3$	$\theta_s,$ $\text{см}^3/\text{см}^3$	$\sigma_{\theta_s},$ $\text{см}^3/\text{см}^3$	$\alpha,$ $1/\text{см}$	$\sigma_\alpha,$ $1/\text{см}^3$	$n, (-)$	σ_n	$K_r,$ $\text{см}/\text{сут}$	$\sigma_{K_r},$ $\text{см}/\text{сут}$
Ап	0,041	0,013	0,566	0,005	0,010	0,001	1,64	0,07	35,2	1,1
АВ	0,043	0,009	0,559	0,005	0,017	0,001	1,63	0,05	32,9	0,9
В	0,037	0,012	0,537	0,006	0,021	0,002	1,56	0,06	26,7	0,7
Ск	0,067	0,008	0,497	0,004	0,011	0,001	1,64	0,05	15,2	0,6

Особенность распределения параметров ван Генухтена по профилю чернозема выщелоченного под ягодными насаждениями показано на рис.11.

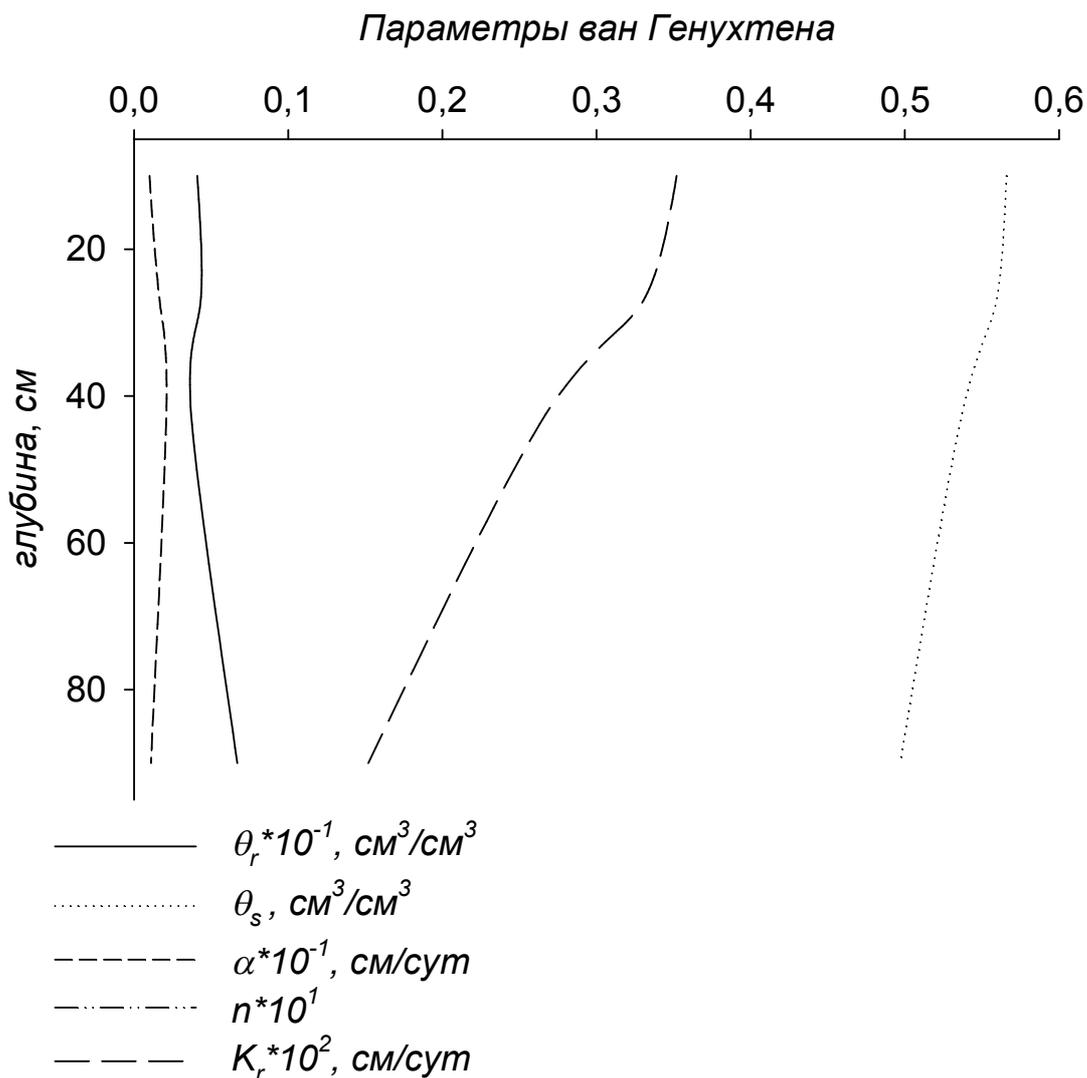


Рис.11. Профильное распределение параметров ван Генухтена для чернозема выщелоченного под ягодными насаждениями.

Как видно из рисунка черноземы под облепиховыми насаждениями имеют аккумулятивный тип распределения параметров θ_r , θ_s и K_r по профилю. Параметр α , обратный величине давления барботирования (входа воздуха) постоянен по глубине. Однако в подпахотном и иллювиальном горизонтах происходит его увеличение по сравнению с пахотным горизонтом и почвообразующей породой. Вероятно, это связано с разрыхляющим действием корней кустарников, при котором давление барботирования уменьшается, а

параметр α увеличивается. Для того, что бы ответить на этот вопрос, нами было проанализировано распределение почвенных пор по размерам (рис.12).

Непрерывный (аналоговый) спектр размера пор определен как первая производная функции обратной ОГХ по потенциалу (давлению) – дифференциальной влагоемкости почвы (Смагин, 2003):

$$V(r) = (n-1)(\theta_s - \theta_r) \rho_b \left(1 + \left(\frac{P}{P_e} \right)^n \right)^{-m-1} \cdot \left(\frac{P}{P_e} \right)^n, \quad (13)$$

где, P , P_e – капиллярно-сорбционное давление почвенной влаги, эквивалентное матричному потенциалу ψ_m , см.вд.ст.; n , m – параметры функции ван-Генухтена.

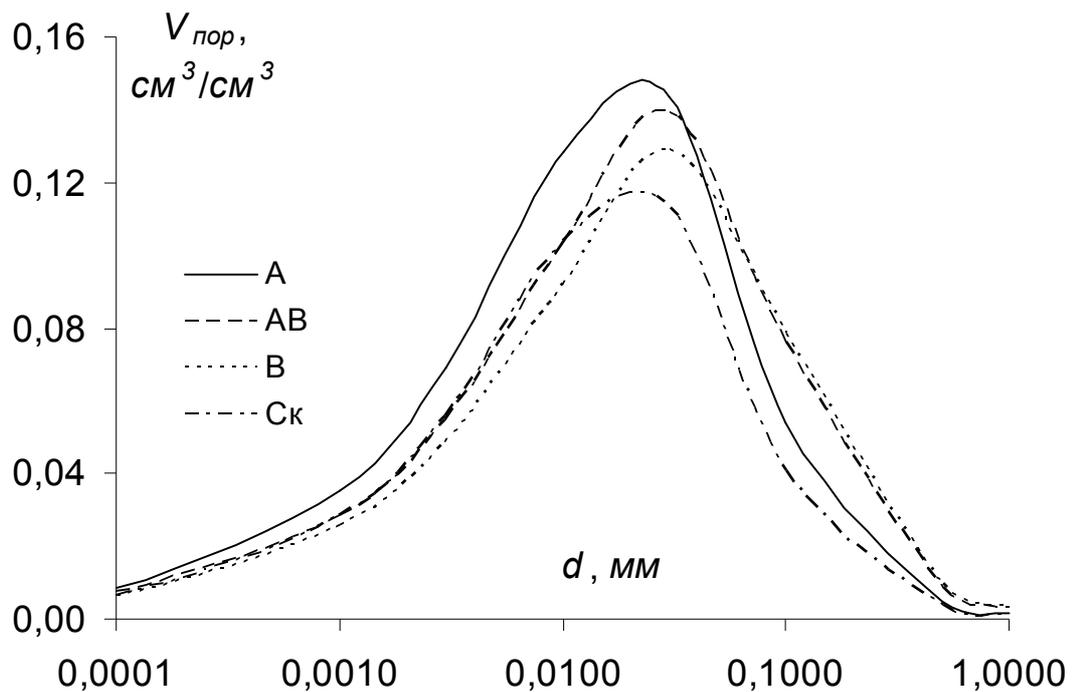


Рис.12. Распределение пор по размерам в черноземе выщелоченном под воздействием облепихи.

Как видно из рисунка кривые гор. АВ и В смещены правее кривых гор. А и Ск в область более крупных пор, что доказывает уменьшение давления барботирования в результате разрыхляющего действия корней облепихи.

Полученные гидрофизические функции и параметры ван Генухтена-Муалема можно использовать в динамическом моделировании режима влажности черноземов под ягодными культурами.

ГЛАВА V. ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД ЯГОДНЫМИ КУЛЬТУРАМИ

5.1. Формирование режима влажности чернозема в период вегетации

Познание закономерностей формирования и проявления режимов влажности в почвах Алтайского Приобья с учетом изменения их гидрофизических, характера напочвенного покрова и ряда других факторов важно в связи с необходимостью разработки научно обоснованных зональных систем и приемов по направленному регулированию водным режимом почв.

На содержание влаги в почве сильное влияние оказывает тип растительности, биологические особенности ягодных культур, поглощение и испарение влаги в активном слое, что определяет динамику влаги в почвенном профиле в течение вегетации.

Наблюдения за динамикой влаги в период с 2012 по 2014 годы нами проводились в НИИСС им. М. А. Лисавенко на вариантах: жимолость, облепиха и пар. Подекадно измерялось массовое содержание влаги с пересчетом в % от наименьшей влагоемкости. Абстрагируясь от фенофаз развития растений, динамику влагосодержания в вегетационный период условно можно поделить на два периода: 1) весенне-летний, когда растения потребляют влагу, накопленную зимой и 2) летне-осенний, когда приход влаги в почве зависит в основном от количества летних и осенних осадков. При этом значения влагосодержания на момент снеготаяния максимальны и в дальнейшем уменьшаются до минимума в июне-июле, а начиная с августа, их значения увеличиваются.

Результаты проведенных измерений представлены на рисунках 13-24.

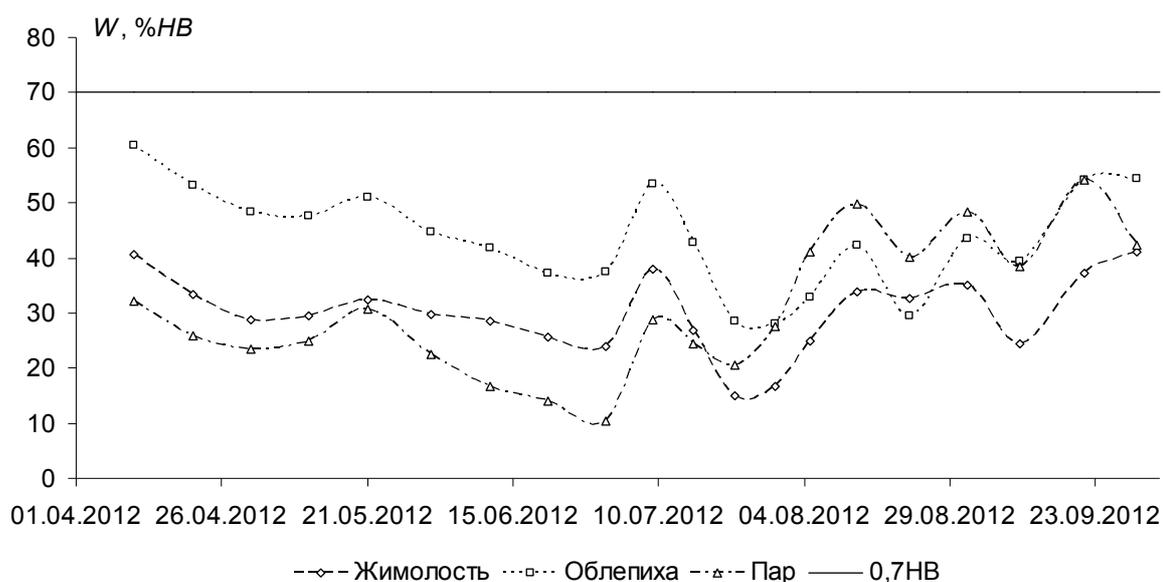


Рис.13 Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. Ап.

В пахотном слое происходит наиболее интенсивный тепловлагообмен, что зачастую приводит к его иссушению. Это может привести к угнетению растений и снижению их продуктивности. Лето 2012 г. было аномально жарким и сухим, ему предшествовали малоснежная зима и с малопродуктивными осадками весна. Поэтому в апреле-мае данного года весеннее влагосодержание в толще чернозема оказалось незначительным и составило 40-60% от НВ под различными культурами. Как видно из рис.13, влажность верхнего горизонта не превышала оптимальный уровень увлажнения, соответствующий 0,7НВ в течение всего периода вегетации 2012 года, несмотря на ливневые дожди в июле. В первой половине вегетации в наибольшей степени была подвержена иссушению парующаяся почва, что связано с особенностями снегонакопления в зимний период 2011-12гг., когда на открытых участках, продуваемых ветрами, высота снежного покрова была незначительна. В гор. АВ нехватка влаги наблюдалась под облепихой, а во второй половине вегетации и под жимолостью, когда влажность в почве в отдельные периоды составляла всего 25-30% от наименьшей влагоемкости (рис.14). Гидротермические условия в

период созревания жимолости существенно влияют на вкусовые качества и химический состав плодов. Так созревание, происходящее в сухую жаркую погоду, ухудшает вкусовые достоинства жимолости, что выражается в появлении в ней горечи.

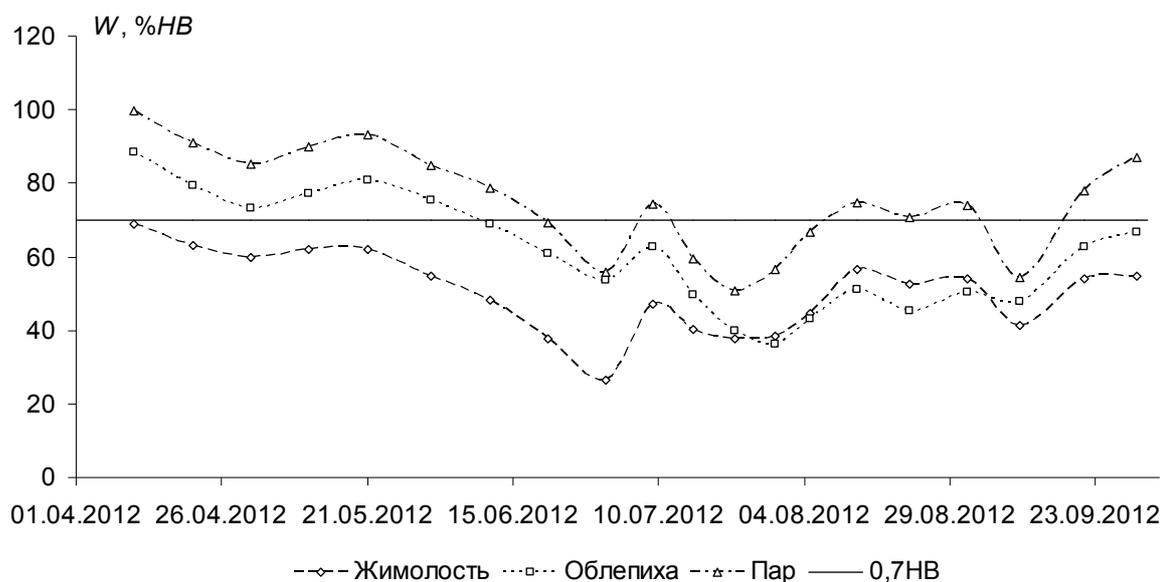


Рис.14. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. АВ.

В иллювиальном горизонте только в пару содержание влаги превышало оптимальный уровень увлажнения и составляло в первый период вегетации 80-100% от НВ (рис.15). Под ягодными культурами практически на протяжении всего вегетационного периода, за исключением весны, наблюдался дефицит влаги, особенно под жимолостью (около 30% от НВ в конце июня). В засушливый 2012 год растения активно потребляли влагу из этого горизонта, в то время как в пару, выполняющем влагоаккумулирующую роль, происходило сохранение и перераспределение капиллярной влаги из других почвенных горизонтов.

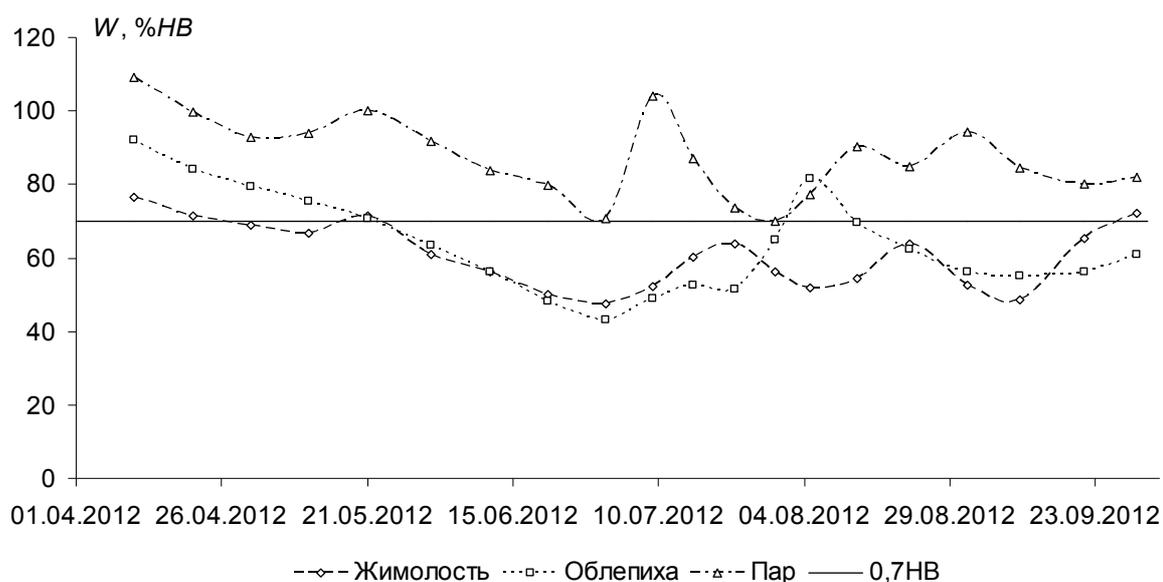


Рис.15. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. В.

В почвообразующей породе также во второй половине вегетации влагосодержание стало ниже уровня 0,7НВ и достигало 50% от наименьшей влагоемкости (рис.16).

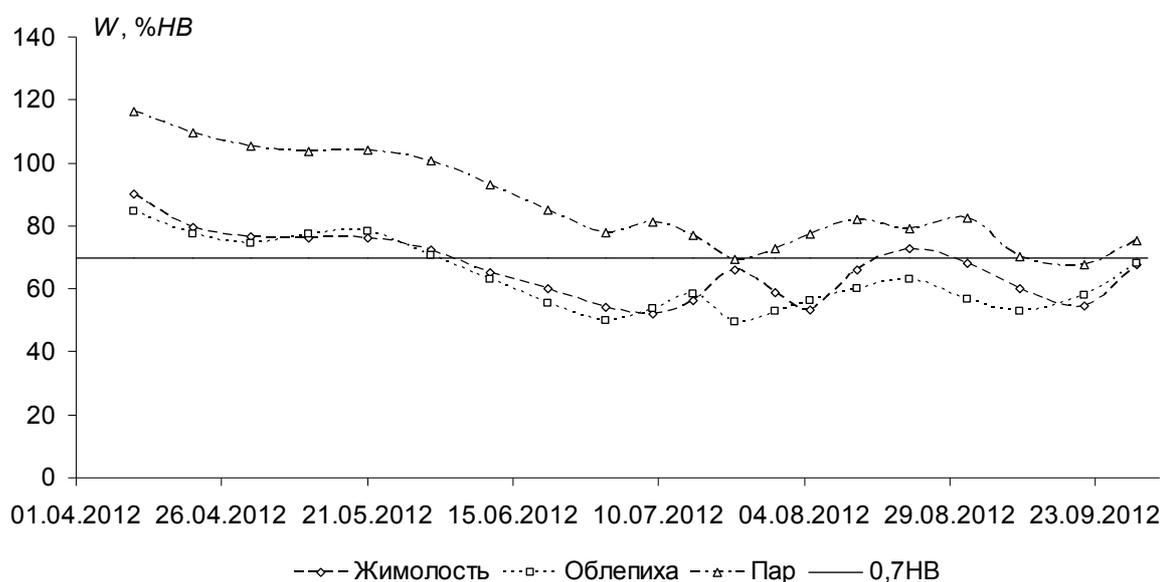


Рис.16. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. Ск.

В 2013 году на момент начала вегетации в почве было накоплено значительное количество влаги за счет обильного выпадения твердых осадков в зимний период 2012-13гг. В итоге было накоплено снега в 2,5-3 раза больше среднегодовой нормы, а высота снежного покрова равнялась 60 см, достигая 1 метра под кустарниковыми насаждениями. Содержание влаги в гумусово-аккумулятивном горизонте (Ап+АВ) под ягодными культурами превышало оптимальный уровень увлажнения и достигало 110-140% от наименьшей влагоемкости на момент начала вегетации (рис.17-18).

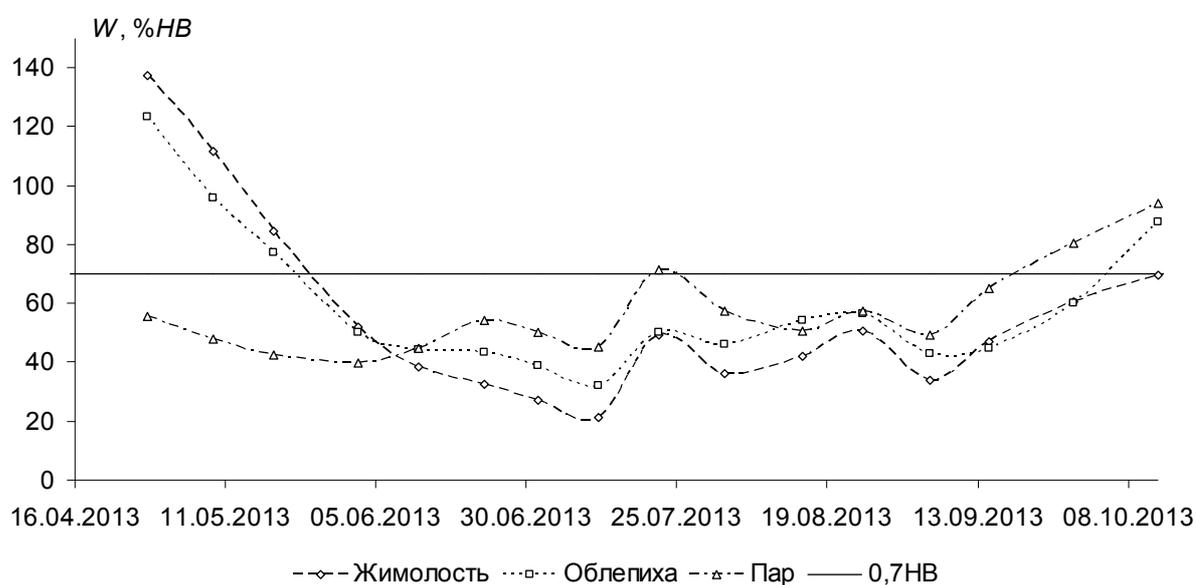


Рис.17 Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. Ап.

Однако, уже на момент цветения и завязи плодов влагосодержание в гор. Ап было ниже уровня 0,7НВ (30% НВ), а в гор.АВ соответствовало ему (рис.18).

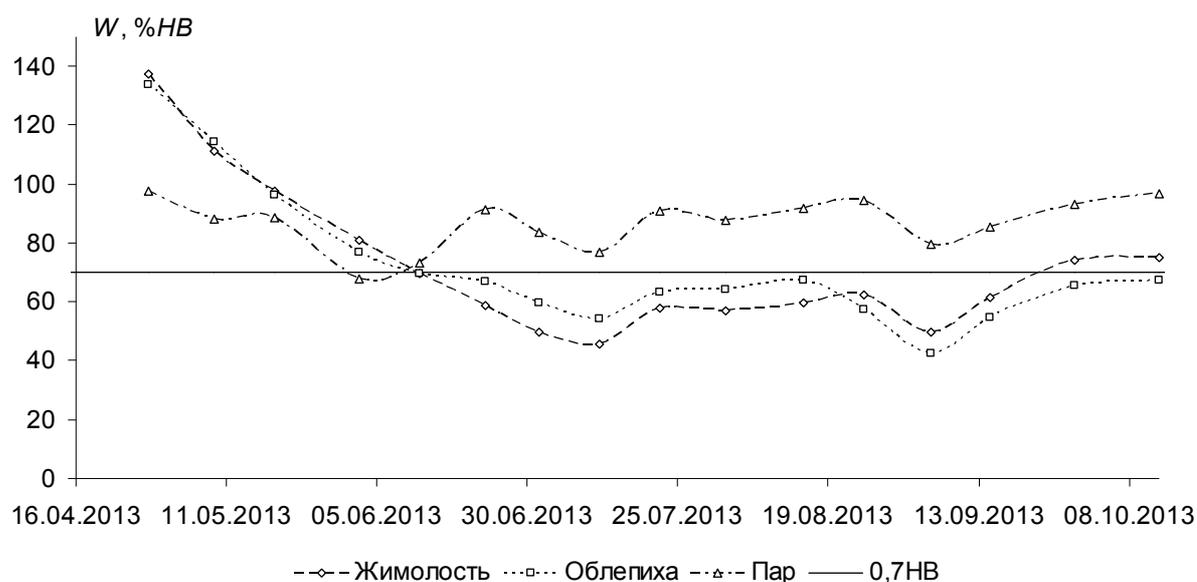


Рис.18 Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. АВ.

В течение всего вегетационного периода 2013г., влагосодержание иллювиального горизонта на всех вариантах было выше оптимального уровня увлажнения (80-100% НВ), однако под жимолостью в июне-июле отмечен незначительный дефицит влаги.

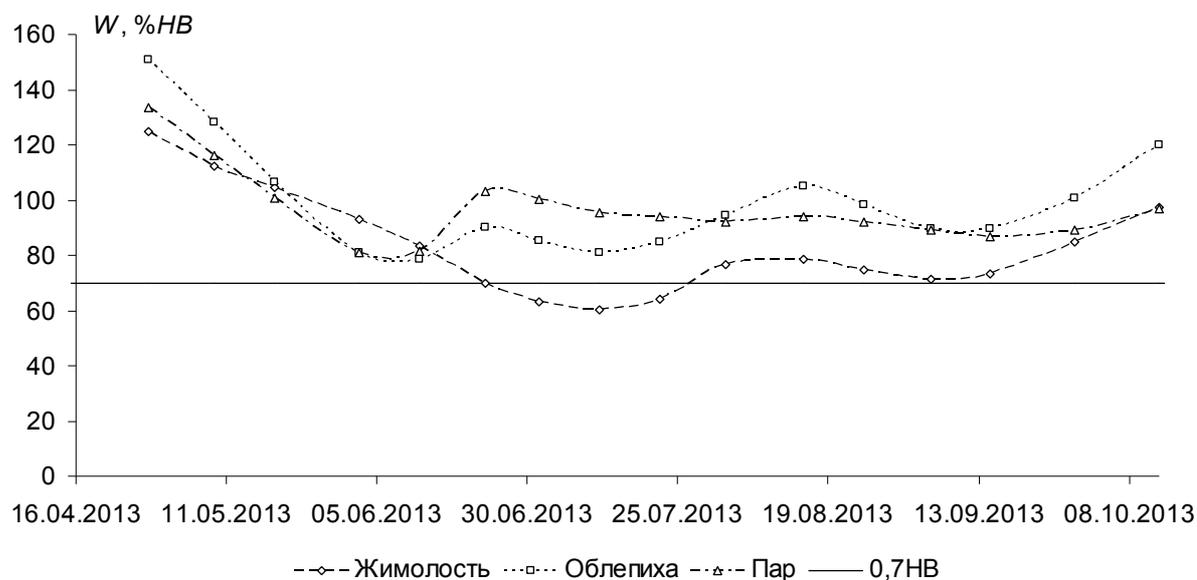


Рис.19. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. В.

В почвообразующей породе недостаток влаги наблюдался во второй период вегетации только под жимолостью. Несмотря на то, что гор.С напрямую не участвует в питании влагой корней ягодных культур, он является важным влагоаккумулирующим слоем, капиллярно подпитывающим вышележащие почвенные горизонты, участвующих во влагообмене.

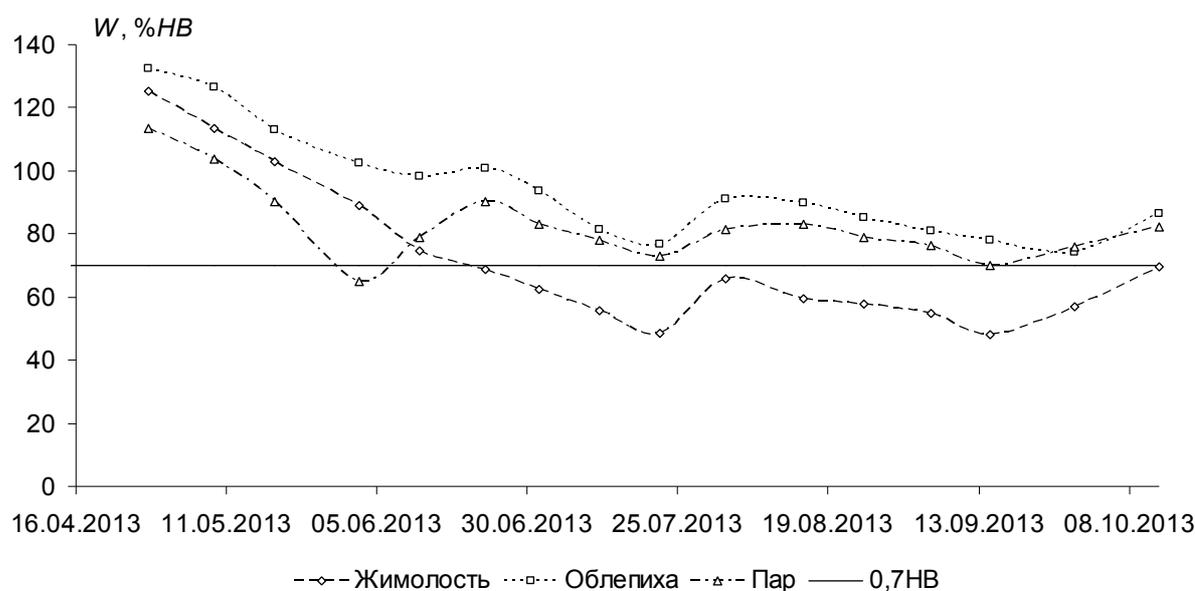


Рис.20. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. Ск.

В апреле 2014 года влажность в пахотном горизонте была несколько выше оптимальной, с некоторым снижением её на момент начала вегетации (рис.21). Несмотря на незначительные весенние влагозапасы влажность в этом слое в течение весны была оптимальной за счет майских осадков, превысивших среднегодовую норму на 11 мм. Но, несмотря на увеличенные значения осадков в июле, превысившие среднегодовую норму на 44 мм влагосодержание в гор.Ап под всеми культурами летом было очень низким (до 20% от НВ).

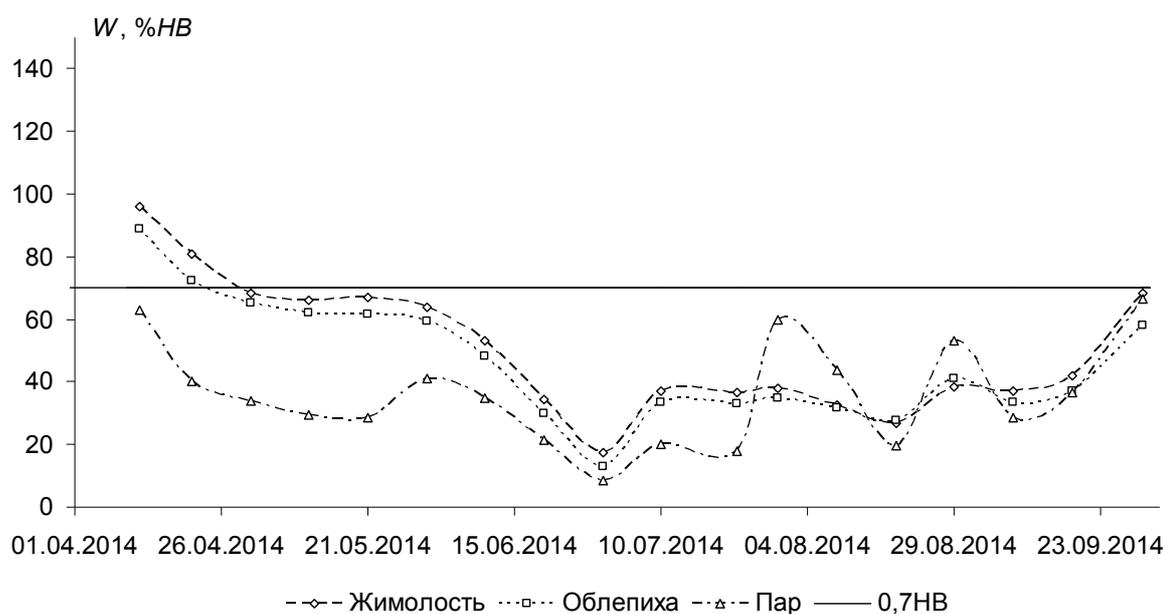


Рис.21. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. Ап.

В переходном к иллювиальному горизонту недостаток влаги был отмечен во второй половине вегетации под жимолостью и облепихой (рис.22).

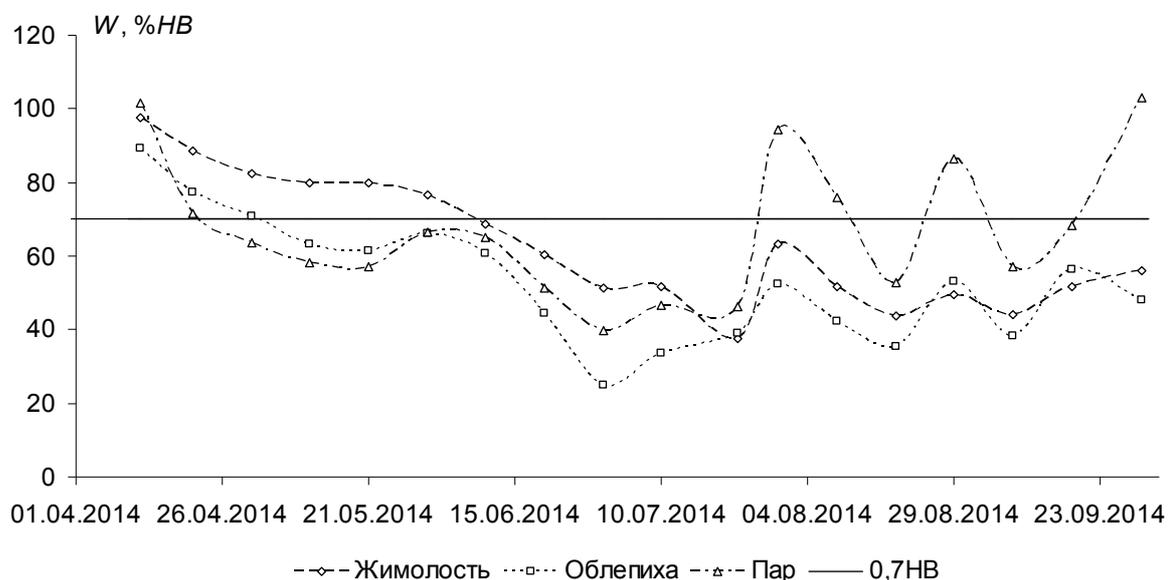


Рис.22. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. АВ.

В иллювиальном горизонте и почвообразующей породе динамика влагонакопления была практически одинакова (рис.23-24).

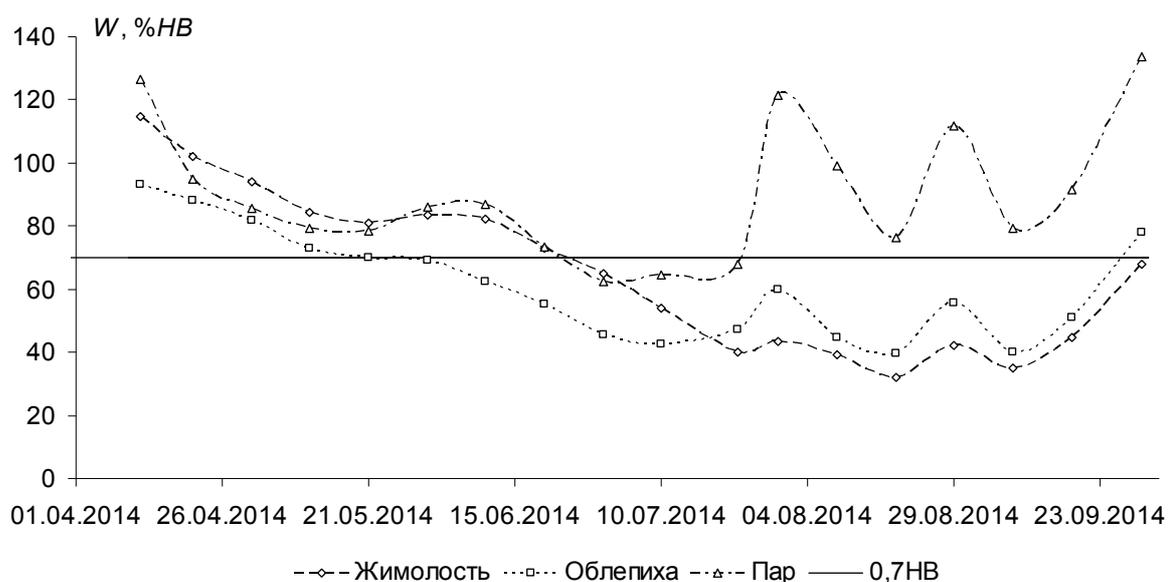


Рис.23. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. В.

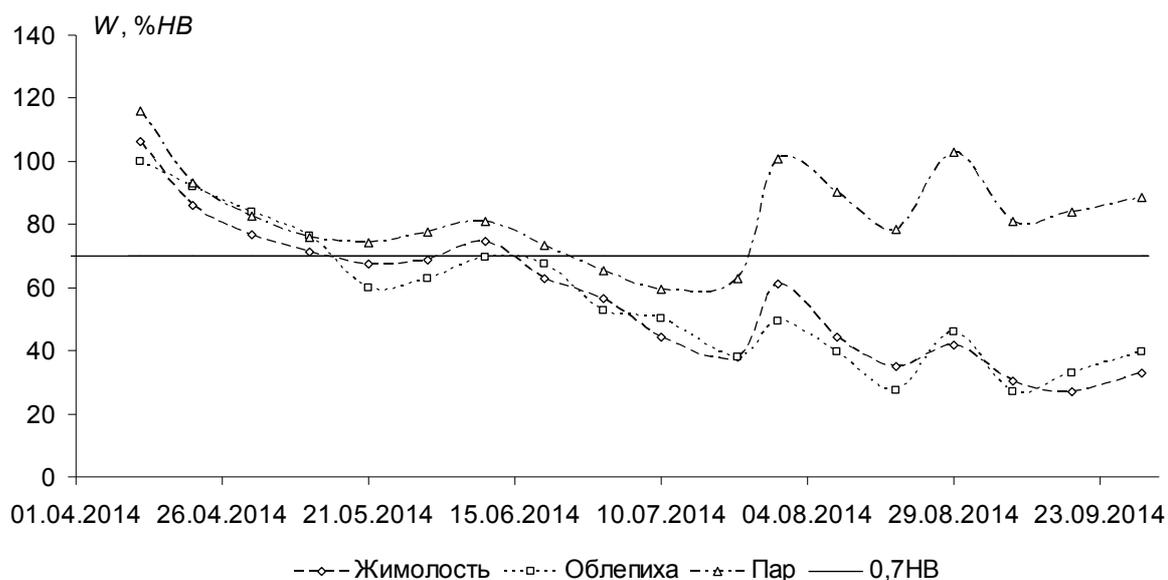


Рис.24. Динамика влажности почвы под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. Ск.

Таким образом, погодные условия в годы проведения исследований внесли определенные различия в рост и развитие плодово-ягодных культур, а также существенно отразились на процессах аккумуляции и распространения влаги в почве. В острозасушливые годы больше всего ощущалась нехватка

почвенной влаги под жимолостью, а во влажные практически одинаковое влагосодержание почвы под жимолостью и облепихой.

5.2. Сезонная динамика коэффициента влагопроводности чернозема выщелоченного

Как известно, гранулометрический состав, влажность почвы и другие факторы во многом определяют характер изменения гидрофизических свойств генетических горизонтов почвенного профиля и их динамику. Это, в свою очередь, оказывает существенное влияние на интенсивность процессов влагопереноса и влагонакопления в почве, что сказывается и на формировании режима её влажности.

Помимо этого существенную роль играют условия на верхней границе рассматриваемого слоя, снежный, растительный и другие покровы, а также производственная деятельность человека. В результате изменения гидрофизических свойств почв могут быть неблагоприятными для растений и снижать их продуктивность.

Познание закономерностей формирования и проявления режима влажности в почвах садов Сибири важно в связи с необходимостью разработки приемов и технологий по направленному регулированию гидротермического режима почв. Кроме того, изучение динамики коэффициента влагопроводности почвенного профиля в естественных условиях под ягодными культурами и в пару необходимо для оценки воздействия той или иной культуры на влагоперенос в почве.

Поэтому, с апреля 2012 года нами проводились исследования по выявлению особенностей сезонной динамики коэффициента влагопроводности генетических горизонтов выщелоченного чернозема в НИИСС им. М.А. Лисавенко под различными плодово-ягодными культурами. Коэффициент

влажнопроводности получали из функции влажнопроводности для определенной влажности почвы.

Так в течение вегетационного периода 2012 г. значения коэффициента влажнопроводности чернозема под ягодными культурами находились в диапазоне 0,1-1 см/сут (рис.25). Такие величины коэффициента влажнопроводности не способны обеспечить достаточный поток влаги от корня к листьям, что вызывает некоторое обезвоживание клеток листа, в том числе и устьичных, что может вызвать их частичное закрытие и снижение транспирации. Поэтому растение способно в определенных пределах регулировать потоки влаги в системе, чтобы сохранить свой водный статус и не засохнуть (Шеин, 2005).

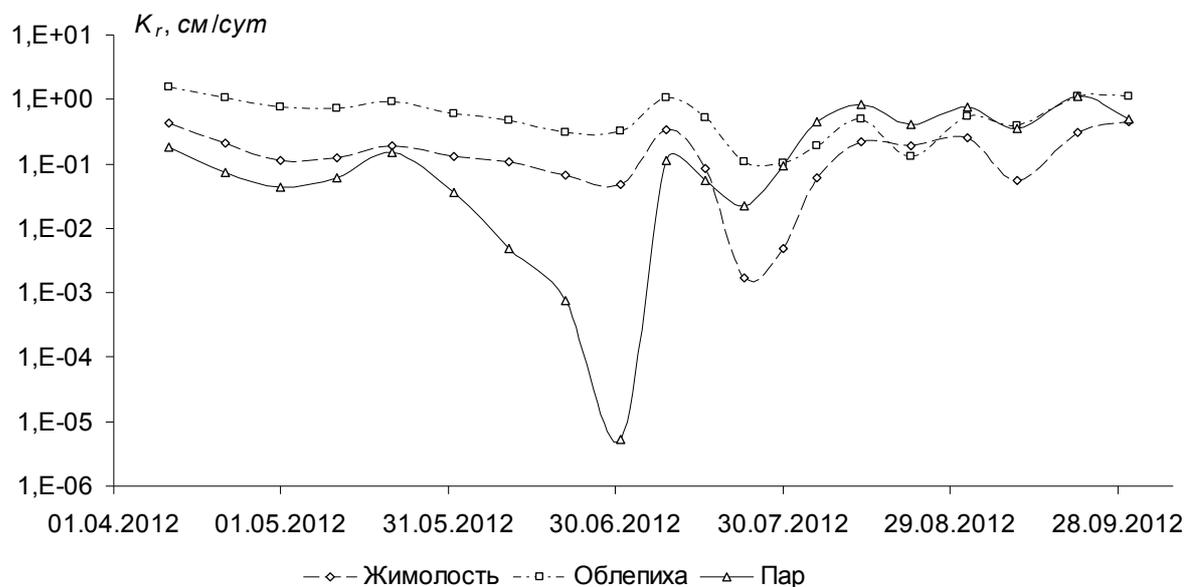


Рис. 25. Динамика коэффициента влажнопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. Ап.

В мае-июне иссушение почвы, не занятой растительностью, привело к снижению коэффициента влажнопроводности к экстремально низким значениям (до 10^{-5} см/сут), при этом капиллярный водоток полностью отсутствует и влага находится преимущественно в виде пленок.

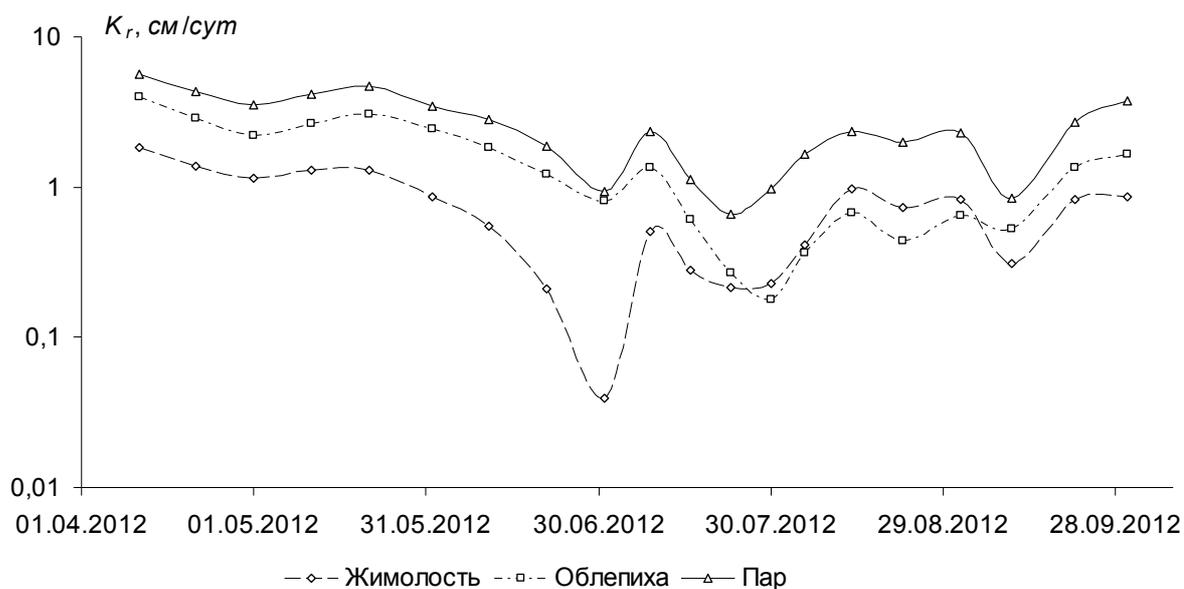


Рис. 26. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. АВ.

В горизонтах АВ, В и Ск значения коэффициента влагопроводности в течение первой половины вегетационного периода находились в диапазоне 1-10 см/сут (рис.26-28), что обеспечивало снабжение культур легкодоступной влагой.

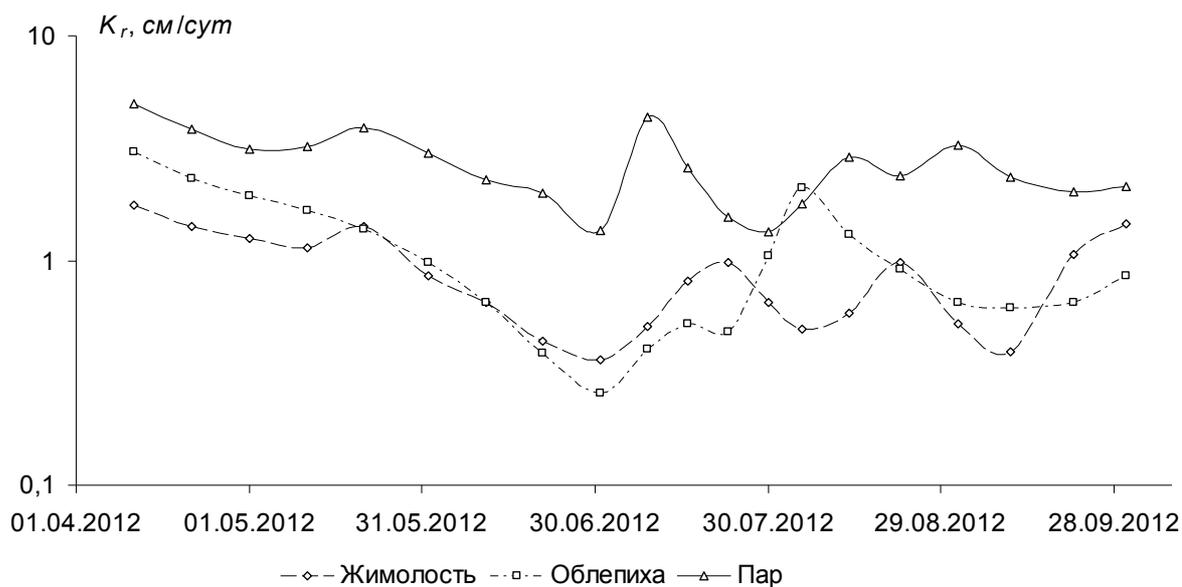


Рис. 27. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. В.

Дальнейшее снижение коэффициента влагопроводности указывает на то, что даже при возможных поливах или атмосферных осадках сухая почва будет проводить воду хуже, чем влажная, т.к. влагопроводность сухой почвы ниже влажной.

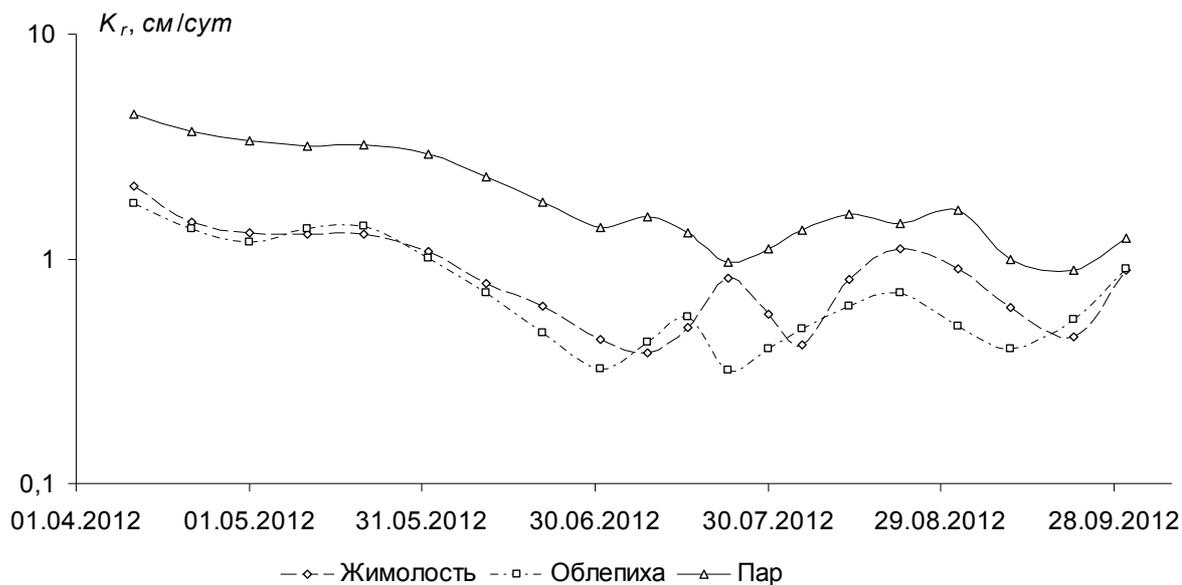


Рис. 28. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. Ск.

В 2013 году в горизонтах Ап, АВ и В на момент начала вегетации значения коэффициента влагопроводности превышали 10 см/сут на всех вариантах, кроме пара, и на протяжении всего вегетационного периода оставались диапазоне 1-10 см/сут. Исключение составил пахотный горизонт, где происходило снижение коэффициента влагопроводности ниже 1 см/сут.

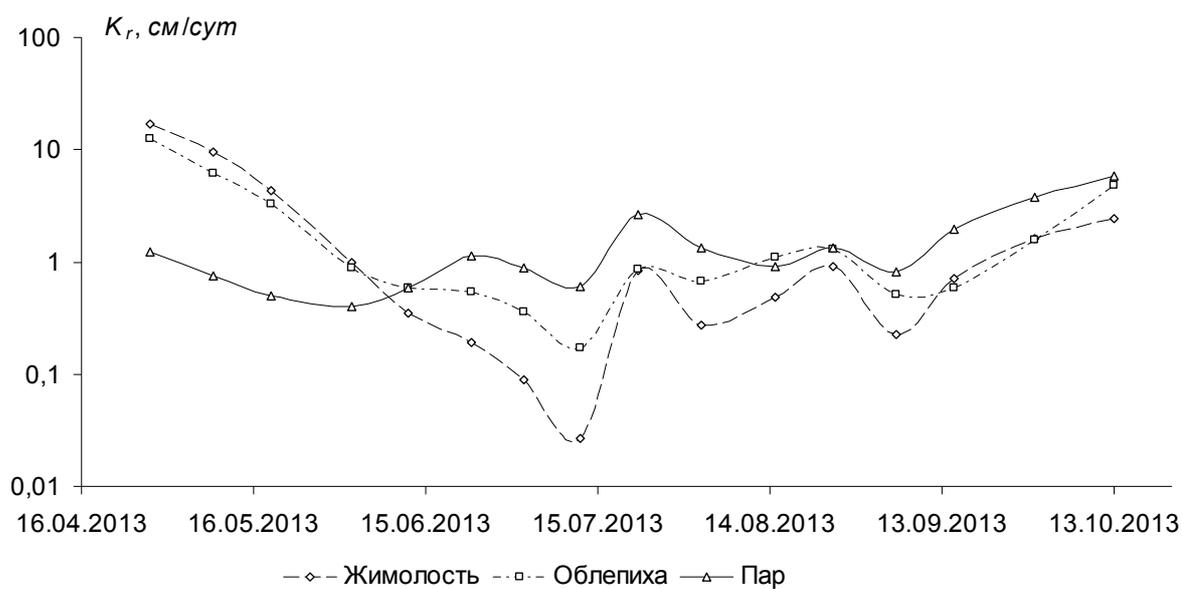


Рис. 29. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. Ап.

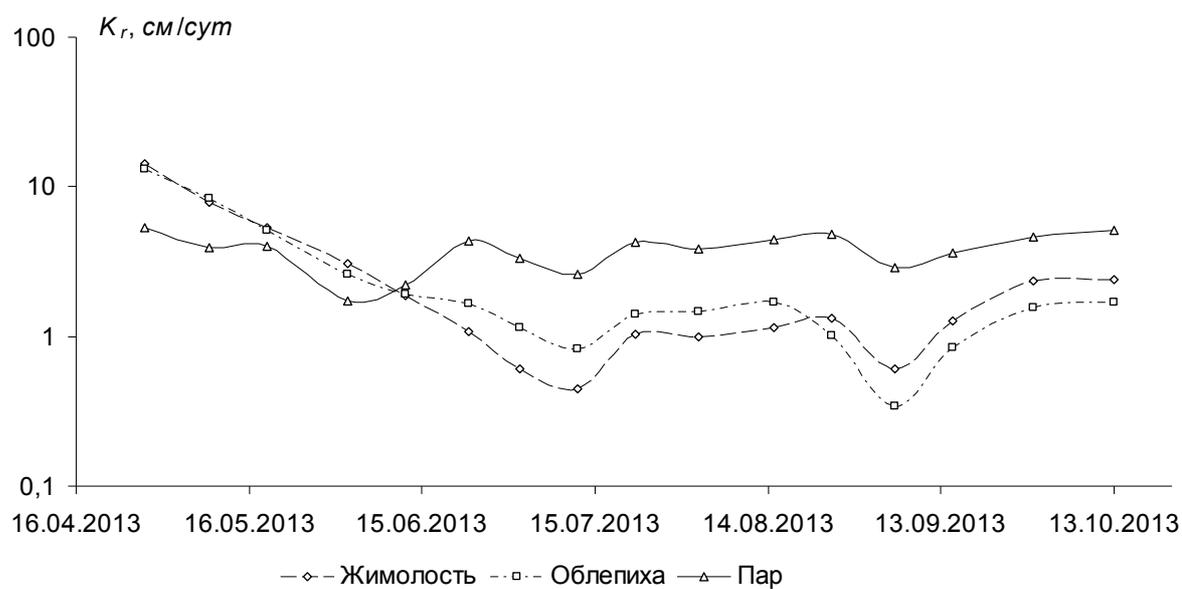


Рис. 30. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. АВ.

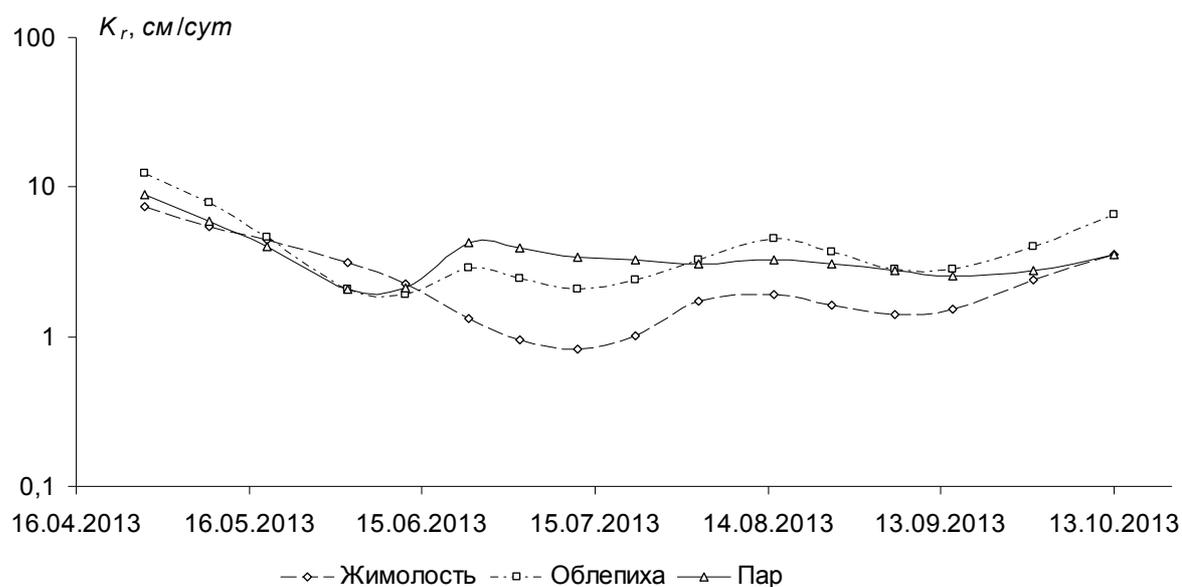


Рис. 31. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. В.

В почвообразующей породе во втором периоде вегетации наиболее низкие значения коэффициента влагопроводности отмечены также под жимолостью, из чего можно сделать вывод о более высоком потреблении влаги этой культурами, чем облепихой. Поэтому при разработке систем орошения следует учитывать этот факт.

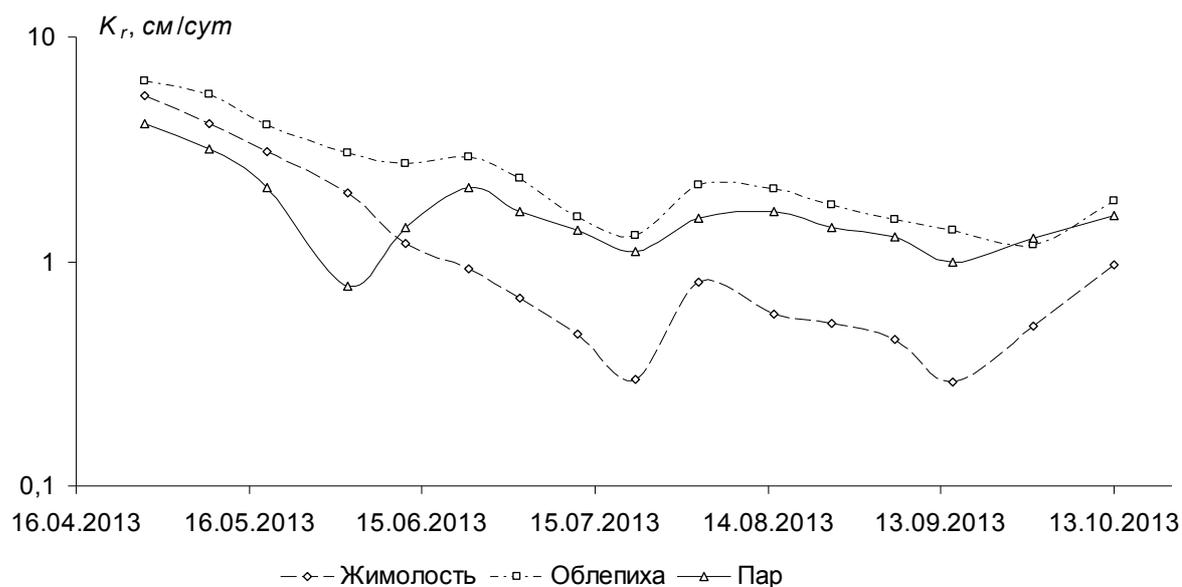


Рис. 32. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. Ск.

В пахотном горизонте в конце июня 2014г. снижение влажности почвы с 60%НВ до 20%НВ привело к резкому снижению коэффициента влагопроводности на несколько порядков под жимолостью и облепихой (до 10^{-2} – 10^{-4} см/сут), а под паром до 10^{-5} см/сут. При таком снижении коэффициента влагопроводности капиллярный водоток полностью отсутствует и снабжение растения влагой корнями в данном горизонте прекращается.

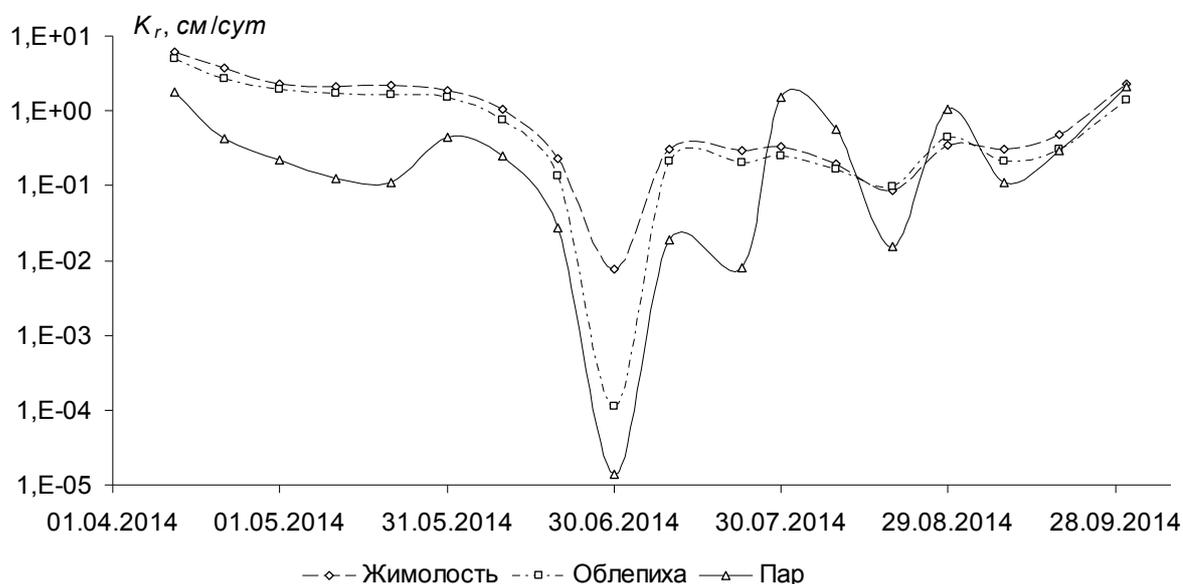


Рис. 33. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. Ап.

В июне в переходном горизонте коэффициент влагопроводности снижался ниже 0,1 см/сут под облепихой (рис.34), что связано с меньшими значениями влажности под этой культурой на начало вегетации, чем под жимолостью, а весенне-летние осадки не смогли восполнить необходимый влагозапас.

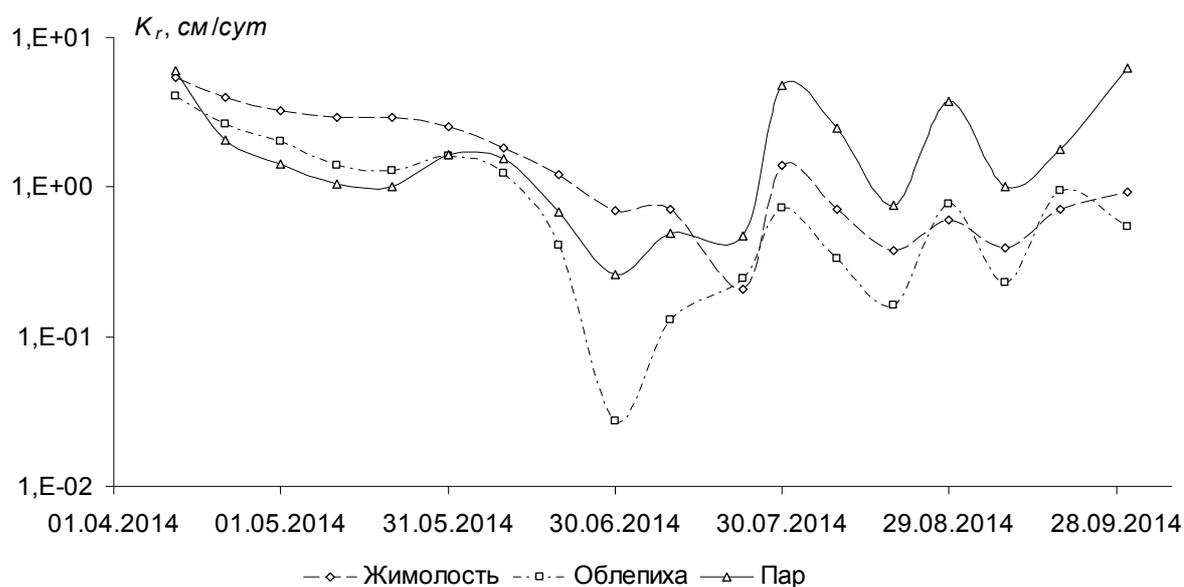


Рис. 34. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. АВ.

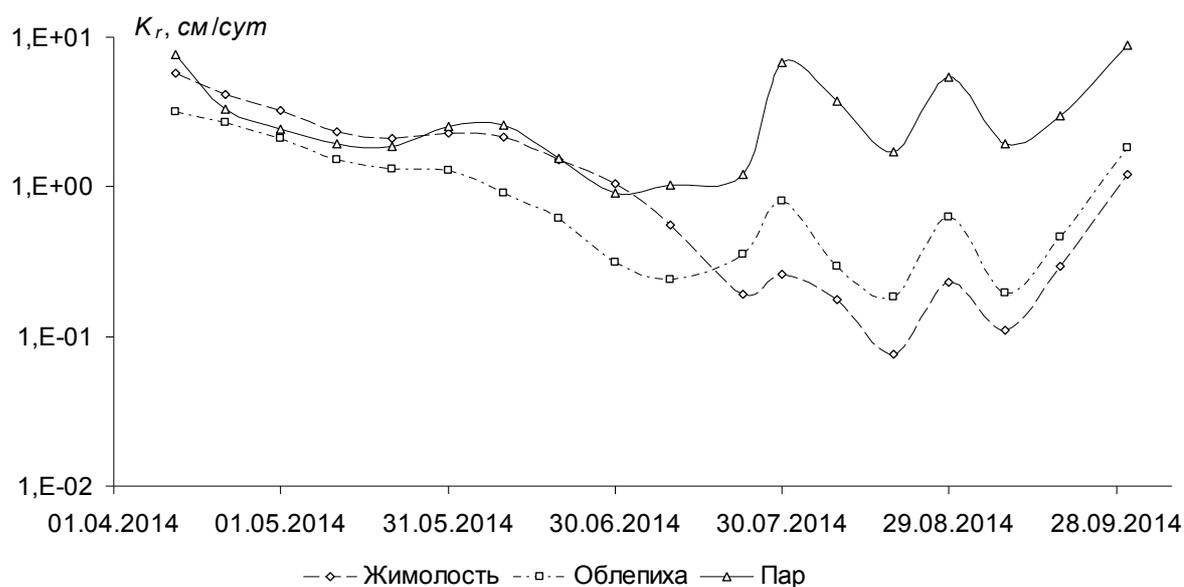


Рис. 35. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. В.

В иллювиальном горизонте и подстилающей породе динамика коэффициентов влагопроводности в 2014 году под различными культурами была сходной. В первой половине вегетации значения влагопроводности

обеспечивали оптимальный режим увлажнения на всех вариантах, а во второй только в пару.

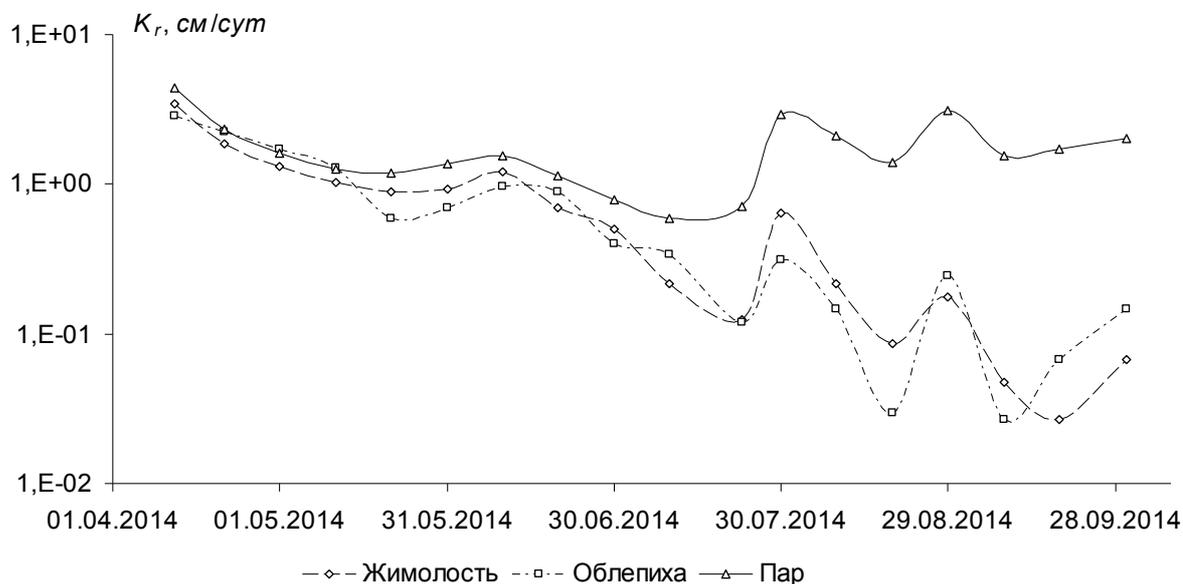


Рис. 36. Динамика коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. Ск.

В результате анализа проведенных исследований можно заметить, что динамика коэффициента влагопроводности генетических горизонтов чернозема в большой степени зависит от сезонной динамики их влажности, при этом отмечаются различия во влиянии той или иной культуры. Таким образом, динамика влагопроводности в годы проведения исследований отразилась на процессах распространения влаги в почве, что, в конечном счете, определяет развитие и рост ягодных культур.

5.3. Изменение капиллярно-сорбционного давления чернозема в вегетационный период

Поскольку водообеспеченность растений, в конечном счете, зависит от давления влаги в почве, то становится актуальным вопрос об изучении динамики давления почвенной влаги в течение вегетационного периода под различными ягодными культурами в условиях плодового сада. Для этого можно

использовать не полное давление влаги, а капиллярно-сорбционное, так как именно от него зависят влагопроводность почвы и подток влаги к корням.

В области оптимальной обеспеченности растений почвенной влагой устьица растений максимально открыты, растение способно активно регулировать свой водообмен на высоком уровне, повышая давление влаги в листьях и соответственно в корнях до уровня «критического» давления влаги в почве ($P_{кр}$). При достижении «критического» давления прикрываются устьица, и растение вынуждено перестроить свой физиологический механизм на экономию влаги, не наращивая активно вегетативную массу. Поэтому при наступлении в почве указанной величины следует производить полив растений. Для большинства растений-мезофитов $P_{кр}$ колеблется от -300 до -600 см водн.ст. (Шеин, 2005).

Рассмотрим особенности сезонной динамики капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2012-2014гг (рис.37-48). Капиллярно-сорбционное давление влаги получали из основной гидрофизической характеристики для определенной влажности почвы. $P_{кр}$ определили как среднее из диапазона 30-60 $кПа$ по Е.В. Шеину (2005).

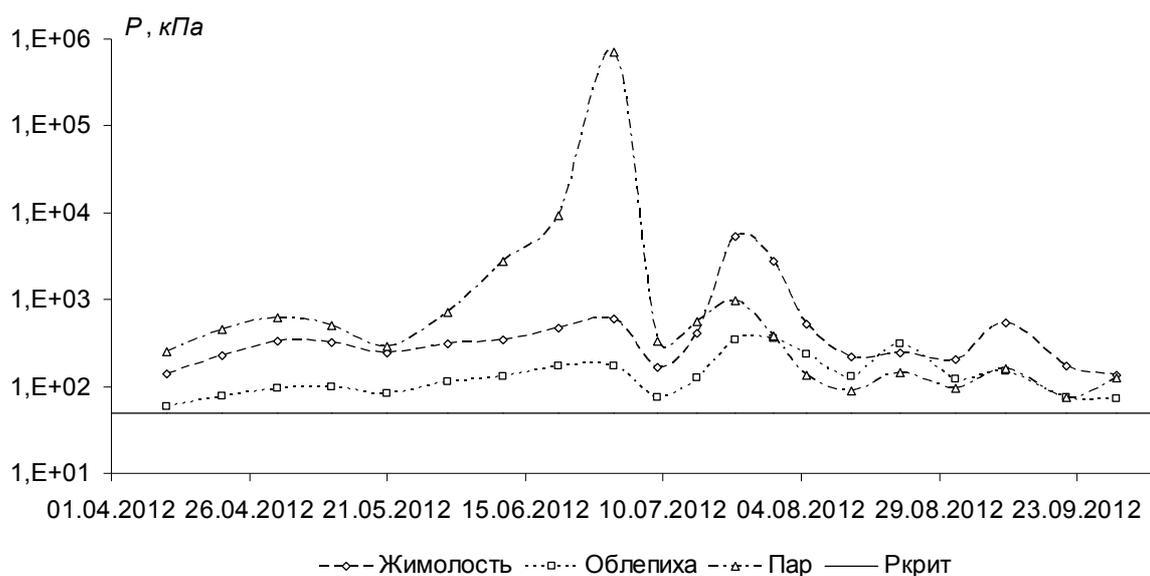


Рис. 37. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. Ап.

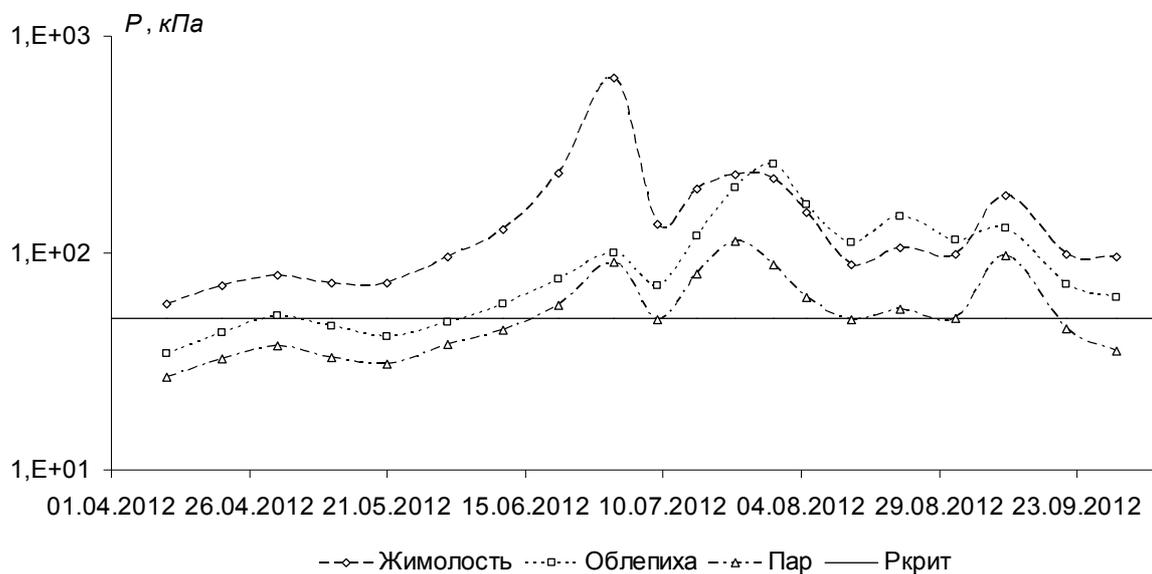


Рис. 38. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. АВ.

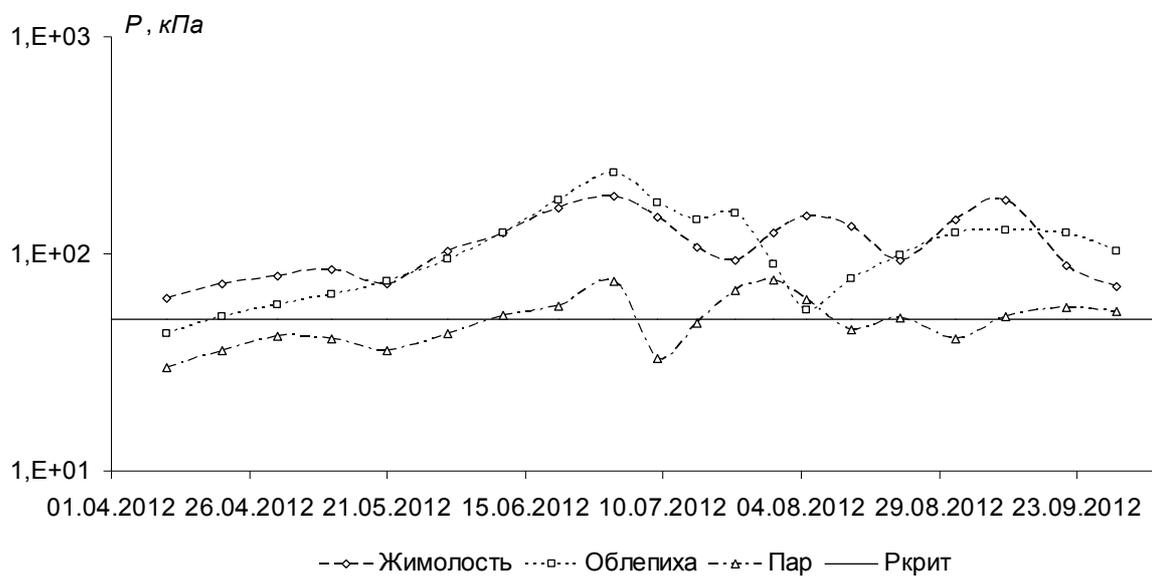


Рис. 39. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. В.

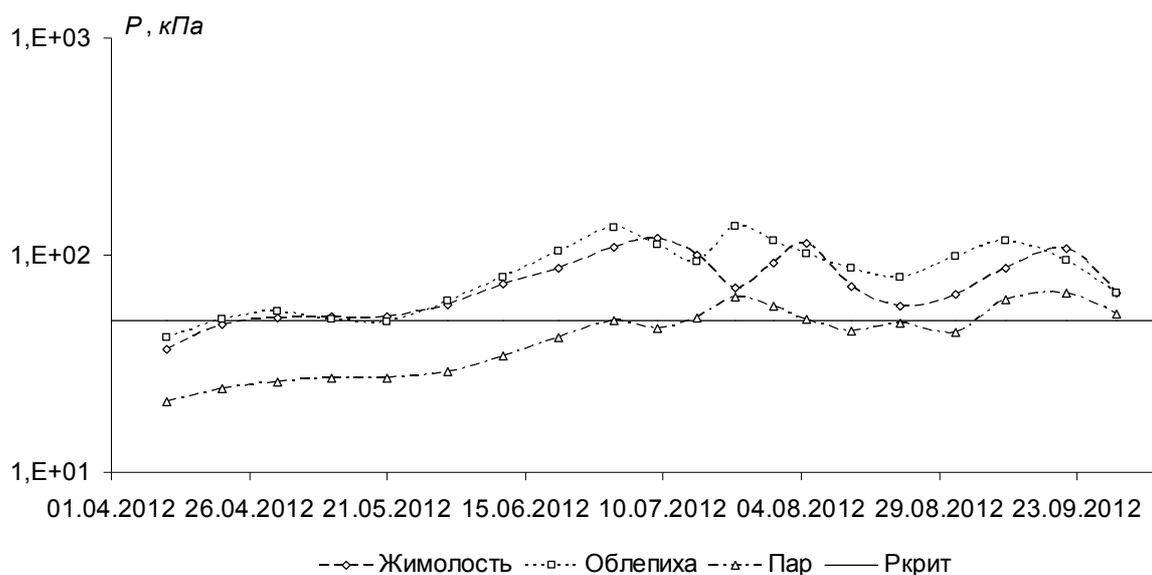


Рис. 40. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2012г., в гор. Ск.

В 2012 году значения капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами были ниже критического, поэтому наращивание вегетативной массы было весьма ограниченным и полная реализация потенциала продуктивности возможна только при наличии полива.

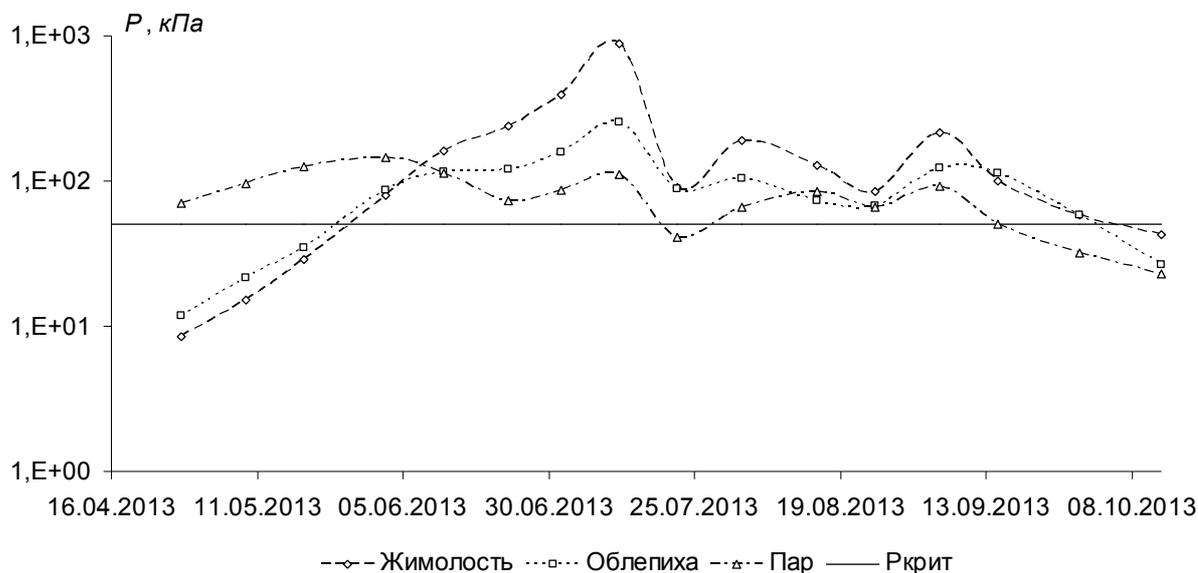


Рис. 41. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. Ап.

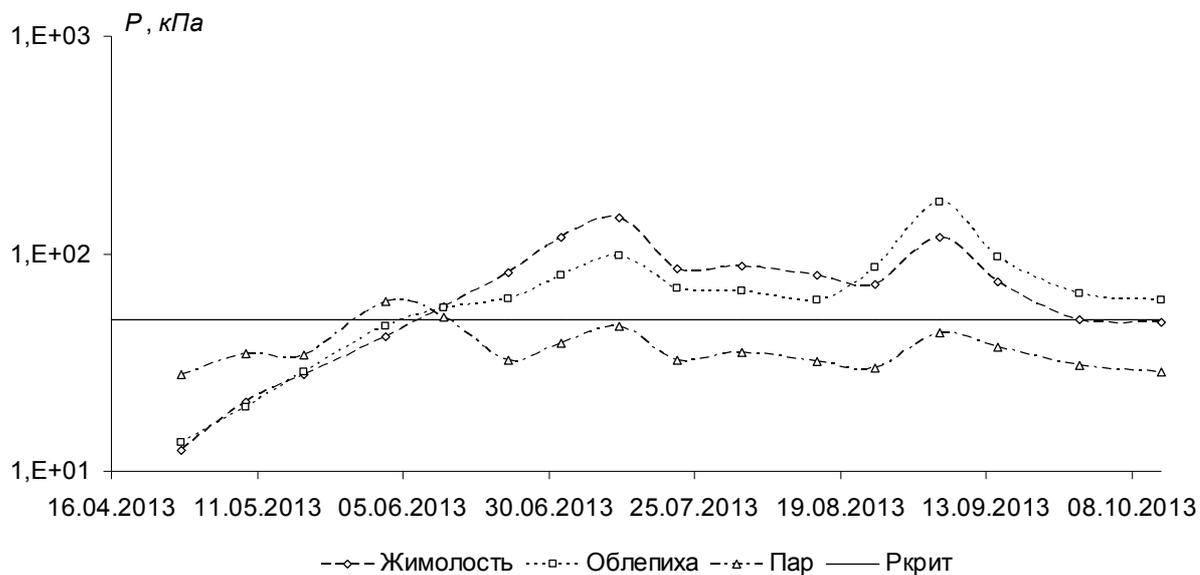


Рис. 42. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. АВ.

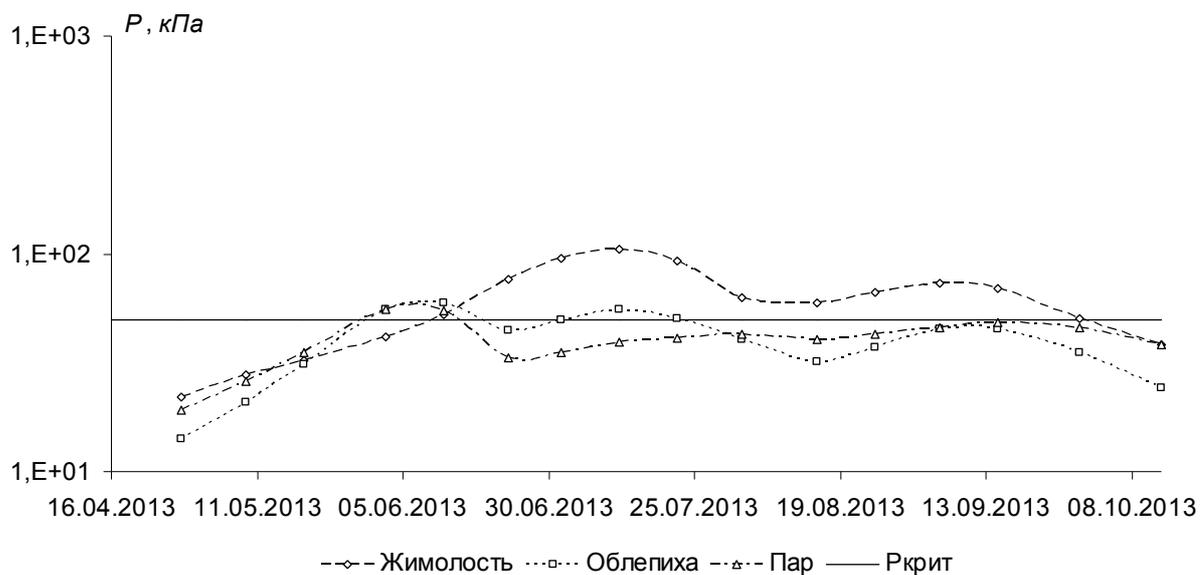


Рис. 43. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. В.

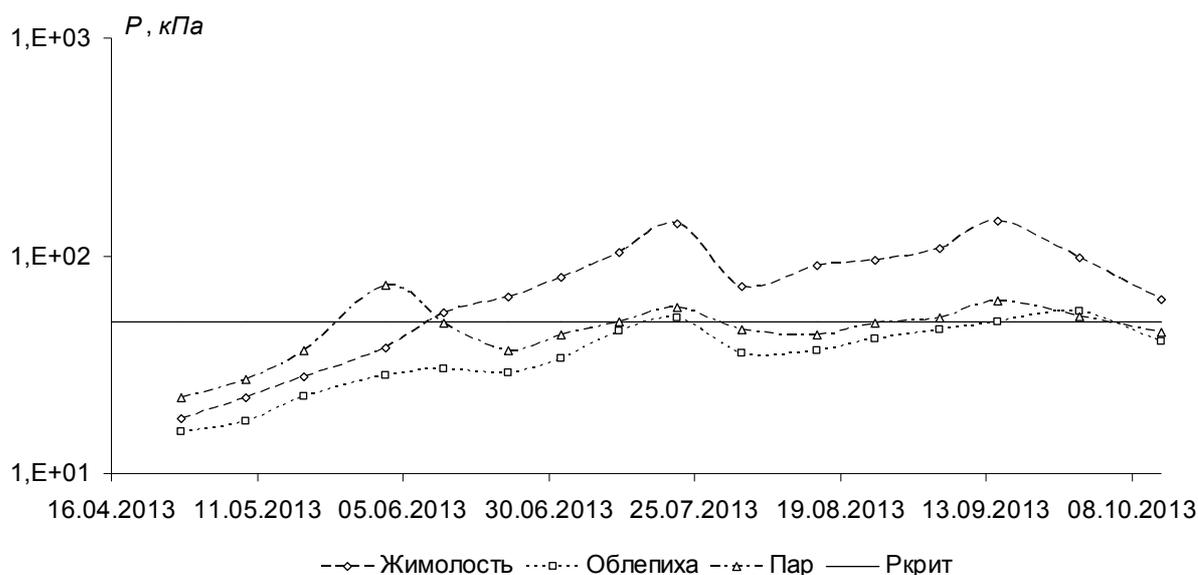


Рис. 44. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2013г., в гор. Ск.

Вегетационный период 2013 года был более благоприятным, чем 2012г по обеспеченности культур влагой. Значения капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги опускались значительно ниже критического уровня только во время летнего периода в верхнем слое почвы. Особенно это проявилось под жимолостью, где значения давления почвенной влаги достигали -1000 кПа.

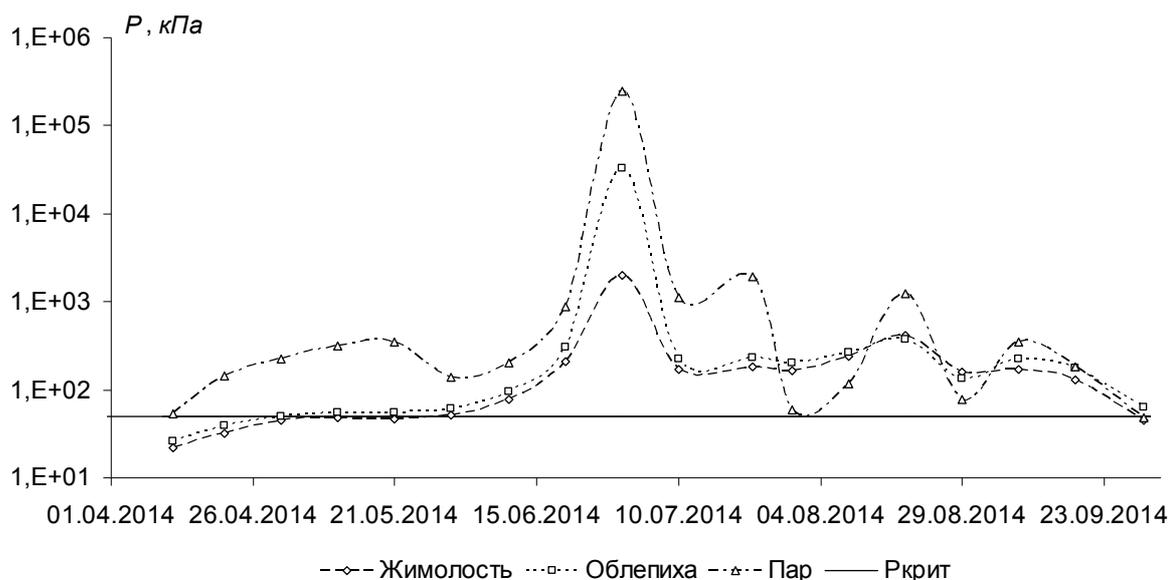


Рис. 45. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. Ап.

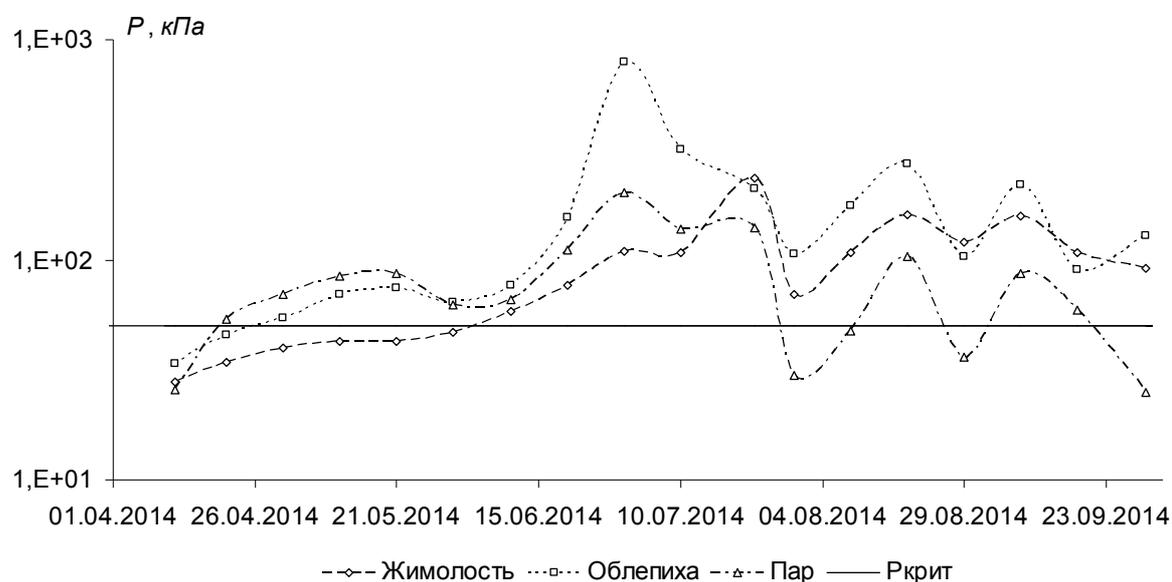


Рис. 46. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. АВ.

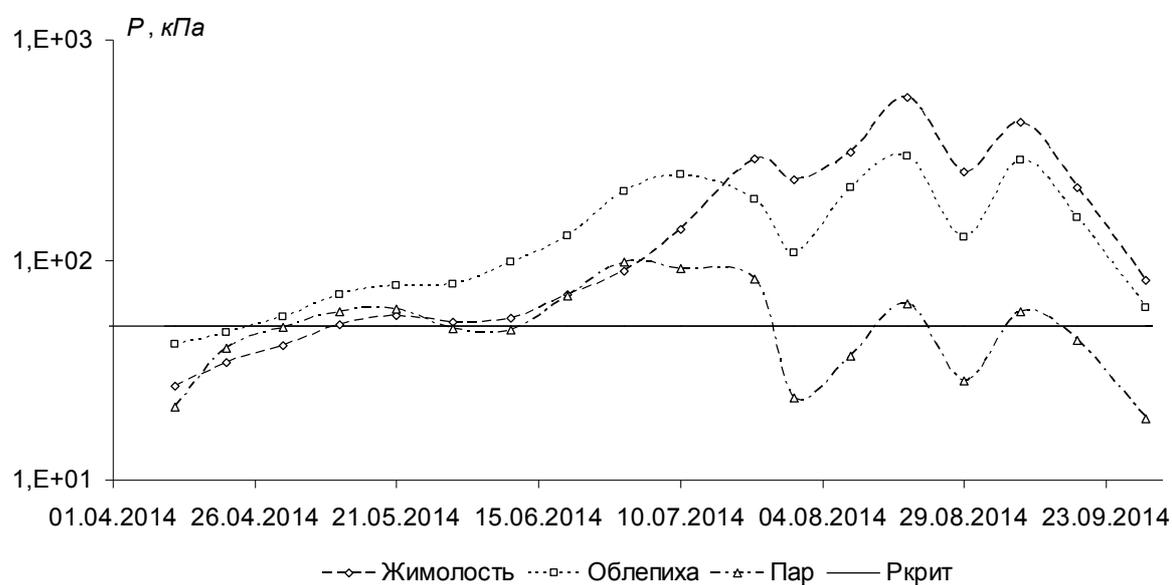


Рис. 47. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. В.

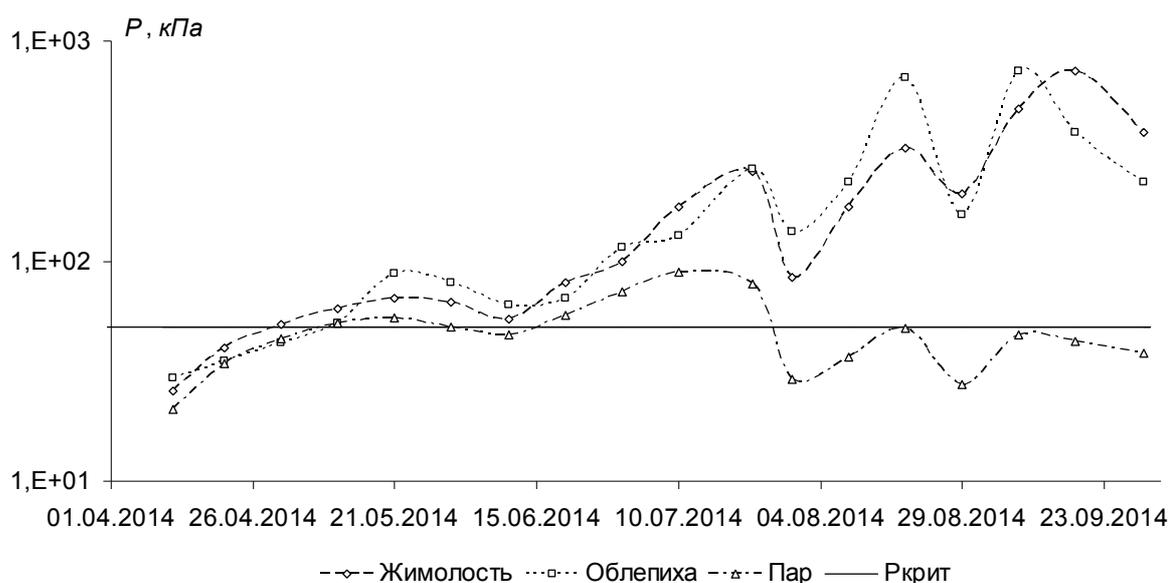


Рис. 48. Изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации 2014г., в гор. Ск.

В 2014 году значения капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами снижалось намного меньше критического уровня. Так под облепихой и жимолостью они составляли -50000 и -2000 *кПа* соответственно, при $P_{крит} = -50$ *кПа*.

По результатам данных исследований, можно сделать вывод, что изменение капиллярно-сорбционного давления влаги в почве под ягодными культурами определяется, прежде всего, гидрофизическими свойствами почвы и условиями поступления воды на верхней границе, при этом отмечаются различия во влиянии той или иной культуры. За годы исследования в условиях Алтайского Приобья значения давления почвенной влаги под ягодными культурами были ниже критического уровня, поэтому полная реализация потенциала продуктивности облепихи и жимолости возможна только при наличии полива.

ГЛАВА VI. Моделирование продуктивности ягодных культур в зависимости от условий среды

Принимать решение о необходимости орошения сельскохозяйственных культур можно только после анализа одновременного воздействия температурных и водных условий почвы. Так как продуктивность растений определяется лимитирующим фактором среды.

Рассматривая совместное действие различных факторов, следует учитывать, что они могут усиливать или смягчать действия других природных факторов. Но они никогда не могут быть взаимозаменяемы, и мы никогда не сможем полностью компенсировать недостаток света увеличением содержания влаги в почве, недостаток тепла – внесением азотных удобрений и т.д. Физические факторы не могут быть взаимозаменяемы – это один из законов экологии (Шеин, Гончаров, 2006).

Для установления зависимости продуктивности растения от факторов внешней среды нами использована модель В.В. Шабанова (2003):

$$S = \left(\frac{\varphi}{\varphi_{opt}} \right)^{\gamma \varphi_{opt}} \left(\frac{\varphi_{max} - \varphi}{\varphi_{max} - \varphi_{opt}} \right)^{\gamma (\varphi_{max} - \varphi_{opt})} \quad (14)$$

S – относительная продуктивность, φ – текущее значение фактора, φ_{max} – максимальное значение фактора, φ_{opt} – оптимальное значение фактора, γ – коэффициент саморегулирования растения.

Расчет проведен для всего периода вегетации облепихи и жимолости, при использовании следующих входных данных: среднегодовые значения температуры почвы (t) на глубине 20 см, (°C); среднеквадратические отклонения значений температуры почвы (σ_t), (°C); среднегодовые значения продуктивных влагозапасов (W) в слое почвы 0-100 см, (мм); среднеквадратические отклонения значений продуктивных влагозапасов (σ_w), (мм); водно-физические свойства почвы.

Значения t , σ_t , W , σ_W для вегетационного периода рассчитаны на основе подекадных инструментальных значений влажности и температуры почвы в условиях ягодного сада в условиях Алтайского Приобья за 2012-2014гг.

Также в расчете использованы исходные данные, являющиеся лимитирующими и определяющими границы условий роста и развития ягодных культур: W_{min} – минимально допустимое для растения значение продуктивных запасов влаги в слое почвы 0-100 см (мм), равное 0; W_{max} – максимально допустимое для растения значение продуктивных влагозапасов в слое почвы 0-100 см (мм); t_{min} – минимально допустимое для растения значение температур почвы на глубине 20 см ($^{\circ}\text{C}$); t_{max} – максимально допустимое для растения значение продуктивных температур почвы на глубине 20 см ($^{\circ}\text{C}$); W_{opt} – оптимальное для растения значение продуктивных влагозапасов в слое почвы 0-100 см (мм); γ_W – коэффициент саморегулирования растения по водному фактору; t_{opt} – оптимальное для растения значение температур почвы на глубине 20 см ($^{\circ}\text{C}$); γ_t – коэффициент саморегулирования растения по температурному фактору.

Проанализируем зависимость средней продуктивности облепихи и жимолости при изменении температуры и влажности чернозема выщелоченного (рис.49-51). Результаты представлены в трехмерном виде, а также в изометрических плоскостях продуктивных влагозапасов и температуры.

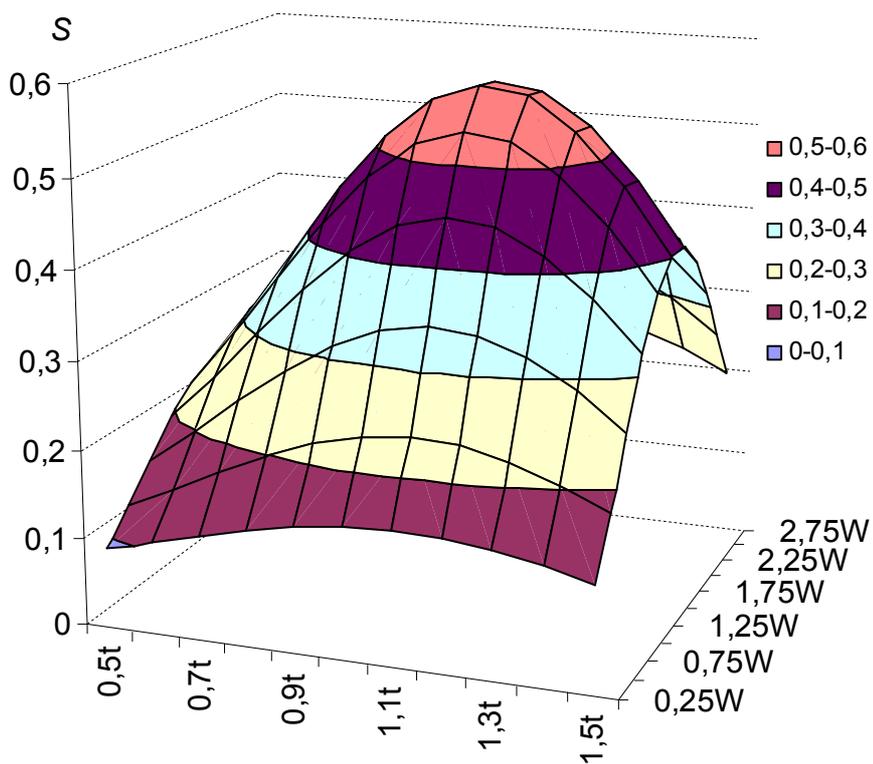


Рис. 49. Зависимость средней продуктивности облепихи при изменении температуры и влажности почвы в естественных условиях.

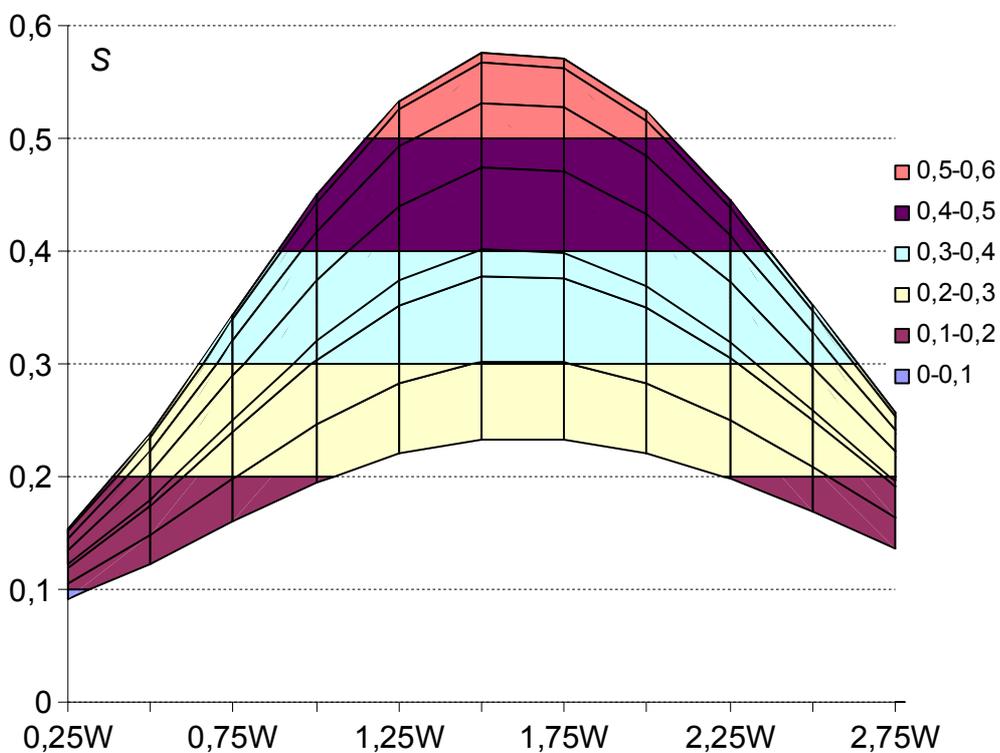


Рис. 50. Зависимость средней продуктивности облепихи при изменении температуры и влажности почвы в естественных условиях. Плоскость продуктивных влагозапасов (изометрия).

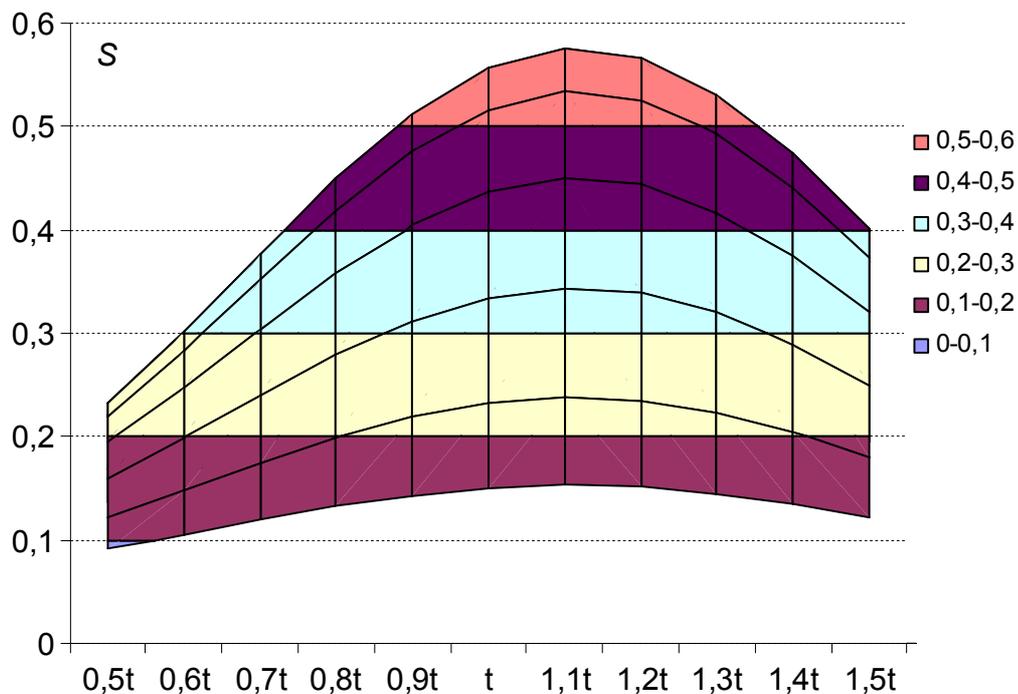


Рис. 51. Зависимость средней продуктивности облепихи при изменении температуры и влажности почвы в естественных условиях. Плоскость температуры (изометрия).

Из рисунков видно, что средняя за 3 года продуктивность облепихи в естественных условиях Алтайского Приобья составляет около 45% от максимально возможной. В данном случае лимитирующим фактором продуктивности облепихи являются продуктивные влагозапасы, а среднееголетние температуры почвы оптимальны. При увеличении продуктивных запасов в черноземе на 50% продуктивность облепихи увеличится до 50-60% от максимальной, что не совсем достаточно для полного использования облепиховых культур в условиях Алтайского Приобья.

Поэтому нами были проведены дополнительное вычислительное моделирование продуктивности облепихи при уменьшении среднеквадратических отклонений продуктивных влагозапасов и температур почвы, что является одной из задач орошения – поддержания постоянного влагосодержания в почве.

Для этого провели дополнительный вычислительный эксперимент с уменьшением среднеквадратического отклонения колебания влажности почвы (σ_w) относительно W_{opt} до величины $\pm 20\%$, что соответствует крайним значениям влагозапасов диапазона легкодоступной влаги относительно W_{opt} . При регулировании водного режима данный подход позволит повысить урожайность культуры, т.к. растение будет подвержено водному стрессу в меньшей мере, чем при значительных (естественных) величинах σ_w , что позволит выработать практические рекомендации регулирования гидротермического режима под ягодными насаждениями в данной почвенно-климатической зоне. Рассмотрим изменение относительной продуктивности облепихи в условиях Алтайского Приобья при $\sigma_w = \sigma_t = \pm 20\%$ от W_{opt} и t_{opt} (рис.52-54).

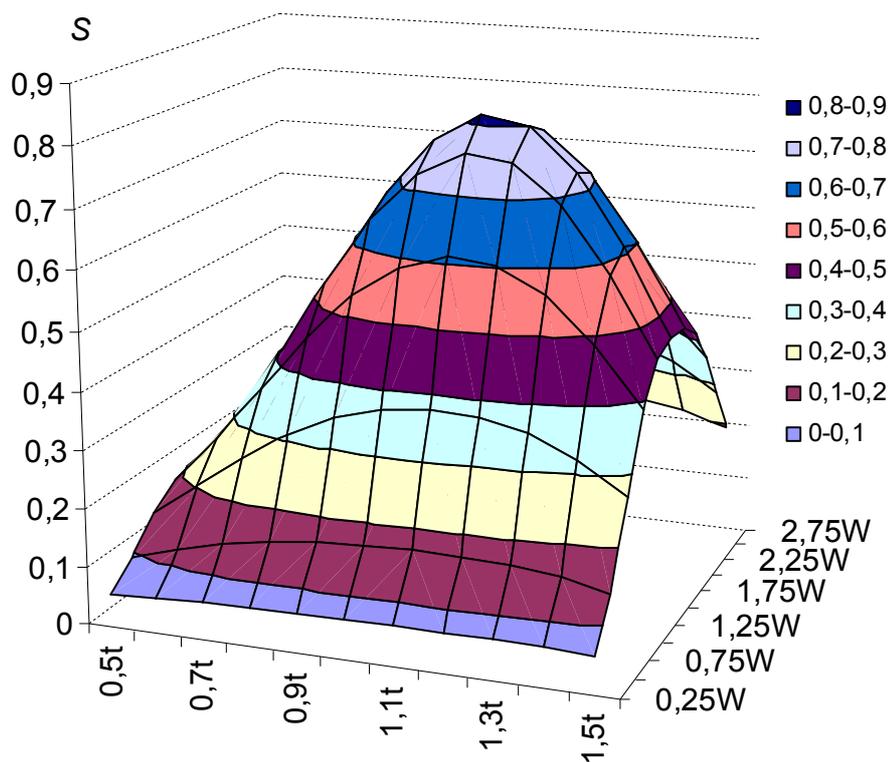


Рис. 52. Зависимость средней продуктивности облепихи при изменении температуры и влажности почвы при мелиоративном воздействии, $\sigma_W = 0,2W_{opt}$, $\sigma_t = 0,2t_{opt}$.

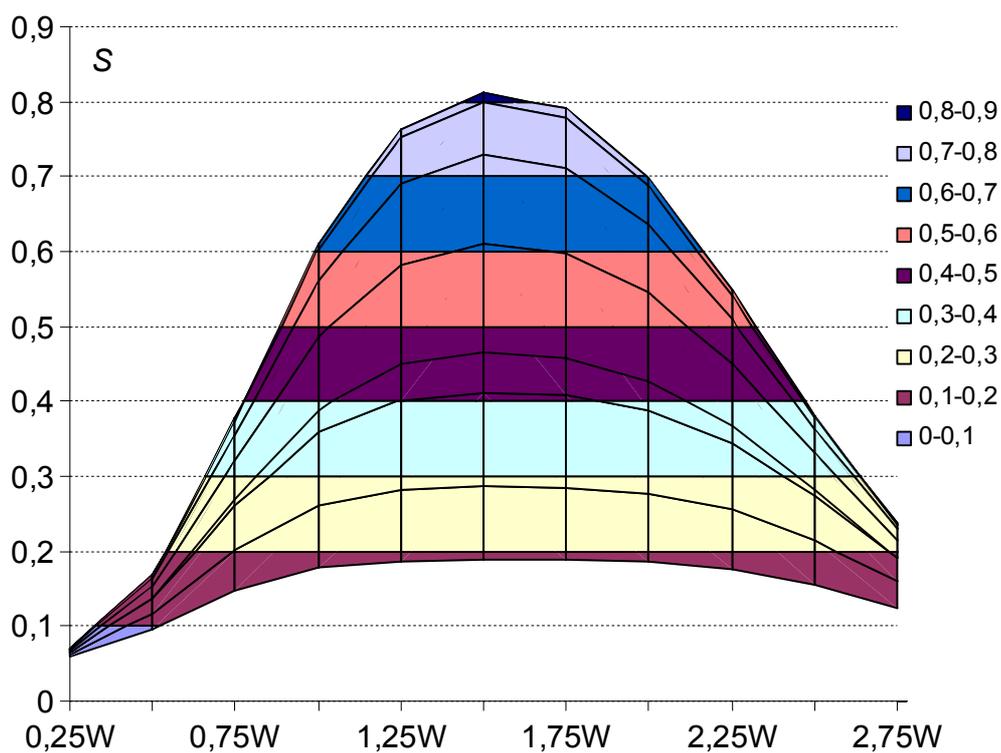


Рис. 53. Зависимость средней продуктивности облепихи при изменении температуры и влажности почвы при мелиоративном воздействии, $\sigma_W = 0,2W_{opt}$, $\sigma_t = 0,2t_{opt}$. Плоскость продуктивных влагозапасов (изометрия).

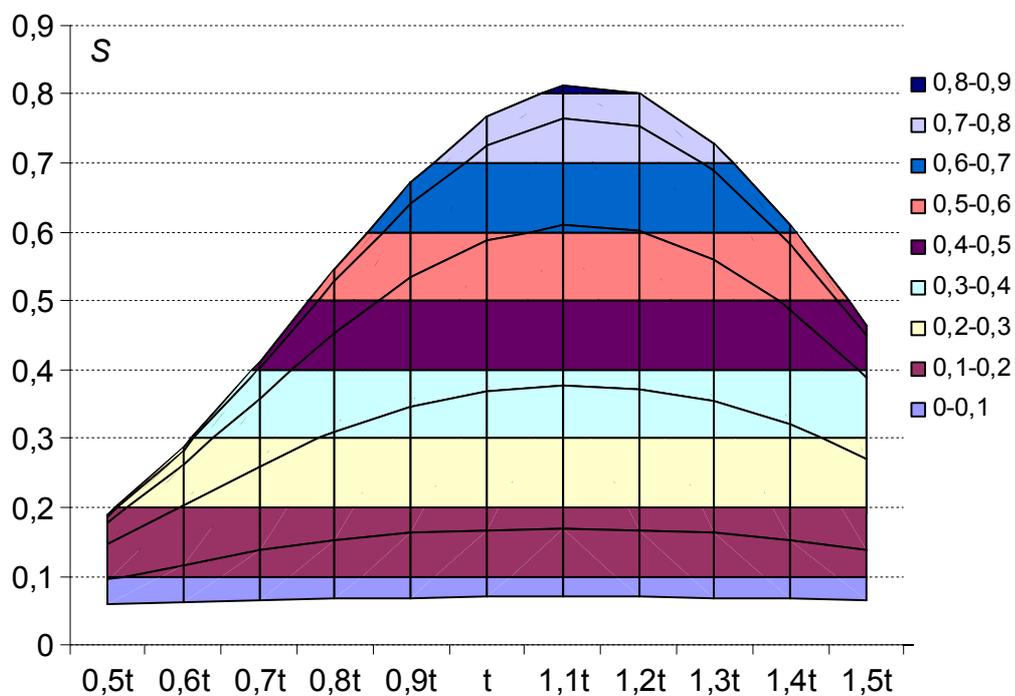


Рис. 54. Зависимость средней продуктивности облепихи при изменении температуры и влажности почвы при мелиоративном воздействии, $\sigma_w = 0,2W_{opt}$, $\sigma_t = 0,2t_{opt}$. Плоскость температуры (изометрия).

Из рисунков видно, что при мелиоративном воздействии на посадки облепихи путем уменьшения колебаний температуры почвы и содержания почвенной влаги ($\sigma_w = 0,2W_{opt}$, $\sigma_t = 0,2t_{opt}$) возможно увеличение относительной продуктивности данной культуры до величины 0,8. При этом абсолютные значения продуктивных влагозапасов должны быть увеличены на 50%, а значения почвенных температур на 10%.

Из рисунка 53 видно, что выращивание облепихи в условиях Алтайского Приобья возможно без привлечения дополнительной оросительной воды. Для этого нужно предусмотреть равномерное распределение атмосферной влаги в течение вегетационного периода с отклонением величин продуктивных влагозапасов от оптимального W_{opt} не более $\pm 20\%$. При этом продуктивность облепихи будет составлять 60% от максимально возможной. Мероприятия по накоплению и распределению влаги в условиях сада были разработаны и подробно изучены академиком С.Н. Хабаровым (1991, 1999).

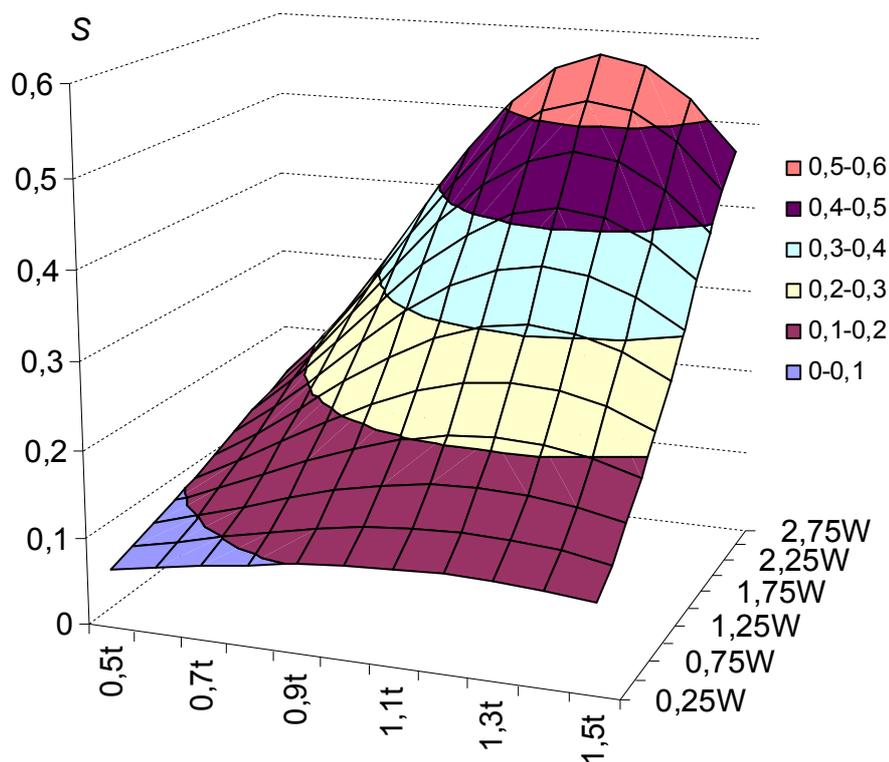


Рис. 55. Зависимость средней продуктивности жимолости при изменении температуры и влажности почвы в естественных условиях.

Для жимолости наблюдается несколько иной вид зависимости продуктивности от гидротермических факторов, чем для облепихи (рис.55-57). Изометрическая плоскость продуктивных влагозапасов представляет собой несимметричную плоскость с отсутствующим максимумом (рис.56), что говорит о не полностью раскрытом потенциале увеличения влагозапасов в рассматриваемом диапазоне их изменения.

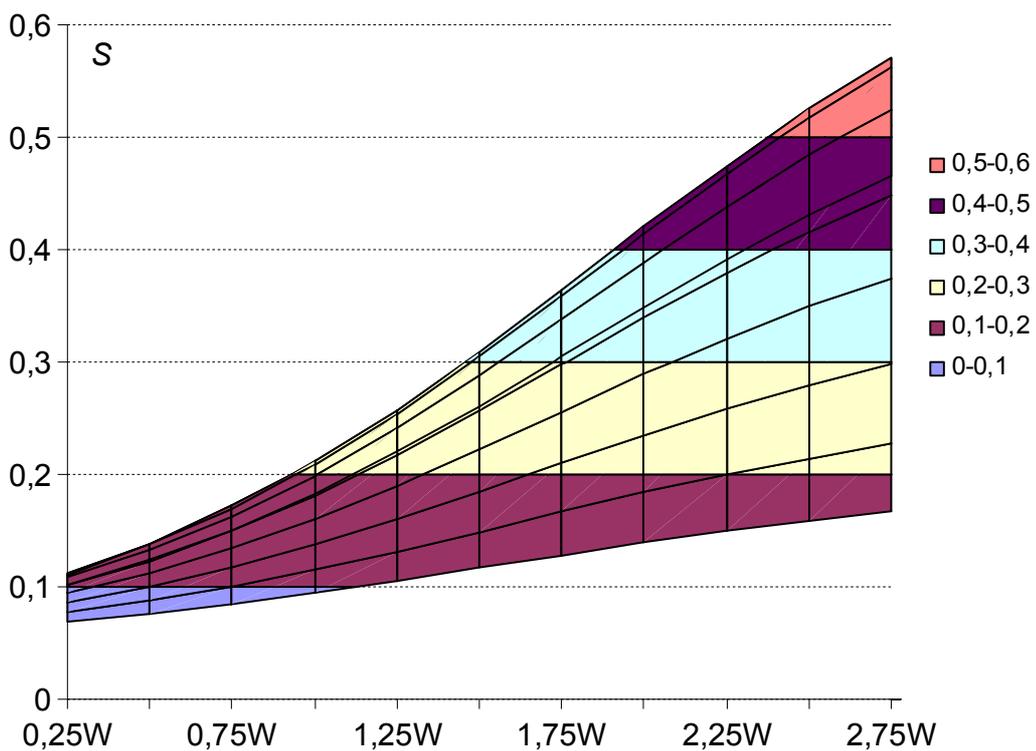


Рис. 56. Зависимость средней продуктивности жимолости при изменении температуры и влажности почвы в естественных условиях. Плоскость продуктивных влагозапасов (изометрия).

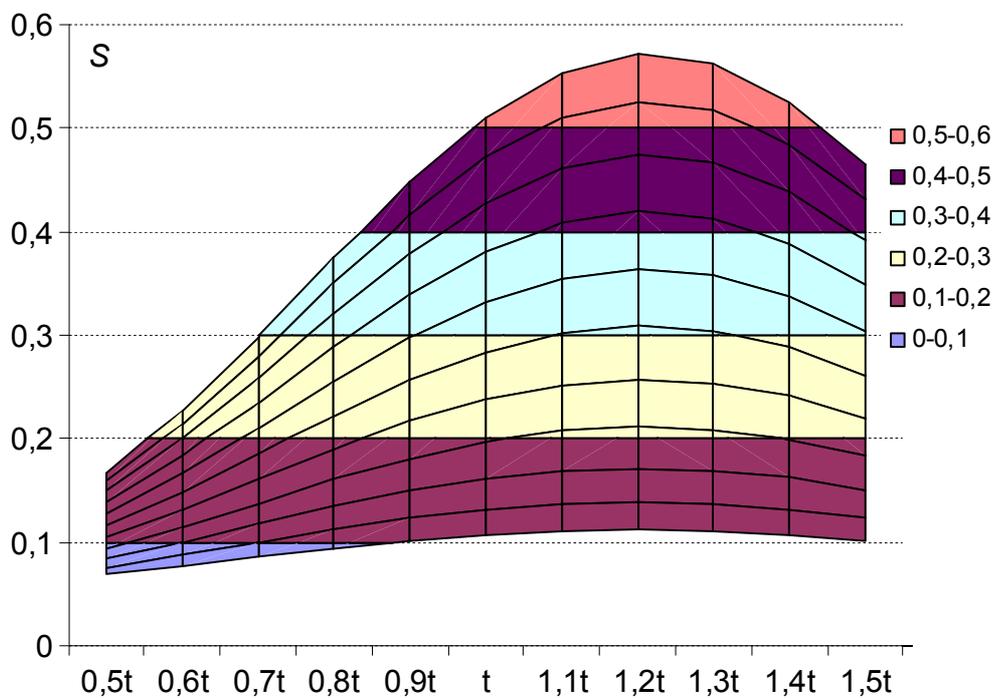


Рис. 57. Зависимость средней продуктивности жимолости при изменении температуры и влажности почвы в естественных условиях. Плоскость температуры (изометрия).

В естественных климатических условиях Алтайского Приобья относительная продуктивность жимолости составляет 10-20% от максимально возможной. При увеличении продуктивных запасов в метровом слое почвы в 2,8 раза и температуры почвы в 1,2 раза продуктивность жимолости увеличится до 55% от максимальной.

Уменьшение диапазона колебаний при одновременном увеличении абсолютных значений гидротермических факторов до величин не более $\pm 20\%$ от W_{opt} также как и для облепихи позволит значительно повысить продуктивность.

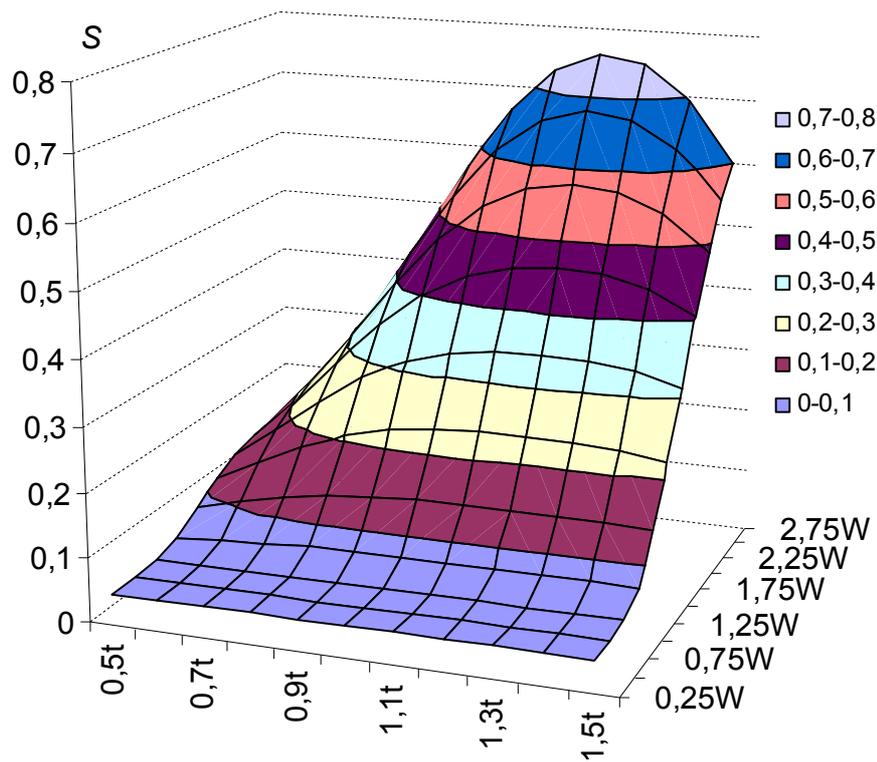


Рис. 58. Зависимость средней продуктивности жимолости при изменении температуры и влажности почвы при мелиоративном воздействии, $\sigma_W = 0,2W_{opt}$, $\sigma_t = 0,2t_{opt}$.

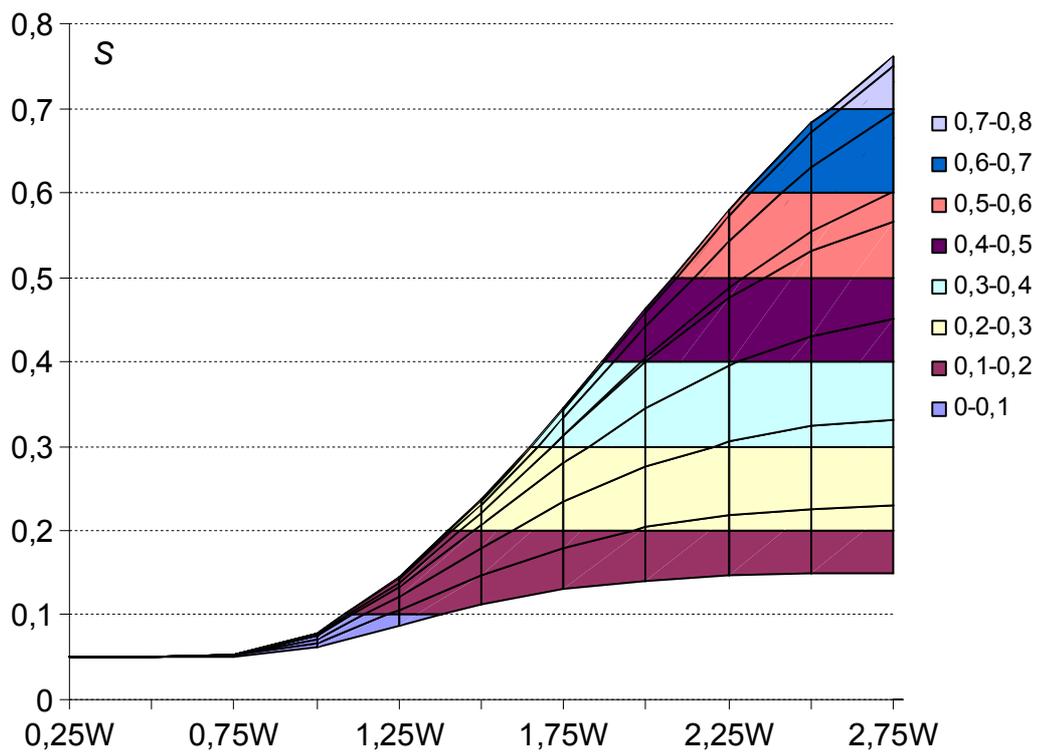


Рис. 59. Зависимость средней продуктивности жимолости при изменении температуры и влажности почвы при мелиоративном воздействии, $\sigma_W = 0,2W_{opt}$, $\sigma_t = 0,2t_{opt}$. Плоскость продуктивных влагозапасов (изометрия).

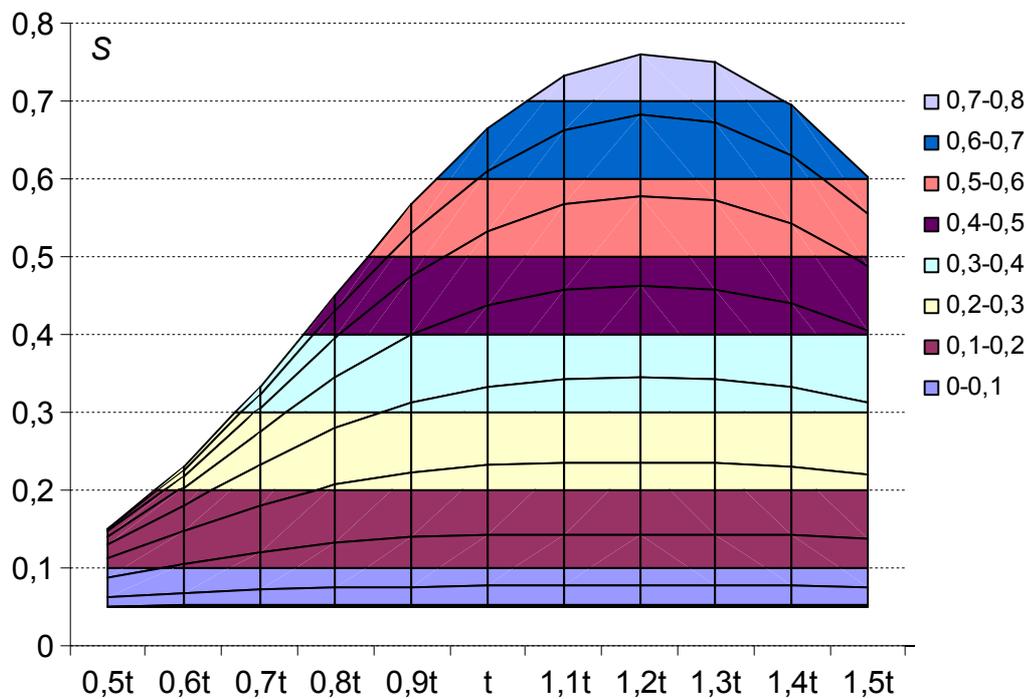


Рис. 60. Зависимость средней продуктивности жимолости при изменении температуры и влажности почвы при мелиоративном воздействии, $\sigma_W = 0,2W_{opt}$, $\sigma_t = 0,2t_{opt}$. Плоскость температуры (изометрия).

Так при значениях продуктивных влагозапасов больших в 2,8 раза, чем исходных (существующих) и среднеквадратических отклонений $\sigma_W = 0,2W_{opt}$, $\sigma_t = 0,2t_{opt}$ относительная продуктивность жимолости может достигать 75% от максимально возможной.

Рассмотренные варианты возможного увеличения продуктивности ягодных культур в условиях Алтайского Приобья открывают возможности для разработки приемов и методов управления факторов среды их развития.

ВЫВОДЫ

1. Исследуемый чернозем имеет среднесуглинистый гранулометрический состав, структурированный, с оптимальными гидрофизическими свойствами, что способствует созданию благоприятных условий для обеспечения ягодных насаждений влагой и воздухом. Содержание гумуса, одного из основных показателей почвенного плодородия, в почвах Алтайского Приобья достаточно для роста и развития ягодных культур.

2. В целом кривые водоудерживания чернозема выщелоченного в условиях ягодного сада имеют выраженную S-образность с дифференциацией по профилю вплоть до верхнего предела иссушения с перегибом в области давления барботирования, имеющей довольно широкий диапазон по сравнению с более легкими почвами Алтайского края.

3. Максимальные значения критических состояний влаги чернозема выщелоченного свойственны гор. Ап и АВ, далее по профилю они уменьшаются.

4. Черноземы выщелоченные Алтайского Приобья имеют наименьшую противозерозионную устойчивость по сравнению с другими зональными почвами, что необходимо учитывать при разработке и закладке новых садов в данной почвенно-климатической зоне.

5. В острозасушливые годы в условиях Алтайского Приобья больше всего ощущалась нехватка почвенной влаги под жимолостью, а во влажные практически одинаковое влагосодержание почвы под жимолостью и облепихой.

6. За годы исследования в условиях Алтайского Приобья значения давления почвенной влаги под ягодными культурами были ниже критического уровня, поэтому полная реализация потенциала продуктивности облепихи и жимолости возможна только при наличии полива.

7. Лимитирующим фактором продуктивности ягодных культур в условиях Алтайского Приобья являются продуктивные влагозапасы, а средне многолетние температуры почвы оптимальны.

8. При мелиоративном воздействии на посадки облепихи путем уменьшения колебаний содержания почвенной влаги, не превышающих $\pm 20\%$ от оптимального уровня, и увеличения значений продуктивных влагозапасов на 50% возможен рост относительной продуктивности данной культуры до величины 0,8.

9. Выращивание облепихи в условиях Алтайского Приобья возможно без привлечения дополнительной оросительной воды. Для этого нужно предусмотреть равномерное распределение атмосферной влаги в течение вегетационного периода с отклонением величин продуктивных влагозапасов от оптимального W_{opt} не более $\pm 20\%$. При этом продуктивность облепихи будет составлять 60% от максимально возможной.

10. Для реализации наиболее полного потенциала продуктивности жимолости необходимо увеличить почвенные влагозапасы в 2,8 раза, при этом размах их отклонений от оптимального уровня не должен превышать $\pm 20\%$.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для реализации наиболее полного потенциала продуктивности ягодных культур в условиях Алтайского Приобья необходимо увеличить почвенные влагозапасы в 2,8 и 1,5 раза для жимолости и облепихи соответственно, при этом размах их отклонений от оптимального уровня не должен превышать $\pm 20\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова М.М. Передвижение воды в почве при ее испарении // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1953. Т. 41
2. Аверьянов С.Ф. Зависимость водопроницаемости грунтов от содержания в них воздуха. // Докл. АН СССР, 1949. Т. 69, № 2, с. 141-144
3. Агроклиматический справочник по Алтайскому краю. – Л.: Гидрометиздат, 1957. — 167 с.
4. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательных режимов орошаемого земледелия. М., "Агропромиздат", 1985, 304 с
5. Алиев А.Г. Экологическая целесообразность интенсивности водоподачи различными технологиями орошения в условиях горного земледелия // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета, 2013. – №3. – С. 35-43.
6. Алтайский край. Атлас. – М. – Барнаул: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1978.
7. Баденко В.Л. Агрофизические исследования почвы для технологий точного земледелия: постановка задачи и метод [Текст] / В.Л. Баденко, В.В. Терлеев, Н.К. Латышев, И.Ю. Крылова, Л.С. Муравьева // Плодородие. – 2011. – № 1. – С. 29-31.
8. Баденко В.Л. ГИС-технологии в информационном обеспечении системы имитационного моделирования AGROTOOL [Текст] / В.Л. Баденко, Г.В. Баденко, В.В. Терлеев, Н.К. Латышев // Агрофизика. – СПб: Изд-во: Агрофизич. науч.-исслед. инст. Росс. академ. с.-х. наук, 2011. – № 3. – С. 1-5.
9. Баденко В.Л. Разработка базового варианта интеграции ГИС и AGROTOOL [Текст] / В.Л. Баденко, Н.К. Латышев // Материалы научной сессии по итогам 2011 года агрофизического института: сб. статей. – СПб: Изд-во: Агрофизич. науч.-исслед. инст. Росс. академ. с.-х. наук, 2012. – С. 23-27.

10. Баденко В.Л. Учет пространственной variability гидрофизических свойств почв при моделировании продукционного процесса растений [Текст] / В.Л. Баденко, В.В. Терлеев, В. Миршель, О.Г. Никонова // Агрофизика. – СПб: Изд-во: Агрофизич. науч.-исслед. инст. Росс. академ. с.-х. наук, 2013. – № 1. – С. 13-22.
11. Бадмаев Н. В., Корсунов В. М., Куликов А. И. Тепловлагообеспеченность склоновых земель. Улан-Удэ. – Бурят. Науч. центр, 1996. – 125 с.
12. Базарон Э.Г., Цыбикова Д.Ц. Облепиха – лечебное свойство индотибетской медицине // Раст. Ресурсы, Т.14, вып.1. – М., 1978. – С. 67-69.
13. Барыкина В. В. Природные ресурсы облепихи на территории СССР и их охрана // Облепиха в культуре. Сб. матер. Всесоюз. совещ. 26-30 авг. 1969 г. Барнаул, 1970. – С. 19-22.
14. Богуславская Н.В. Природно-антропогенные факторы деградации почвенного покрова аридных ландшафтов Чеченской республики // Экологическая безопасность в АПК, 2011. – № 2. – С.337-339.
15. Болотов А.Г. Основные гидрофизические характеристики каштановых почв сухой степи Алтайского края / А.Г. Болотов, Е.В. Шеин, Е.Ю. Милановский, З.Н. Тюгай, Т.Н. Початкова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 9. – С. 36-41.
16. Болотов А.Г. Расчет энергии водоудерживающей способности почвы / А.Г. Болотов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С. 26-29.
17. Болотов А.Г. Расчет энергии водоудерживающей способности почвы через почвенно-гидрологические константы / А.Г. Болотов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 11. – С. 34-36.
18. Болотов А.Г., Дубский С.Н., Шаталов Александр Н., Шаталов А.Н., Бутырин И.Н., Кузнецов Е.Н., Гончаров И.А., Гончаров Н.А. Моделирование

основной гидрофизической характеристики черноземов Алтайского края // Вестник АГАУ, 2015. – № 2. – С. 31-35.

19. Бондаренко Н. Ф., Жуковский Е. Е., Мушкин И.Г., Нерпин С. В., Полуэктов Р. А., Усков И. Б. Моделирование продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 264 с.

20. Бурлакова Л.М. Плодородие Алтайских черноземов в системе агроценоза / Л.М. Бурлакова. Новосибирск: Наука СО, 1984. 198 с.

21. Бурлакова Л.М., Татаринцев Л.М., Рассыпнов В.А. Почвы Алтайского края: Учеб. пособие. Барнаул: АлтСХИ, 1988. – 72 с.

22. Бутыло А.П. Результаты 16-летних исследований водного режима почвы по паровой и дерново-перегнойной системам его содержания на долголетних фонах различных систем / А.П. Бутыло // Збірник наукових праць уманського національного університету садівництва. – Умань: Уманский национальный университет садоводства. – 2011. – №77. – С.32-39.

23. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

24. Валеева А.А., Александрова А.Б., Копосов Г.Ф., Матвеева Н.М. Идентификация ранних стадий разрушения физической основы почв. Почвоведение в России: вызовы современности, основные направления развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием к 85-летию Почвенного института им. В. В. Докучаева, М.: 2012. – С.281-284.

25. Васильченко Г. В. Влияние погодных условий на продуктивность облепихи // Облепиха в культуре: Сб. мат. Всесоюз. совещ. 26-30 авг. 1969 г. Барнаул. 1970. – С. 45-50.

26. Васильченко Г. В. Снежный покров и сад. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 120 с.

27. Владыченский С.А. Сельскохозяйственная мелиорация почв. Изд-во МГУ, 1972г. с. 397
28. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. – М.:Наука, 1974. – 128 с.
29. Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Изд-во Моск.ун-та. 1986. – 244 с.
30. Воронин А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв. М.: МГУ, 1984. – 204 с.
31. Гаджиев И.М. Особенности развития почв Западной Сибири и некоторые вопросы их классификации / И.М. Гаджиев, В.М. Курачев, В.А. Хмелев и др. // Проблемы Сибирского почвоведения. Новосибирск: Наука СО, 1977. С. 5-16.
32. Гатин Ж. И. Облепиха. М.: Сельхозгиз, 1963. – 159 с.
33. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 428с.
34. Глобус А.М. Физика неизотермического внутрипочвенного теплообмена. Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 258 с.
35. Голованов А.И., Абдельазим М.М. Особенности формирования водного режима почв при капельном орошении в условиях Египта // Природообустройство, 2013. – №1. – С.29-31
36. Горяев В.Е. О путях воспроизводства плодородия почв // Тез. к VIII съезду почвоведов. Новосибирск, 1989. – С.20.
37. Губер А.К., Шеин Е.В. Адаптация и идентификация математических моделей переноса влаги в почвах // Почвоведение. 1997. № 9. С. 1107-1119
38. Ермаков Б. С., Фаустов В. В. Технология выращивания облепихи. М.: Россельхозиздат, 1983. – 63 с.
39. Зайдельман Ф. Р. Мелиорация почв. М.: Изд-во МГУ, 2004. – 205 с.
40. Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв. // М., МГУ, 1987, 304с
41. Заславский Б.Г. Диалоговая система формирования банка гидрофизических характеристик почв [Текст] / Б.Г. Заславский, И.В. Опарина,

- В.В. Терлеев // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 1988. – № 11. – С. 40-42.
42. Заславский Б.Г. Моделирование гидрофизических характеристик почв [Текст] / Б.Г. Заславский, В.В. Терлеев // Тезисы докл. Всесоюз. школы-семинара «Автоматизация научных исследований и проектирования АСУ ТП в мелиорации». – Фрунзе: Изд-во ВНИИКА мелиорация, 1988. – С. 82.
43. Заславский Б.Г., Полуэктов Р.А. Управление экологическими системами. М: Наука, 1988, 296 с.
44. Захаров В.Л. Влияние системы содержания и типа почвы на рост и плодоношение яблони / В.Л. Захаров, Г.Н. Пугачев // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет. – 2011. – №1-1. – С.106-111.
45. Иоффе А. Ф. Основы агрофизики. Физматгиз. М.: 1959. – 596 с.
46. Калинина И.П. Результаты и перспективы научных исследований по облепихе // 2 Международный симпозиум по облепихе. Тезисы докладов. – Новосибирск, 1993. – С. 3-5.
47. Калмыкова О.В. Эффективность применения биопрепаратов в яблоневом саду в условиях нижнего Поволжья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2014. – №5. – С.20-23.
48. Качинский Н.А. Физика почвы. Ч. II. Водно-физические свойства и режимы почв. М.: «Высшая школа». 1970. 360 с.
49. Кириченко А.В., Макаров И.В., Степаненко С.С. Повышение урожайности садов промышленного типа на основе регулирования водного режима почвы // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2013. – №3. – С.33-39.
50. Кондратьев К.И. Способ содержания почвы с применением зеленых удобрений в орошаемых семечковых садах Поволжья: автореферат диссертации на соискание кандидата сельскохозяйственных наук. Саратов, 1967. – 32 с.

51. Крылова И.Ю. Моделирование гидрологических характеристик почвы [Текст] / И.Ю. Крылова, В.В. Терлеев // XXXVII неделя науки СПбГПУ: матер. Всерос. межвуз. науч. конф. студ. и аспирантов. – СПб: Изд-во СПб гос. политех. универ., 2008. – С.92-95.
52. Крылова И.Ю. Моделирование почвенно-гидрофизических характеристик в задачах природообустройства и рационального использования земельных ресурсов [Текст] / И.Ю. Крылова, В.В. Терлеев // XXXVIII неделя науки СПбГПУ: матер. Всерос. межвуз. науч. конф. студ. и аспирантов. – СПб: Изд-во: СПб гос. политех. универ., 2009. – С. 343-345.
53. Крылова И.Ю. Оценка ОГХ почвы по агрофизическим показателям и эмпирической зависимости Воронина [Текст] / И.Ю. Крылова, В.В. Терлеев // сб. тр. конф. – СПб: Изд-во СПб гос. политех. универ., 2008. – С. 295-297.
54. Кудрук И.И. Клинико-фармакологические эффекты БАВ, содержащиеся в облепихе // Мат-лы III международного симпозиума по облепихе – Новосибирск, 1998. – С. 109-110.
55. Кудряшова С.Я., Чичулин А.В. Нелинейные методы в физике почв. Тез. докл. 2 Съезда О-ва почвоведов, Санкт-Петербург, 27-30 июня, 1996. Кн.1.-М., 1996. с. 85-86.
56. Кудряшова С.Я., Чичулин А.В. Энергетические аспекты оптимизации сложения профиля серых лесных почв // Тез. к VIII съезду почвоведов. Нов-ск, 1989, с. 101.
57. Кулик В.Я. Инфильтрация воды в почву. М. Колос. 1978 с. 93.
58. Латышев Н.К. Учет пространственной variability водно-физических свойств почв в модели роста и развития сельскохозяйственных растений [Текст]: автореф. дис. ... канд. наук / Н.К. Латышев. – М., 2013. – 27 с.
59. Лебедев Н.П. Эволюция представлений в географии черноземов Алтайского края и изменение их свойств за последние полтора десятилетия /

Н.П.Лебедев // Геохимические и почвенные аспекты в изучении ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1975г. С. 92-103.

60. Лихацевич А.П. Определение наименьшей влагоемкости по физическим характеристикам почв// Мелиорация и водное хозяйство НТИ Минск. Урожай, 1984 вып.12.

61. Макарычев С. В., Мазиров М. А. Теплофизика почв: методы и свойства. – Суздаль 1996, 231 с.

62. Макарычев С.В. Природно-климатическое районирование и теплофизические особенности почвенного покрова Алтайского края. Материалы II Межд. конф. «Антропогенное воздействие на лесные экосистемы», г. Барнаул, 2002.

63. Макарычев С.В. Теплофизические свойства выщелоченных черноземов Алтайского Приобья. Новосибирск, 1980, Автореф. канд. дисс.

64. Макарычев С.В. Теплофизические свойства почв Юго-Западной Сибири. Автореферат док. дисс., М., МГУ, 1993

65. Макарычев С.В., Трофимов И.Т. Возможности повышения плодородия почв на основе регулирования их теплофизического состояния. // Сб. научных трудов «Почвенно-агрономические проблемы Западной Сибири», АГАУ, Барнаул, с. 36-40

66. Мамихин С. В. Воспроизведение температурного и гидрологического режимов почвы в математических моделях сухопутных экосистем. вестн. МГУ. Сер. 17. – 1997. - №3. – с. 7-10, 49.

67. Матафонов И. И. Облепиха (влияние на организм животного). Новосибирск: «Наука», 1983. – 168 с.

68. Михайлова Н. В. Прогрессивные способы возделывания облепихи на юге Западной Сибири: Монография. Барнаул: Азбука, 2005. – 168 с.

69. Михайлова Н. В. Развитие эрозионных процессов и агрофизические показатели почвы в орошаемом облепиховом саду. // Диссер. на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Барнаул, 1993.
70. Михеев А. М., Деменко В. И. Облепиха. М.: Росагропромиздат, 1990. – 48 с.
71. Морковкин Г.Г. Антропогенная трансформация почвообразования и плодородия черноземов в системе агроценозов (на примере степной зоны Алтайского края) / Г.Г. Морковкин: автореф. дис. доктора с.-х. наук. Барнаул, 2000, 39 с.
72. Мочалов В. В. Облепиха. Новосибирск: Зап.-сиб. книжн. изд-во, 1973. – 71 с.
73. Мушкин И. Г. Влагообеспеченность сельскохозяйственных полей. Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 105 с.
74. Пантелеева Е. И. Облепиха крушиновая (*Hipporhae rhamnoides* L.): монография / СО РАСХН НИИСС. Барнаул, 2006. – 249 с.
75. Пантелеева Е. И. Особенности агротехники облепихи на Алтае // Облепиха в культуре: Сб. мат. Всесоюз. совещ. 26-30 авг. 1969 г. Барнаул. 1970. С. 76-81.
76. Панфилов В.П., Макарычев С.В., Лунин А.И. и др. Теплофизические свойства и режимы черноземов Приобья. Новосибирск. Наука, 1981, с.118.
77. Пачепский Я.А. Математические модели процессов переноса в мелиорируемых почвах. М.: Изд-во МГУ. 1992. 85 с.
78. Пентегов В. А. Биология, химия и фармакология облепихи. Новосибирск: «Наука», 1983. – 130 с.
79. Полевой А. Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 319 с.
80. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистем.. СПб, Гидрометеиздат. 1993. – 310 с.

81. Полуэктов Р.А. Динамическая модель продукционного процесса посевов как интеллектуальное ядро информационных технологий точного земледелия [Текст] / Р.А. Полуэктов, В.В. Терлеев, И.В. Опарина, А.Г. Топаж, Б.И. Бакаленко, Н.А. Глядченкова // Отчет НИР/НИОКР гранта 04-05-6498-а. – 2006. – 16 с.
82. Полуэктов Р.А. Динамическая модель продукционного процесса посевов как интеллектуальное ядро информационных технологий точного земледелия [Текст] / Р.А. Полуэктов, В.В. Терлеев, И.В. Опарина, А.Г. Топаж, Б.И. Бакаленко, Н.А. Глядченкова // Отчет НИР/НИОКР гранта 04-05-6498. – 2007. – 26 с.
83. Почвы Алтайского края. - М.: АН СССР, 1959. – 392 с.
84. Почвы Алтайского края. Учебное пособие. Котельников В.И., Стругалева Е.В., Пикалов М.А. Новосибирск, 1974г.
85. Предеина Р. В. Удобрение облепихи в условиях Алтайского края // Физиология, экология и агротехника садовых культур: Сб. науч. трудов. Новосибирск, 1985. – С. 155-159.
86. Пузанов А.В. Водопроницаемость горно-лесных и степных почв Алтая как фактор выщелачивания макроионов (модельный эксперимент в почвенных колонках) / А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 7. – С. 48-55.
87. Пузанов А.В. Сравнительный анализ основной гидрофизической характеристики степных и горно-лесных почв Алтая, восстановленной расчетными методами / А.В. Пузанов, С.В. Бабошкина, Т.А. Рождественская, С.Н. Балыкин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 12. – С. 29-35.
88. Растворова О. Г. Физика почв (Практическое руководство). Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 196 с.

89. Роде А. А. К вопросу о «водно-физических константах» почвы // Почвоведение, 1961. – № 6. – С. 6-38.
90. Роде А. А. Методы изучения водного режима почв. М. Из-во АН СССР. – 1960. – 244 с.
91. Роде А. А. Основные учения о почвенной влаге. Т. 1. Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 663 с.
92. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 2. Методы изучения водного режима почв. Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 287 с.
93. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Т.2.// Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 287 с.
94. Роде А. А. Почвенная влага. М.: Изд-во АН СССР. – 1952.
95. Романенко М. Д. Влияние длительного применения удобрений на плодородие почвы в садах // Автореферат диссертации кандидата сельскохозяйственных наук. – Кишинев. – 1966. – 26с.
96. Саранцев А. Ю. Анализ модели тепловлагодобаланса почвы по экспериментальным результатам. Тез. докл. 44 Науч. конф. проф.-преп. состава, сотр. и аспирантов Сам. гос. с.-х. акад., Самара, 1997. – с. 9.
97. Симоненко А. П., Парамонов Е. Г., Ишутин Я. Н., Симоненко Т. И. Лесоразведение на Алтае: Монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. – 240 с.
98. Сиротенко О. Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат. 1981. – 163 с.
99. Скуридин Г. М. Биологические особенности облепихи // Облепиха в лесостепи Приобья: Сб. науч. трудов / СО РАСХН, Новосибирск, 1999. – С. 6-28.
100. Слейчер Р. Водный режим растений. М.: Мир, 1970. – 142 с.
101. Слейчер Р., Макилрой И. Практическая микроклиматология. М.: Изд-во «Прогресс», 1964. – 132 с.

102. Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 328–341.
103. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Мизури Маауиа Бен-Али. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования // Почвоведение. – 1998. – №11. – С.1362-1370.
104. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Хайдапова Д.Д., Шевченко Е.М. Экологическая оценка биофизического состояния почв. М.:МГУ, 1999. – 48с.
105. Сметник А.А. Шеин Е.В. Спиридонов Ю.А. Миграция пестицидов в почвах. М.: РАСХН-ВНИИФ, 2005г 239с.
106. Судницын И.И. Гидрологические свойства и режимы почв южного берега Крыма / И.И. Судницын // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2014. – №4. – С.21-27.
107. Судницын И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 255 с.
108. Судницын И.И. Закономерности передвижения почвенной влаги. М.: Наука, 1964.
109. Сысуев В.В. Моделирование процессов в ландшафтно геохимических системах. М: Наука, 1986, 301 с.
110. Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. – М.:Гриф и К, 2007. – 616 с.
111. Терлеев В.В. Моделирование главных ветвей иссушения и увлажнения петли гистерезиса водоудерживающей способности почвы [Текст] / В.В. Терлеев, А.Г. Топаж, В. Миршель, П.Д. Гурин // Агрофизика. – СПб: Изд-во: Агрофизич. науч.-исслед. инст. Росс. академ. с.-х. наук, 2013. – № 1. – С. 22-29.
112. Терлеев В.В. Оценка основной гидрофизической характеристики с использованием агрофизических показателей почвы и эмпирических зависимостей [Текст] / В.В Терлеев, В. Миршель, И.Ю. Крылова // Математические модели и информационные технологии в

- сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы: матер. Всерос. конф. – С-Пб.: Агрофизич. науч.-ис. инст. Рос. академ. с.-х. наук, 2010. – С. 146-149.
113. Терлеев В.В. Расчет параметров функций почвенных гидрофизических характеристик в модели водного режима почв [Текст] / В.В. Терлеев // Особенности культурного почвообразовательного процесса и моделирование плодородия почв Нечерноземной зоны РСФСР: сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. – Л.: СЗНИИСХ, 1989. – С. 98-104.
114. Терлеев В.В. Структура информационного обеспечения модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур [Текст] / В.В. Терлеев, Р.А. Полуэктов, Б.И. Бакаленко // Агрофизика. – СПб: Изд-во: Агрофизич. науч.-исслед. инст. Росс. академ. с.-х. наук, 2012. – № 2. – С. 29-36.
115. Терлеев В.В. Физико-статистическая интерпретация параметров функции водоудерживающей способности почвы [Текст] / В.В. Терлеев, W. Mirschel, В.Л. Баденко, Гусева И.Ю. П.Д. Гурин // Агрофизика. – СПб: Изд-во: Агрофизич. науч.-исслед. инст. Росс. академ. с.-х. наук, 2012. – № 4. – С. 1-9.
116. Тихонравова П.И. Оценка теплофизических свойств почв солонцового комплекса Заволжья // Почвоведение. 1991. № 5. С. 50-61.
117. Трофимов Т. Т. Облепиха. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 224 с.
118. Трунов И. А., Козлова И. И., Котельников А. А. Особенности корневой системы облепихи на выщелоченном черноземе // Пути повышения устойчивости садоводства: Сб. науч. трудов / ВНИИС им. И.В. Мичурина. г. Мичуринск, 1998. – С. 199-200.
119. Турецкова В.Ф., Азарова О.В. О возможности рационального использования отходов возделывания облепихи // Мат-лы III международного симпозиума по облепихе – Новосибирск, 1998. – С. 107-109.
120. Турусов В.И., Гармашов В.М., Сальников М.И., Нужная Н.А., Гаврилова С.А. Новые подходы к оценке биоклиматического потенциала при

проектировании адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Достижения науки и техники АПК. – 2013 г. – № 12. – С. 12-15.

121. Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв / А.Б. Умарова: автореф. дис. доктора биол. наук. – Москва, 2008. – 50 с.

122. Федотов И. А. Влияние высоты снежного покрова и влажности почвы на водный режим облепихи в уплотненных посадках // Проблемы рационального природопользования в Алтайском крае: Сб. науч. трудов. Барнаул, 2005. – С. 117-122.

123. Фефелов В. А. Сезонный ритм развития облепихи различного происхождения в культуре // Биологические аспекты интродукции, селекции и агротехники облепихи: сб. науч. трудов. Горький, ГСХИ. 1985. – С. 64-71.

124. Фефелов В. А., Смертин М. П. Компоненты зимостойкости у сортов и гибридов облепихи крушиновой (*Hipporhae rhamnoides* L.) // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ / ВСТИСП. М., 2006. – С. 191-203.

125. Хабаров С. Н. Агрэкоэкосистемы садов юга Западной Сибири / СО РАСХН НИИСС им. М.А. Лисавенко. Новосибирск, 1999. – 308 с.

126. Хабаров С. Н. Организация насаждений облепихи // Технология интенсивного возделывания насаждений облепихи в Сибири. Рекомендации. Новосибирск, СО ВАСХНИИЛ, 1989. – С. 13-16.

127. Хабаров С. Н. Почвозащитные мероприятия в садах Западной Сибири. М.: Росагропромиздат, 1991. – 190 с.

128. Хмелев В.А. Лёссовые черноземы Западной Сибири / В.А. Хмелев. Новосибирск: Наука СО, 1989. 201 с.

129. Хмелев В.А. О черноземах Алтая / В.А. Хмелев // Исследование почв Сибири. Новосибирск: Наука СО, 1977. С. 62-83.

130. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1955. – 98 с.

131. Чеботарев Ю.А. Расчет распределения влаги осадков в почве // Почвоведение. 1987. № 6. С. 112-115.
132. Черников Е.А. Влияние рельефа на водно-физические свойства почвы сада / Е.А. Черников, В.П. Попова // Плодоводство и ягодоводство России. – М.: Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства Россельхозакадемии. – 2014. – №1. – С. 344-347.
133. Чичулин А. В. Структурно – генетическая концепция физических свойств почв. – Тез. докл. VIII съезда почвоведов. Новосибирск, 1998, с. 83.
134. Шабанов В.В., Орлов И.С. Оценка природно-хозяйственного риска в условиях изменения климата. М.: TEMPUS - SWARP - ICT 21051, 2003. – 218с.
135. Шеин Е.В. Курс физики почв.- М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
136. Шеин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М., Губер А.К., Початкова Т.Н., Сидорова М.А., Смагин А.В., Умарова А.Б. «Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв» Изд-во МГУ, 2001г.
137. Шеин Е.В., Гончаров В.М. Агрофизика [Текст] / Е.В. Шеин, В.М. Гончаров - Ростов-на-Дону: Феникс, 2006 – с. 400.
138. Шеин Е.В., Губер А.К., Кухарук Н.С. Перенос воды и веществ по макропорам в дерново-подзолистой почве // Почвоведение, 1995, №2, с.22-32.
139. Шеин Е.В., Марченко К.А.. Преимущественные пути миграции влаги // Почвоведение, 2002, №1, с.45-49.
140. Шматова Т. М. Совершенствование элементов технологии размножения облепихи способом зеленого черенкования в культивационных сооружениях с частичным пленочным укрытием: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Барнаул, 2014. – 20с.
141. Шульгин А. М. Агрометеорология и агроклиматология. Л.:Гидрометеоиздат, 1978. – 231 с.
142. Шульгин А. М. Климат почвы и его регулирование. 2-е издание. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 224 с.

143. Шульгин И. А. Солнечная радиация и растение. Л.:Гидрометеоиздат. 1967. – 179 с.
144. Шуравилин А.В., Бородычев В.В., Лытов М.Н., Сергиенко А.В. Водный режим почвы и продуктивность яблоневого сада // Вестник РУДН. Серия: агрономия и животноводство, 2008. – №4. – С.14-18.
145. Щербаков Р.А., Пачепский Я.А., Кузнецов М.Я. Сравнение методов расчета одномерного влагопереноса в почвах // Водные ресурсы. 1986. №1. С.9-14.
146. Юмашев Н.П., Пугачев Г.Н., Захаров В.Л., Шелковников В.В., Латышов И.В. Роль известкования почвы в яблоневых садах // Агрохимический вестник, 2010. – №5. – С.14-17.
147. Яковченко М.А., Дремова М.С. Воспроизводство плодородия почв: исследование влажности и реакции почвенной среды // Вестник Кург. ГСХА. 2012. – №4. – С.23-25.
148. Chau H. W., Biswas A., Vujanovic V., Si B. Ch. Relationship between the severity, persistence of soil water repellency and the critical soil water content in water repellent soils // Geoderma, Volumes 221–222, June 2014, Pages 113-120.
149. Humberto Blanco-Canquia, R. Lal. Axle-load impacts on hydraulic properties and corn yield in no-till clay and silt loam // Courtesy of Soil Science Society of America Nov. 7, 2008
150. Jeyakumar P., Müller K., Deurer M., van den Dijssel C., Mason K., Le Mire G., Clothier B. A novel approach to quantify the impact of soil water repellency on runoff and solute loss // Geoderma, Volumes 221–222, June 2014, Pages 121-130.
151. Liu Sh., Yasufuku N., Liu Q., Hemanta H. Physically based closed-form expression for the bimodal unsaturated hydraulic conductivity function // Courtesy of Water Science & Technology: Jul. 19, 2013

152. Mirbabaei S. M., Shahrestani M.S., Zolfaghari A., Abkenar K.T. Relationship between soil water repellency and some of soil properties in northern Iran // *Catena*, Volume 108, September 2013, Pages 26-34.
153. Mowjood M. I. Mohammed, Ishiguro Kenji, Kasubuchi Tatsuaki. Effect of convection in ponded water on the thermal regime of a paddy field. – *Soil Sci.* – 1997. – 162, №8. – p. 583-587.
154. *Plant Environment and efficient water use.* 1981.Ed. By W.H.Pierre, Don Kirkham, J.Pesek,
155. R.Show. *ASA&SSSA of America.* 295 p.
156. Rousi A. The genus *Hippophae* L. A taxonomic study / A. Rousi. *Ann. Bot. Fennica*, 1971. V8, p. MI-221.
157. Simunek Jirka and Martinus Th. van Genuchten. Modeling Nonequilibrium Flow and Transport Processes Using HYDRUS. *Vadose zone journal*. Vol. 7, No. 2, May 2008.
158. Teng J., Yasufuku N., Liu Q., Liu Sh. Analytical solution for soil water redistribution during evaporation process // *Courtesy of Water Science & Technology*: Dec, 19, 2013
159. van Genuchten M. Th. Non-equilibrium transport parameters from miscible displacement experiments. *Research Report № 119*, U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California. 1981, 88 p.
160. van Genuchten M.T.H., Leij F.J., Yates S.R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils // *USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA.* – 1991. – 216 p.
161. van Genuchten M.Th. A Closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils / M.Th. van Genuchten // *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1980. – Vol.44. – P.892-898.

162. Viets F. G. Increasing Water Use Efficiency by Soil Management. In "Plant environment and efficient water use. Ed.by W.H.Pierre, Don Kirkham, John Pesek, Robert Shaw. Publ. by ASA&SSSA. 1981.
163. Xiaoa Z., Lub S., Heitman J., Hortond R., Ren'e T. Measuring Subsurface Soil-Water Evaporation with an Improved Heat-Pulse Probe // Soil Sci. Soc. Am. J. 2012. 76:876–879. doi:10.2136/sssaj2011.0052n.

Приложение 1

Метеорологические наблюдения по данным метеостанции НИИ садоводства им. М. А. Лисавенко
(среднеголетние)

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Температура воздуха, °С	-15,7	-15,2	-7,6	3,3	11,7	17,8	19,4	16,7	11,0	2,7	-6,5	-12,9
Сумма осадков, мм	23	18	17	24	40	44	64	45	28	44	29	24
Высота снежного покрова, см	20	23	21	–	–	–	–	–	–	–	10	17

Приложение 2

Метеорологические наблюдения по данным метеостанции НИИ садоводства им. М. А. Лисавенко за 2012

год.

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Температура воздуха, °С	-19,8	-19,5	-4,7	7,5	11,9	22,6	22,4	18,3	13,4	4,2	-5,7	-22,2
Мин	-38,0	-37,4	-20,1	-4,3	-2,5	12,5	13,0	7,8	2,5	-8,5	-20,5	-41,0
Макс	-4,9	-6,0	7,3	25,5	27,5	32,5	33,5	32,0	28,0	17,7	5,0	-5,0
Сумма осадков, мм	8,2	1,2	19	14	25	11	98	45	34	37	89	16
Максимальное значение осадков, мм	2	1,2	5	5	9	4	44	8	9	10	9	5
Число дней с осадками	21	7	12	14	16	13	12	18	17	16	28	23
Высота снежного покрова, см	25,6	27,6	23,0	2,0	–	–	–	–	–	–	29,0	46,6
Максимальное значение, см	28	28	29	3	–	–	–	–	–	–	42	49

Приложение 3

Метеорологические показатели по данным метеостанции НИИ садоводства им. М. А. Лисавенко за 2013

год.

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Температура воздуха, °С	-12,8	-13,3	-4,3	5,1	10,1	15,8	19,0	18,4	10,6	3,7	-0,7	-6,5
Температура воздуха миним., °С	-27,0	-27,5	-21,5	-11,2	1,0	2,0	7,5	8,3	-0,5	-6,9	-15,8	-30,5
Температура воздуха макс., °С	3,5	-3,2	6,0	21,2	26,0	28,0	29,5	30,0	26,0	21,8	12,3	6,1
Сумма осадков, мм	29	19	38	14	83	25	99	63	41	33	45	17
Максимальное значение осадков, мм	4	4	11	5	13	8	29	11	12	7	13	4
Число дней с осадками	27	21	18	16	22	8	17	17	15	18	18	21
Высота снежного покрова, см	56	66,9	60,6	33,7	–	–	–	–	–	0,7	2,8	4,8
Максимальное значение, см	63	74	73	52	–	–	–	–	–	2	5	12

Приложение 4

Метеорологические показатели по данным метеостанции НИИ садоводства им. М. А. Лисавенко за 2014

год.

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Температура воздуха, °С	-14,7	-18,8	-3,0	7,2	10,9	18,0	20,1	18,2	8,6	1,7	-8,0	-12,5
Температура воздуха миним., °С	-35,8	-36,5	-22,9	-7,5	-1,5	0,7	10,2	1,1	-2,3	-13,9	-32,7	-27,2
Температура воздуха макс., °С	2,7	0	14,8	24,7	26,1	31,5	35,9	32,1	24,7	13,8	5,5	1,4
Сумма осадков, мм	31	25	11	13	51	22	108	64	40	99	52	23
Максимальное значение осадков, мм	3	7	3	5	17	12	27	29	11	16	7	4
Число дней с осадками	25	14	16	11	14	6	16	6	15	27	20	20
Высота снежного покрова, см	16,1	25,7	24,8	1	–	–	–	–	–	8,7	13,1	36,2
Максимальное значение, см	21	39	41	1	–	–	–	–	–	16	31	41