

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Алтайский государственный аграрный университет»**

С.В. Макарычев, Л.В. Лебедева

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
И ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ПОЧВ
ПОД ДРЕВЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ДЕНДРАРИЯ**

Монография

Барнаул
РИО Алтайского ГАУ
2021

Рецензенты:

кандидат г.-м. наук, старший научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН **С.Г. Платонова**;

доктор с.-х. наук, доцент, научный консультант отдела геологии и гидрогеологии ООО «Центр инженерных технологий» **В.И. Заносова**.

Макарычев, С. В. Теплофизические свойства и гидротермические режимы почв под древесными насаждениями в условиях дендрария: монография / **С. В. Макарычев, Л. В. Лебедева**. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2021. – 95 с. – Текст: непосредственный.

ISBN 978-5-94485-245-8

В научном издании приведено пространственное и внутрипрофильное распределение теплофизических свойств в почвах разного генезиса под древесными насаждениями в условиях дендрария НИИ садоводства Сибири и выявлены определяющие их факторы. Экспериментально изучены тепловые и гидрофизические характеристики почв различных типов (чернозема выщелоченного и обыкновенного, серой лесной и дерново-подзолистой почвы). Выявлены закономерности формирования режимов тепла и влаги в почвах дендрария.

Проведенные исследования дают возможность получить целостную картину тепло- и водно-физического состояния генетических горизонтов почвенных профилей, а также оценить воздействие древесных насаждений на гидротермический режим почв с целью выработки последующих рекомендаций по созданию оптимальных условий для произрастания и воспроизводства лиственной и хвойной растительности.

Предназначено для научных работников, аспирантов, магистрантов и бакалавров классических и аграрных вузов, занимающихся исследованиями в области агрофизики и дендрологии.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА I. ИСТОРИЯ ВОПРОСА (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР).....	7
ГЛАВА II. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	14
ГЛАВА III. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	21
ГЛАВА IV. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ КУЛЬТУР.....	26
4.1. Дуб черешчатый летний (<i>G. Robur</i>).....	26
4.2. Береза тополелистная (<i>Betula populifolia</i>).....	27
4.3. Ель Энгельмана (<i>Picea engelmannii</i> (Parry) Engelm).....	28
4.4. Влияние почвенно-физических факторов на произрастание древесных насаждений и трансформацию почвенного покрова.....	29
ГЛАВА V. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ, ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА.....	32
5.1. Морфологическое строение почв и их физические свойства	32
5.2. Теплофизическая характеристика генетических горизонтов почв разного генезиса.....	40
5.2.1. Теплофизическая характеристика почвенного профиля чернозема выщелоченного.....	40
5.2.2. Теплофизические свойства черноземов обыкновенных.....	47
5.2.3. Теплофизические свойства серых лесных и дерново-подзолистых почв.....	52
5.2.4. Объемная теплоемкость почв разного генезиса как функция почвенно-физических факторов.....	58
5.3. Гидрофизические свойства почв.....	62
ГЛАВА VI. ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ ПОЧВЫ ПОД ДРЕВЕСНЫМИ ПОРОДАМИ В УСЛОВИЯХ ДЕНДРАРИЯ.....	66
6.1. Влажность, температура и влагозапасы в почвах разного генезиса.....	66
6.2. Сезонная динамика влажности и теплофизических свойств в почвах разного генезиса.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	81
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	83

ВВЕДЕНИЕ

Экология города во многом зависит от имеющих место водных и воздушных потоков, которые переносят не только загрязняющие вещества, но и чистый воздух и воду. В то же время наличие в городской черте свалок, промышленных предприятий, очистных сооружений также приводит к загрязнению окружающей среды. В связи с этим необходим поиск путей, направленных на экологическое совершенствование природопользования в пределах пригородной зоны. В результате особое значение приобретает наличие пригородных лесов и лесных насаждений. Они обеспечивают поступление кислорода, регулируют качество грунтовых и поверхностных вод, в целом обеспечивая сохранность экологического равновесия. Древесные породы способны из простых соединений (солей, углекислоты и воды) создавать необходимые белки, жиры и сахара, а фотосинтез, происходящий в зеленом листе, является процессом, от которого зависит благосостояние всего человечества.

Для условий города Барнаула важную роль играет такой природоохранный компонент, как дендрарий, расположенный в нагорной части города на территории НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко. Он включает в себя большое количество разнообразных древесных пород, кустарниковых и декоративных культур, таких как сосна, ель, береза, дуб, а также рябина, сирень, орех и т. д.

Поэтому нами была определена задача по изучению режимов тепла и влаги под древесными насаждениями (дуб, береза и ель). Целью этих исследований явилось определение температуры и почвенной влажности в горизонтах почв разного генезиса, а также экспериментальное измерение комплекса теплофизических характеристик и тепловых потоков в почвенном профиле. Знание этих показателей является основой для выработки мероприятий, которые могут обеспечить оптимальный гидротермический режим в почве для воспроизводства и сохранения уникальных древостоев.

Гидротермический режим, возникающий в почвенном профиле, определяет интенсивность роста и развития корневой системы, и тем самым самого растения. Следует отметить, что потоки тепла и влаги в значительной степени влияют на ком-

плекс теплофизических свойств и распределение температурных и водных градиентов в генетических горизонтах почвы.

Познание законов проявления гидротермического режима в почвах дендрария с учетом изменения их термических коэффициентов очень важно в связи с необходимостью разработки научно обоснованных мелиоративных приемов по созданию оптимального теплофизического состояния почвенного покрова под древесными насаждениями (Булыгин, 1985).

Следует подчеркнуть, что сведения о процессах формирования теплофизического состояния почв, режимов тепла и влаги под древесными породами в условиях дендрария практически отсутствуют, особенно в Сибири. В этой связи изучение комплекса тепловых свойств, а также режимов тепла и влаги в почвенных горизонтах под различными древесными породами весьма актуально.

Цель работы – изучить комплекс теплофизических характеристик совместно с особенностями формирования гидротермических режимов в почвах разного генезиса в условиях дендрария НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко.

Задачи исследований:

- экспериментально определить физико-механические и водно-физические показатели черноземов, а также серой лесной и дерново-подзолистой почв;
- экспериментально определить теплофизические коэффициенты генетических горизонтов почвенных профилей;
- определить основную гидрофизическую характеристику почв разного генезиса;
- выявить закономерности формирования режимов тепла и влаги в почвах под древесными насаждениями.

Научная новизна выполненных исследований состоит в том, что экспериментально изучены тепловые и гидрофизические характеристики почв различных типов (чернозема выщелоченного и обыкновенного, серой лесной и дерново-подзолистой почвы) под древесными насаждениями. Выявлены закономерности формирования режимов тепла и влаги почв в условиях дендрария.

Проведенные исследования дают возможность получить целостную картину тепло- и водно-физического состояния генетических горизонтов почвенных профилей, а также оценить воздействие древесных насаждений на гидротермический режим почв с целью выработки последующих рекомендаций по созданию оптимальных условий для произрастания и воспроизводства лиственной и хвойной растительности.

Длительное произрастание различных древесных пород в условиях дендрария преобразует зональный почвенный тип (черноземы выщелоченные) в серые лесные почвы под дубовыми насаждениями, в дерново-подзолистые почвы в еловых насаждениях и в черноземы обыкновенные в березовой роще и в травянистой залежи (поляне).

Поступление, аккумуляция и распределение тепла в почвах определяются их генетическими особенностями и физическими свойствами, климатическими условиями региона, а также биологическими различиями произрастающих древесных пород.

Знание теплофизических свойств и особенностей гидротермического режима почв под разными древесными породами позволяет произвести оценку процессов теплопередачи, теплоаккумуляции и влагопроводности в ее генетических горизонтах для условий Алтайского Приобья. Это позволяет прогнозировать и управлять запасами тепла и влаги в почвенном профиле для создания оптимальных условий произрастающим древесным насаждениям, что возможно при использовании различных мелиоративных приемов.

ГЛАВА I. ИСТОРИЯ ВОПРОСА (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

В первой половине двадцатого столетия такими учеными, как П.А. Костычев, Н.М. Сибирцев, В.И. Вернадский и другими были сформулированы основные задачи в области почвоведения. Это, прежде всего, касалось агрономии, почвенной географии и биогеохимии, а также экологии. Обобщение различных разделов почвоведения дало возможность представить почву как естественно-историческое природное биокостное тело, состоящее из твердой, жидкой, газообразной и живой фаз, в котором постоянно имеют место процессы взаимопревращения и распространения вещества и энергии.

Главным результатом почвообразования является почвенное плодородие, основным компонентом которого оказывается органическая часть твердой фазы почвы, что предопределяет возможность существования высшей растительности и микроорганизмов.

В почвенном профиле имеют место непрерывные процессы формирования воздушных, водных и теплофизических режимов в соответствии с атмосферным и внутрипочвенным климатом, общими физическими, водно-физическими и прочими факторами. Распространение тепла и влаги обуславливает формирование воздушных, гидротермических, биологических и питательных режимов, определяющих интенсивность химических реакций, деятельность живой фазы, прорастание семян и рост древесных пород.

В этой связи возникает необходимость изучения теплофизического и гидрофизического состояния генетических горизонтов почвенного профиля, что позволит прогнозировать развитие в них гидротермических режимов и создание оптимальных условий.

Теплофизическое состояние почвы определяется комплексом таких показателей, как удельная и объемная теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность, температура и тепловой поток.

Удельная теплоемкость (C) характеризует свойство почвы накапливать и удерживать тепло, измеряется количеством тепла в джоулях (калориях), которое нужно для изменения температуры 1 кг почвы на 1°C . Объемная теплоемкость (C_p) – это количество тепла, необходимого для нагревания 1 м^3 почвы на 1°C . Её величина определяется главным образом плотностью и влажностью почвы, содержанием гумуса в почве и другими факторами.

Теплопроводность определяется величиной количества тепла в джоулях (калориях), которое проникает за 1 с через 1 м² слоя почвы, толщиной в 1 м. Величина этого показателя изменяется в зависимости от влажности почвы и от количества почвенного воздуха, соотношения влаги и воздуха в поровом пространстве. Температуропроводность – это показатель, характеризующий изменение температуры 1 м³ почвы при градиенте температуры, равном единице. Она характеризует скорость изменения температуры в почвенном профиле.

Совокупность явлений теплообмена между почвой и приземным слоем воздуха характеризует тепловой режим почвенного профиля. Основным источником тепла в почве – солнечная радиация. В итоге тепловой режим почвы определяется соотношением между поступающей солнечной радиацией и тепловым излучением почвы.

Тепловой режим почвенного покрова определяется внешними (климатическими) факторами и внутренними свойствами почв, характеризующими их теплофизические свойства: которые, в свою очередь, зависят от целого ряда почвенно-физических факторов: гранулометрического и микроагрегатного составов, плотности, влажности, содержания гумуса и минеральных солей (Макарычев, 1980-2002). Соотношения между этими факторами устанавливают неоднородность почв по теплофизическим характеристикам и дают возможность целенаправленного воздействия на тепловой режим почвы, и тем самым на условия жизнедеятельности растений.

Изучение теплофизических коэффициентов почвы, её строения, физических, химических и физико-химических свойств позволяет определять температурно-влажностные соотношения в почвенном профиле, их влияние на произрастающие на поверхности почвы древесные породы и оценить различные тепло- и гидромелиоративных воздействия на произрастание растительных сообществ.

Значительный вклад в изучение теплофизических характеристик почв внес А.Ф. Чудновский и др., разработавшие ряд экспериментальных методов для определения их тепловых свойств (Чудновский, 1948; Димо, 1967 и др.).

Теплофизические свойства почв и методы их измерения изучались большим количеством исследователей как в нашей стране, так и за рубежом (Чудновский 1948-1976; Kersten, 1948-1949; Димо, 1976; deVries, 1950, 1952; Rao, 1975; Parikh и др., 1979).

Проводились экспериментальные измерения теплофизических параметров капиллярно-пористых тел с учетом влагопереноса, имеющего место при изменении температуры во влажных образцах (Лыков, 1956; Лунин, 1968-1981; Макарычев и др., 1980-2017; Дерягин и др., 1987; Nassar и др., 2000). Проводилось исследование фазовой структуры теплоток, получила дальнейшее развитие гидрофизика почв (Роде, 1960; Павлов, 1984; Воронин, 1984; Остроумов и др., 1985; Федорова, 1972-1985; Трубочева и др., 1986; Болотов, 2005-2017).

Изучалось воздействие агромелиоративных приемов на теплофизическое состояние почв (Саввинов, 1982; Панфилов, Макарычев и др., 1981; Макарычев, 1986-2017; Горяев, 1989; Татаринцев, 1989; Умаров, 1989 и др.).

Проводились исследования теплопроводности (Онищенко и др., 1999), температуропроводности, а также совокупное определение комплекса термических свойств почв (Макарычев и др., 1996; Noborio и др., 1996; Лобанов и др., 1997; Bristow и др., 1995).

В настоящее время определены теплофизические свойства ряда почв (Чичуа, 1988; Герайзаде, 1988; Забловская, 1988; Макарычев и др., 1981-2002; Харламов, 1985; Мазиров, 1988-1996; Тихонравова, 1991).

Значительный вклад в изучение данных вопросов принесло имитационное моделирование в компьютерной среде, обеспечивающее оперативный анализ развития почвенных процессов, наблюдаемых в лабораторных и полевых условиях. Наиболее интенсивное развитие оно получило в последние 10-15 лет для различных типов почв как в России, так и за рубежом (Сысуев, 1986; Рычева, 1996, 1999; Кудряшова и др., 1996; Саранцев, 1997; Kennedy и др., 1998; Болотов, 203-2017).

При построении этих моделей главной задачей является нахождение физических соотношений, описывающих динамические процессы в различных средах и состояниях (передвижение влаги, распространение тепла, растворимых соединений) для любых краевых условий, двухмерных и трехмерных задач.

Несмотря на интенсивное изучение функциональных зависимостей тепловых свойств почв от различных факторов, нет единой точки зрения на степень их взаимодействия. Результаты подобных исследований, известные из литературных источников, довольно противоречивы и носят дискуссионный характер. Некоторые экспериментаторы (Чудновский, 1948, 1976; Серова, 1971) считают воздействие температуры на теплофизические коэффициенты незначительным. Однако существует и другое мнение (Mowjood и др., 1997), утверждающее, что температура почвы существенно влияет на её тепловые свойства, ускоряя процессы термопереноса и фазовые её превращения и изменяя тем самым условия теплоаккумуляции и переноса тепла, что формирует различие температурных режимов различных почв.

Тем не менее более значительную роль в динамике теплофизических характеристик играет почвенная влага (Герайзаде, 1970; Чудновский, 1976; Макарычев, 2006). Эксперимент показывает, что объемная теплоемкость почвы при увеличении влагосодержания линейно возрастает; температуропроводность имеет ярко выраженный максимум, приуроченной к определенной гидроконстанте; теплопроводность нелинейно растёт, стремясь к «насыщению».

Структурно-функциональная концепция гидрофизических и теплофизических характеристик почв (Макарычев, 1993, 1996) указывает на то, что рост теплопроводности объясняется вытеснением при увлажнении из почвенных пор почвы плохо проводящий воздух, который замещается хорошо проводящей тепло водой. Кроме того,

процесс теплопереноса связан с перемещением почвенной влаги, не только в парообразной, но и в жидкой консистенции. Данная концепция рассматривает кондуктивный и пародиффузионный механизмы переноса тепла в почвах и объясняет особенности их реализации в зонах эффективного проявления.

Известно, что плотность сложения генетических горизонтов почвенного профиля существенно влияет на их теплофизические свойства (Макарычев и др., 1996 и др.). Снижение теплопроводности в гумусированных слоях почвы обеспечивается низкими показателями плотности сложения и повышенным содержанием плохо проводящего тепло органического вещества. По мере уплотнения ниже по профилю почв улучшается контакт между почвенными частицами, что обеспечивает увеличение теплофизических коэффициентов почвы.

Из литературных источников известно, что по данному вопросу существуют различные мнения. Ряд исследователей (Герайзаде и др., 1970; Исмаилов, 1974) склонны считать, что эта зависимость прямо пропорциональная, по мнению других (Серова, 1971; Димо, 1972) – гиперболическая.

Результаты исследований (Панфилов и др., 1981, 1984; Макарычев и др., 1996; Макаров, 2001 и др.) указывают на то, что увлажненные почвы более теплоемкие, но и более дифференцированные по профилю. В слабо увлажненных почвах максимальное значение теплоемкости смещается в сторону высоких значений плотности (Макарычев и др., 1984; Иваничкин, 1993). Кроме температуры, влажности и плотности изучалось также влияние на ТФХ дисперсности почвы и содержания в ней органических веществ (Панфилов и др., 1981; Макарычев, 1993; Макарычев и др., 1992-2017).

Для исследования теплофизических характеристик в настоящее время применяются расчетные и экспериментальные подходы. Вторые из них представляются наиболее перспективными. Они делятся на стационарные и нестационарные методы. Первые методы базируются на законах неизменного во времени температурного поля, утверждающим, что тепловой поток, проходящий через почвенный образец, сохраняет свою величину и направление. В итоге градиент температуры в объеме образца не меняется. Коэффициент теплопроводности определяется из закона Фурье (Лыков, 1963):

$$q = -\lambda \nabla t,$$

где q – поток тепла;

∇t – градиент температуры.

Несмотря на то, что такой метод дает возможность определять коэффициент теплопроводности с наибольшей точностью, сложная аппаратура, длительность эксперимента и только в абсолютно сухих образцах существенно ограничивают их использование.

Более мобильные и чаще применяемые в настоящее время нестационарные методы определения теплофизических коэффициентов основаны на закономерностях изменяющегося во времени теплового потока. В процессе их развития определились три основные группы. Одну из них составляют импульсные методы, т. е. методы мгновенного или равномерно действующего нагревателя. Основой этих методов является нахождение параметров переменного температурного поля (Чудновский, 1976; Лунин, 1978; Макарычев, 1980 и др.). В импульсных методах используются законы выравнивания температурного поля в образце после прекращения действия нагревателя. Особенностью этого процесса является наличие максимума температуры в исследуемой точке. Время наступления максимума и его величина определяются теплофизическими свойствами среды, которые могут быть найдены из уравнения Фурье (Фукс, 1970; Bristow и др., 1995; Noborio и др., 1996). Эти методы из-за простоты установки и возможности определения всех теплофизических коэффициентов из одного опыта наиболее распространены.

Для определения термических характеристик в поле используются методы «мгновенной» пластины, шарового или цилиндрического зонда (Чудновский, 1952, 1976). Однако их применение вызывают нарушения плотности и порозности почв, создают значительные колебания температур, что в конечном итоге приводит к снижению достоверности полученных результатов измерений.

Между тем значительный ряд вопросов почвенной теплофизики до сих пор остаются нерешенными. Более пристального исследования требуют изучение и прогнозирование теплофизического состояния почв при орошаемом земледелии. В современной литературе недостаточно показано влияние сельскохозяйственных культур на режим формирования тепла и влаги в почвенных разностях (Панфилов и др., 1981; Макарычев и др., 2003; Гефке, 2008, 2016; Шишкин, 2008). Актуальным является обоснование законов формирования термического режима в почвах при изменении их теплофизических свойств. Особенно важным является разработка научно обоснованных зональных систем и приемов управления мерзлотным и гидротермическим режимами почв.

Вместе с теплофизическими показателями, которые играют основную роль в процессах аккумуляции и распространения тепла в почве, за накопление и движение отвечают ее гидрофизические свойства и, прежде всего, основная гидрофизическая характеристика коэффициент влагопроводности.

К настоящему моменту в гидрофизике почв имеются различные представления о движении влаги в почвенном профиле (Роде, 1969; Качинский, 1970; Судницын, 1979; Воронин, 1984, 1986; Вадюнина, Корчагина, 1986; Зайдельман, 2004; Шеин, 2005; Умарова, 2008).

Ряд исследователей считают основой в изучении поведения жидкости в почве законы термодинамики, позволяющие описать направление и интенсивность влагопереноса (Воронин, 1984; Шеин, 2005).

В Алтайском крае изучение гидрофизических свойств почвенного покрова на основе термодинамического подхода было организовано в начале текущего столетия (Болотов и др., 2014, Пузанов и др., 2014). За рубежом изучению гидрофизических характеристик почв посвящены работы Van Genuchten (1981, 1991).

Водный режим почв до сих пор является объектом изучения, актуальным и сегодня (Вадюнина, Корчагина, 1986; Шеин и др., 1995, 2001, 2002; Смагин и др., 1999; Сметник и др., 2005). Исследование элементов водного баланса, представление водного режима в виде хроноизоплант представляют основу для теоретического обоснования оросительных мелиораций.

Вопросы моделирования гидрофизических свойств почв также были и есть предметом исследований (Крылова, Терлеев, 2008, Терлеев и др., 2012; Баденко, 2013; Латышев, 2013).

Вопросам движения и накопления почвенной влаги в условиях сада посвящены работы А.Г. Болотова (2015-2016), С.В. Макарычева и др. (2006, 2008, 2016).

В работе Шуравилина и др. (2008) представлены результаты изучения особенностей распределения жидкости в почвенном покрове при оросительной мелиорации с помощью капельного орошения. В работе Алиева (2013) решена задача производства экологически чистой продукции в условиях горного земледелия при орошении дождеванием. При этом использование агротехнического потенциала дает возможность не только поддерживать оптимальное влагосодержание в почве, но и регулировать его в определенные фенологические фазы вегетации плодовых и ягодных культур.

А.И. Головановым установлено, что водное питание растений корневой системой является основным расходным фактором, определяющим динамику влагозапасов в увлажняемом слое. Изучены закономерности проявления водного режима почв при канальном орошении древесных пород (Голованов и др., 2013).

Процессам энергообмена, фазовым структурам тепловых потоков в почве посвящены работы (Роде, 1965; Волобуев, 1974; Воронин, 1986). Имело место развитие методологии создания структурно-энергетических концепций в почвоведении (Воронин, 1984, 1986; Макарычев, 1996).

Изменения теплофизических свойств почв и их гидротермических режимов от использования разных агротехнических и мелиоративных мероприятий освещены в работах (Панфилов, Макарычев и др., 1981; Макарычев и др., 1980-2017; Горяев, 1989; Татаринцев, 1989; Умаров и др., 1989; Кудряшова, Чичулин, 1989; Тихонравова, 1991; Макарычев, 1997; Макарычев, Зайкова, 2014; Макарычев, Болотов, 2015). Взаимосвязь тепла и влаги в почвах изучена в работах Бадмаева и др. (1996), Mowjood, Ishiguro (1997).

Изучение гидрофизических свойств и режимов в почвах важную роль играют имитационные модели, позволяющие создавать и прогнозировать протекание процессов аккумуляции и передачи тепла и влаги в почве. О моделировании влагосоле-

переноса в почвенном профиле в почвах различного генезиса и природных условий говорится в работах отечественных ученых (Щербаков и др., 1986; Сысуев, 1986; Чеботарев, 1987; Пачепский, 1992; Кудряшова, Чичулин, 1996, Губер, Шеин, 1997; Саранцев, 1997; Мамихин, 1997; Болотов и др., 2015).

Тем не менее некоторые разделы гидрофизики почв остались и остаются не изученными. Мало данных, посвященных влиянию различных древесных и кустарниковых пород на гидрофизическое состояние почвы, хотя это воздействие может быть значительным, имеющим свои закономерности в зависимости от условий развития корневой системы растений.

ГЛАВА II. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом проведенных исследований являются почвы, сформированные под древесными породами в дендрарии Научно-исследовательского института садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко, который расположен на левом берегу реки Оби в черте города Барнаула (рис. 1).

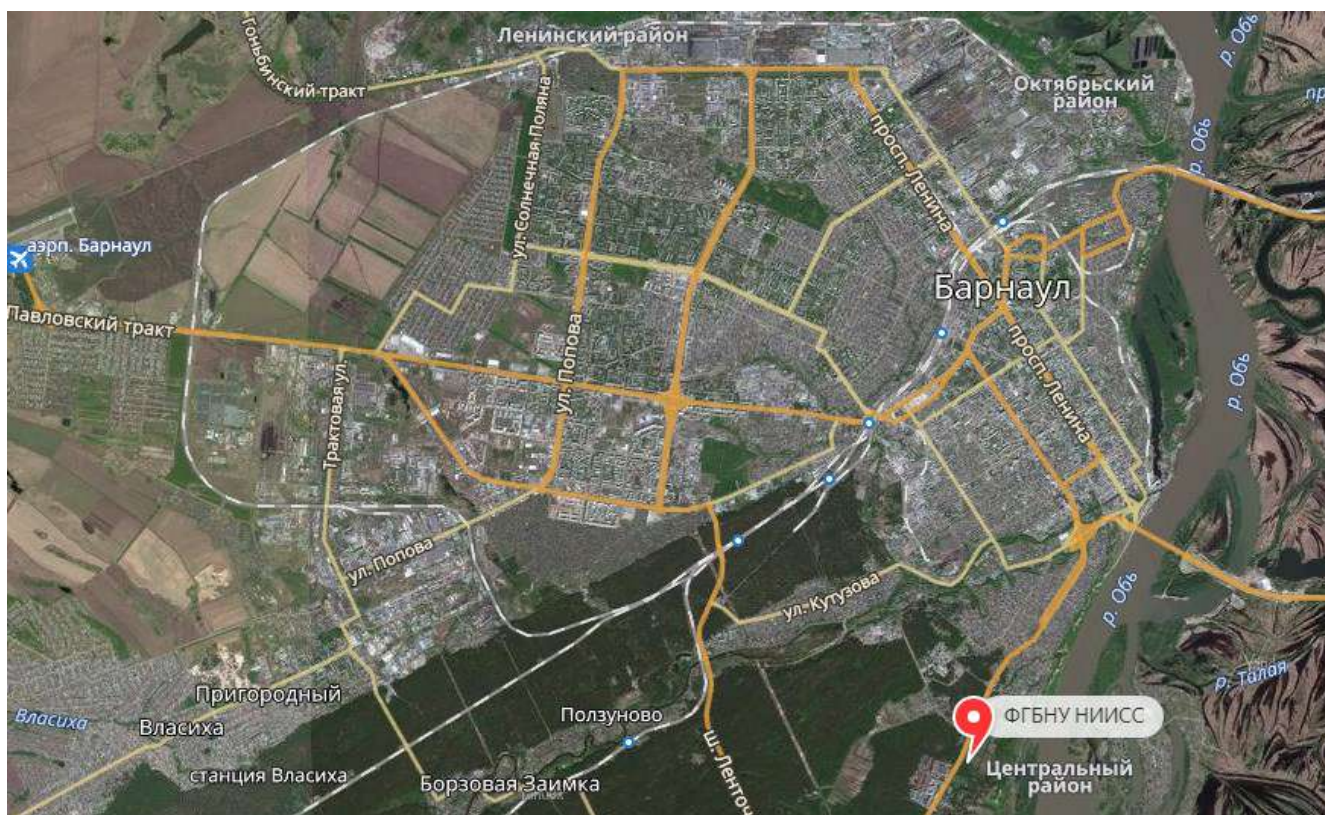


Рис. 1. Место расположения НИИСС ФГБНУ ФАНЦА

Согласно почвенному зонированию территории Алтайского края район наших исследований относится к зоне чернозёмов и подзоне черноземов выщелоченных и обыкновенных умеренно-засушливой колючной степи Приобского плато. В геоморфологическом отношении Приобское плато представляет собой возвышенную широкоувалистую равнину, изрезанную древней и современной гидрографической сетью на ряд широких водораздельных увалов.

Подзона черноземов обыкновенных и выщелоченных расположена в центральной части территории Алтайского края. На западе граничит вплоть до предгорий и

низкогорий Алтая с подзоной черноземов южных, на востоке – с подзоной черноземов выщелоченных и оподзоленных, на юге – с подзоной черноземов типичных и обыкновенных (Почвы, 1959; Хмелев, 1989). В этой подзоне преобладают по площади черноземы обыкновенные средне- и маломощные, малогумусные среднесуглинистые слабосмытые. Сопутствуют им черноземы выщелоченные среднесуглинистые мало- и среднегумусные среднесуглинистые, формирующиеся в микропонижениях и серые лесные почвы под березовыми колками (Бурлакова, 1984).

Летом 2014-2017 гг. в весенне-летне-осенние периоды нами проводилось изучение почвенного покрова посредством заложения почвенно-геоморфологического профиля, отбора образцов из генетических горизонтов почв, измерения температуры и влажности под древесными насаждениями (березы, дуба, ели) в метровом слое почвы.

Исследования физических свойств почв разного генезиса проводились с помощью общепринятых методов (Вадюнина и др., 1986; Шеин, 2005, 2007): плотность почвы – весовым методом, гранулометрический и агрегатный состав – по Н.А. Качинскому, структурный анализ – по методикам Н.И. Савинова. Определение содержания в почве органического вещества и гумуса – по методике И.С. Тюрина.

Основную гидрофизическую характеристику (ОГХ) и функцию влагопроводности (ФВ) определяли методом равновесного центрифугирования (Смагин и др., 1999) на лабораторной центрифуге TG16WS с максимальной частотой вращения 12000 об/мин. Центрифуга имеет угловой ротор и набор специальных стаканчиков из нержавеющей стали с перфорированным дном. Верхняя часть стаканчика закрывается крышкой во избежание доступа воздуха и подсушивания образца на высоких скоростях вращения. Образец почвы увлажнялся до полного насыщения и помещался в центрифугу, начиная с малых оборотов. Остаток влаги в образцах определялся взвешиванием. Число одновременно анализируемых образцов не превышает 12.

Этот метод позволяет, в отличие от классических (тезнометрия, капилляриметрия и т.д.), производить определения в ОГХ в диапазоне от МГ до ПВ с большей точностью в необходимой повторности.

Полученные значения гидрофизической характеристики и функции влагопроводности аппроксимировались функцией Ван-Генухтена (Van Genuchten, 1981, 1991).

Экспериментальная часть нашей работы, направленная на изучение теплофизических и гидротермических режимов почв, проводилась в полевом опыте на территории дендрария НИИ садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко. Схема опыта показана на рисунке 2. Наблюдения проводились в течение 2014-2017 гг.

Для изучения физико-механических, физико-химических свойств и морфологической характеристики почв разного генезиса были сделаны почвенные разрезы. Отобранные образцы исследовались в лабораториях кафедр физики, почвоведения и агрохимии Алтайского ГАУ, ОАО «Алтайводпроект» и ФГУ ЦАС «Алтайский».



Рис. 2. НИИСС ФГБУ ФАНЦА:

1 – дубовая роща; 2 – березовая роща, 3 – ель Энгельмана, 4 – поляна

Общие физические и водно-физические показатели почв проводили по общепринятым методикам: плотность ρ – методом режущего кольца Н.А. Качинского; плотность твердой фазы d – пикнометром; общую порозность – расчетом по формуле: $P = (1 - \rho / d) \cdot 100\%$; максимальную гигроскопичность (МГ) – по А.В. Николаеву, влажность завядания (ВЗ) – по величине максимальной гигроскопичности с использованием коэффициента пересчета 1,33, полученного на основе массовых анализов для черноземов Алтайского края (Черникова и др., 1965).

Содержание гумуса было определено по ГОСТ 26213-91 «Почвы», рН водной вытяжки по ГОСТ 26423-85 «Почвы». Общий азот дисульфифеноловым методом по Грандваль-Ляжу; подвижный фосфор и обменный калий – по Ф.В. Чирикову; поглощенные основания и емкость поглощения – по ГОСТ 26487-85 – «Почвы». Определение обменного кальция и магния методами ЦИНАО». Влажность почвы устанавливалась весовым методом подекадно до глубины 1 м через 10 см в теплое время 2014-2017 гг. Параллельно наблюдали температуру в профиле почв до глубины до 1 м в слоях 5, 10, 15, 20, 50 и 100 см. Время наблюдений в 7:00, 10:00, 13:00, 16:00, 19:00, 1:00 и в 7:00 ч следующего дня.

Измерения температуры проводились почвенным электротермометром (Макарычев, Болотов, 2003), разработанным на кафедре физики Алтайского ГАУ и отличающимся от ранее предложенных (термометров Саввинова и Каганова) простотой

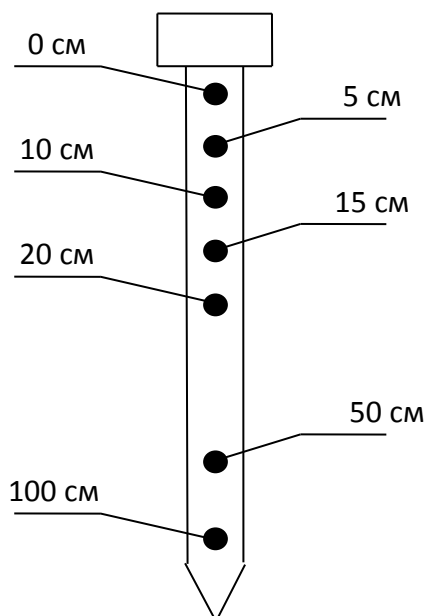


Рис. 3. Схема почвенного электротермометра

и оперативностью. Преимущества этого измерителя основываются на использовании современных комплектующих частей. Функциональная схема измерителя показана на рисунке 3.

Датчики температуры соединены с аналого-цифровым преобразователем на микросхеме ICL7106 (Intersil Americas Incorporated, 2001), выводящим информацию на жидкокристаллический экран. Напряжение на диоде при токе 0,1-1 мА составляет 550-650 мВ, линейно снижается с увеличением температуры датчика.

Питание датчиков в микросхеме преобразователя обеспечивается источником опорного напряжения. С прибором они связаны проводниками марки МГТФ, находящимися в экранированной полихлорвиниловой трубке.

Техническая характеристика электротермометра

Диапазон измерений, °С	-50...+100
Разрешающая способность	0,1
Погрешность измерений, %	0,2
Потребляемый ток, мА	2
Вес прибора, кг	0,15

Термометр определяет температуру слоев генетических горизонтов почвы до глубины 2 м. При этом до глубины 20 см температура измеряется через каждые 5 см для последующего расчета тепловых потоков. Согласно «Руководству по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса» проводили суточные измерения температуры: днем – через 3 ч, ночью – через 6 ч (1964).

Полученные измерения дают возможность рассчитать поток тепла в почвенном профиле. Определение тепловых потоков проводится с помощью известных физических законов по показателям изменения температуры почвы.

Средний поток тепла в почве устанавливается за промежуток времени между двумя последующими сроками наблюдений температуры и влажности почвы по формуле:

$$P_1 = \frac{C_p}{\tau} S_1 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин.}), \quad (1)$$

где C_p – объёмная теплоемкость;

τ – интервал времени, для которого определяется тепловой поток P_1 ;

S_1 – величина, которая характеризует изменение температуры в верхнем 20-сантиметровом слое почвы за интервал τ .

Величина S_I вычисляется по уравнению:

$$S_1 = S_0 + S_5 + S_{10} + S_{15} + S_{20}; S_1 = S_0 + S_5 + S_{10} + S_{15} + S_{20}, \quad (2)$$

где $S_0 = 20 \cdot 0,082 \Delta t_0$;

$$S_5 = 20 \cdot 0,333 \Delta t_5;$$

$$S_{10} = 20 \cdot 0,175 \Delta t_{10};$$

$$S_{15} = 20 \cdot 0,156 \Delta t_{15};$$

$$S_{20} = 20 \cdot 0,004 \Delta t_{20}.$$

Величины Δt_0 , Δt_5 , Δt_{10} , Δt_{15} и Δt_{20} есть разности между значениями температуры почвы в последующий и предыдущий сроки наблюдений. Δt_0 – разность между температурой поверхности почвы; Δt_5 – разность температур на глубине 5 см и т.д.

Алгоритм определения S_I за интервалы времени 1-7, 7-10, 10-13, 13-16, 16-19 и 19-1 ч следующий:

- определяют величину различий показания значений температур за наблюдаемый промежуток времени;
- S_0 , S_5 , S_{10} , S_{15} , S_{20} рассчитывают с помощью программного обеспечения в компьютерной среде;
- затем находят сумму полученных произведений.

Значение P_I вычисляют по формуле (1). Для определения теплового потока в промежутки времени 1, 7, 13, 16, 19, 1 ч вычисляют среднее между ними за два соседних интервала. Например, для 13 ч:

$$P = \frac{P_{1(10-13)} + P_{1(13-16)}}{2}, \quad (3)$$

где P – тепловой поток в 13 ч;

$P_{1(10-13)}$, $P_{1(13-16)}$ – средние значения теплоточков в интервале 10-13 и 13-16 ч.

Образцы для определения влажности почвы отбирались при помощи бура Измайльского. Влажность определялась термостатно-весовым методом по формуле:

$$U = (m/m_0) \cdot 100\%, \quad (4)$$

где m – количество влаги во взятом образце;

m_0 – масса абсолютно сухой почвы.

Значения теплофизических коэффициентов определяли в лабораторных условиях с использованием автоматизированной системы (рис. 4) на базе аналого-цифрового преобразователя АЦП (Болотов, 2002).

Использованы образцы с ненарушенной структурой почвы в форме параллелепипеда размерами 100×100×200 мм. В центральной части параллелепипеда устанавливают нагреватель, а на расстоянии 5-10 мм от него – датчик температуры. В отличие от датчиков, применяемых в установке С.В. Макарычева (1996), использовался точечный датчик-диод.

Нагреватель выполнен из константановой проволоки диаметром 0,1 мм в виде спирали с шагом в 1 мм, которая размещена между двумя диэлектрическими пла-

стинками, создающими прочность конструкции и обеспечивающими равномерный тепловой поток. Образцы почвы термостатируются. Автоматизированная система измеряет ТФХ восьми почвенных образцов.

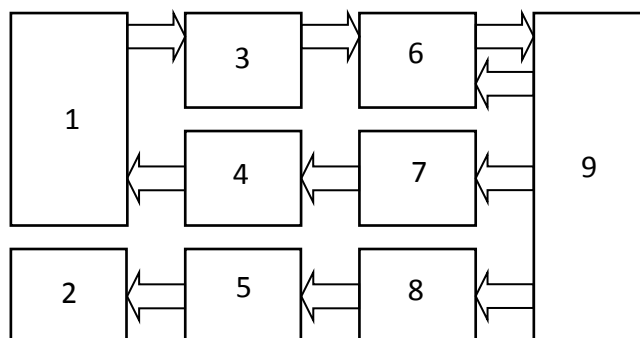


Рис. 4. Структурная схема автоматизированной системы для измерения теплофизических коэффициентов почвы:

1 – калориметр; 2 – нагреватель; 3 – коммутатор датчиков температуры; 4 – ключи; 5 – силовой ключ; 6 – АЦП; 7 – демультиплексор; 8 – узел управления; 9 – ПЭВМ

Отличием этой установки от других (Панфилов и др., 1981; Харламов, 1985) является наличие более совершенной системы создания постоянной температуры. Основой является термокамера, созданная на основе сушильного шкафа СНОЛ-3.5, мощность которого равна 2 кВт. Это позволяет сократить время термостатирования до 30 мин.

Управление нагревателем сушильного шкафа (2) осуществляется ключом 5, созданным на тиристоре (рис. 4) и подключенным к узлу управления 8, формирующему одиночное включение импульса вблизи перехода напряжения через ноль. Показатели температуры воздуха внутри шкафа и внутри образца почвы поступают в ПЭВМ 9.

Почва обладает низкой теплопроводностью. Поэтому нагревание шкафа будет проводиться до тех пор, пока температура в образце почвы не начнет возрастать, вне зависимости от величины температуры воздуха внутри него, что позволяет сократить время термостатирования. В случае выравнивания температур воздуха и образца почвы нагревание прекращается. Если заданная температура термостатирования не достигнута, то нагреватель включается опять и т.д.

Необходимые входные данные почвенных образцов вводятся с клавиатуры ЭВМ. К ним относятся число почвенных образцов, их номер и температура термостатирования.

Работа установки имеет следующий алгоритм:

- в подготовленные образцы почвы устанавливаются источник тепла и датчик температур;
- образцы помещают в термическую камеру;

- включают управляющую программу;
- после термостатирования устройство автоматически проводит измерение тепловых коэффициентов почвенных образцов;
- фиксируется распространение тепла в изучаемой точке образца;
- полученные результаты измерений теплофизических характеристик выносятся на дисплей компьютера.

Определяемые коэффициенты теплоемкости, тепло- и температуропроводности находятся как среднее значений параметров, рассчитанных по формулам (5)-(9) в пятикратной повторности:

$$C_{\rho} = \frac{Q}{Sx\tau_m} S_i \left(\frac{Q}{c_H t_m} \right); \quad (5)$$

$$a = \frac{x^2}{\tau_m - \frac{\pi}{4} \tau_H} \left(0,5 + 0,968 \frac{C_H}{Sx C_{\rho}} \right); \quad (6)$$

$$\lambda = \frac{qx}{\Delta T_m} \varphi'_{\lambda}; \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{qx}{\Delta T_m} \varphi'_{\lambda}; \quad (8)$$

$$C_{\rho} = \frac{2q\tau_H}{x\Delta T_m} \varphi'_{cp}, \quad (9)$$

где Q – количество теплоты, выделенное источником тепла

S_i – интегральный функционал;

S – площадь источника тепла;

x – расстояние между датчиком и источником тепла;

Δt_m – разность максимальной и начальной температуры;

C_H – объемная теплоемкость источника тела;

τ_m – время наступления максимума температуры;

τ_H – время работы источника тепла.

При нахождении теплофизических коэффициентов почвенных образцов проведена оценка допустимых погрешностей (Макарычев, 1993).

ГЛАВА III. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Столица Алтайского края город Барнаул располагается на территории южной части Западносибирской равнины, для которой характерно достаточно разнообразное строение. На территории этой равнины хорошо прослеживаются плато, возвышенности и довольно плоские низменности. Значительную часть равнины занимает Приобское плато, на котором находится дендрарий НИИ садоводства Сибири. Это плато образовано системой вытянутых на юго-запад грядово-увалистых возвышенностей, разделенных широкими и глубокими ложбинами древнего стока. Возвышенности характеризуются плоскими вершинами и террасовидными склонами, расчленёнными системой ручьев, оврагов и балок. Террасы и склоны балок размыты и подвержены линейной и плоскостной эрозии (Бурлакова, 1988). На территории северо-востока и востока плато, прилегающей к долине р. Оби, расчленение рельефа увеличивается.

Из-за неоднородности фильтрационных особенностей пород зоны аэрации почвенно-грунтовой толщи подземные воды разнообразны по минерализации и химическому составу. На территории мало пресных вод, их основные запасы приурочены к долинам древнего стока.

Почвообразующие породы сформированы из слабопроницаемых средних, легких и тяжелых суглинков и супесей толщиной до 100 м. Местами имеет место засоленность почв. Грунтовые воды находятся на глубине от 10 м и глубже. Территория слабо дренирована, относительно мелиоративного освоения ее можно отнести к средней сложности (Панфилов, 1975; Бурлакова и др., 1988; Хмелев, 1989).

На исследуемой территории отмечается отрицательный баланс грунтовых вод. По наблюдениям (Акуленко, 1985) отток превышает приток на 20-40 мм/год. Разгрузка грунтовых вод осуществляется в ложбине древнего стока и долину реки Обь. На плакорных участках подземные воды залегают на глубине 10-15 м, пресные, с минерализацией не более 0,2%. Аллювиальный характер формирования осадочных пород на территории Приобского плато обусловил пестроту почвообразующих пород. На плакорных участках водоразделов они представлены лессовидными и покровными суглинками краснодубровской свиты. В ложбинах древнего стока преобладают песчаные отложения Касмалинской свиты мощностью от 14 до 38 м, которые вложены в осадки краснодубровской свиты. Мощность лёссовидных суглинков на плакорах достигает 20-30 м, по мере приближения к ложбинам древнего стока снижается до 1-5 м.

Климат – главный фактор, формирующий гидротермический режим почвенного покрова. Он создает разнообразие условий для роста и развития растений и биологического оборота в целом.

Приобское плато, согласно агроклиматическому районированию территории Алтайского края, расположено в зоне умеренно засушливого климата, в районе, характеризующейся как теплый, недостаточно увлажненный.

Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом 160-170 дней, абсолютный минимум температуры воздуха составляет -50°C , что обеспечивает промерзание почвогрунтов от 1,6 до 2,5 м, средняя высота снежного покрова 30-40 см. Безморозный период длится 110-115 дней. Сумма активных температур ($>10^{\circ}\text{C}$) составляет $2000-2200^{\circ}$. Количество осадков за этот же период 235-250 мм, что обеспечивает $\text{ГТК} = 1,2 \div 1,0$, относительно благоприятный для растениеводства.

Сумма температур почвы на глубине 10 см для почв глинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава достигает $2100-2300^{\circ}$, суглинистого – $200-2400^{\circ}$, супесчаного – $2300-2500^{\circ}$. Вегетационный период 479 мм. Испаряемость за год 650-700 мм.

Атмосферное увлажнение региона неустойчиво по годам и неравномерно в годовом цикле. Недостаток влаги отмечается в 30-35% случаев. Максимальный недостаток увлажнения характерен для окончания весны и начала лета. Высокие температуры воздуха в этот период приводят к высокому физическому испарению влаги с поверхности почвенного покрова (Сляднев, 1973). С мая по сентябрь выпадает до 60-70% осадков, а наибольшее их количество наблюдается в июле-августе. Зимой осадки составляют 20-30% общей величины за год. Снег ложится неравномерно из-за практически постоянных ветров (Панфилов, 1976).

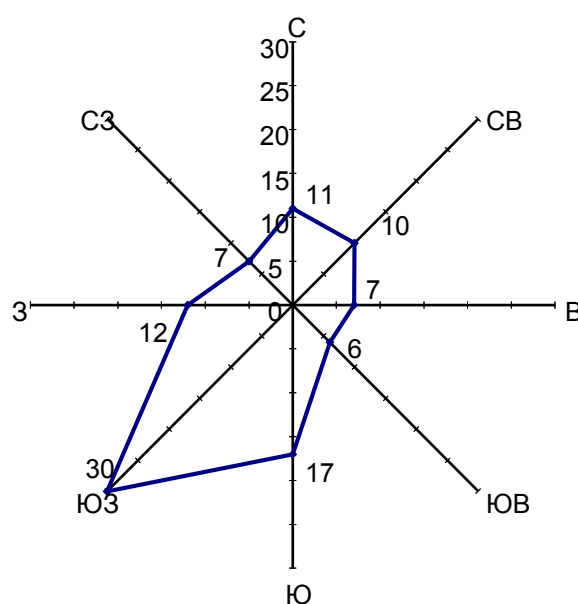


Рис. 5. Направления ветров в течение года, %

Преобладающие направления перемещения воздушных масс (роза ветров) для метеостанции «Барнаул-агро» показаны на рисунке 5. В основном это ветры южного и юго-западного направления.

Особенностями зимнего периода в лесостепи Алтайского края являются: сильные холода в декабре-январе при слабом снежном покрове; весьма частые и длительные снежные бураны, которые приводят к массовому переносу снега и его неравномерному распределению по территории. Многоснежные зимы часто чередуются с малоснежными. Вероятность зим с высотой снега до 30 см в ноябре-январе оказывается выше 60% (Алексеева и др., 1973). Тем не менее известны годы, когда в ноябре-декабре выпадает до 70% общего количества твердых осадков.

Максимальное количество дней с буранами и поземкой наблюдается в декабре-январе. При этом южные ветры переносят более теплые воздушные, насыщенные влагой массы, вызывающие сильные снегопады.

Первый снежный покров появляется к концу октября, а устойчивый приходится на начало ноября. Снег, как правило, сохраняется до 160 дней, а сходит в результате таяния к середине апреля. Снеготаяние наблюдается обычно в течение 15-20 дней. После снеготаяния почвенный покров и воздушные массы быстро прогреваются (Справочник по климату, 1969).

Сильные зимние холода зачастую вызывают вымерзание растений, вредное воздействие на которые оказывают и значительные колебания температуры воздуха и почвы. Весной холодная погода часто задерживает развитие растений, а иногда заморозки наблюдаются даже в июне. Осенний период характеризуется ранними заморозками, которые приходятся на конец августа. Летом зачастую имеют место засухи. В то же время на Алтае имеются и положительные явления. Это, прежде всего, большое количество солнечных дней, длительный световой день и обычно жаркое лето. Тем не менее сильные морозы зимой и недостаток осадков летом создают напряженный гидротермический режим для растительности (Хабаров, 1999).

Результаты наблюдений метеостанции НИИ садоводства Сибири за 2014-2016 г. представлены на рисунке 6, что позволяет описать климатические условия.

Зима 2013-2014 гг. была довольно теплой. Средняя температура воздуха в январе оказалась равной -13°C , что превышало норму на 4°C . Сумма температур ниже нуля за январь составила $-410,2^{\circ}\text{C}$, что оказалось выше нормы на 90° . За февраль средняя температура составила $-17,2^{\circ}\text{C}$.

Весной 2014 г. уже в начале апреля исчез снежный покров, а среднемесячная температура была равна $+8,0^{\circ}\text{C}$, и вся весна оказалась теплой. Так, в начале мая температура воздуха составляла $+14^{\circ}\text{C}$, что способствовало раннему началу вегетации. Количество осадков, выпавших в течение теплого времени, было ниже нормы. Июльские дожди продлились до начала августа, но существенно увеличить запасы влаги в почве не смогли в почве. За этот год осадков выпало 525,6 мм, что оказалось на 126,3 мм выше средних многолетних показателей. Осень характеризовалась по-

степенным изменением температуры. Снег выпал к концу ноября. С сентября по ноябрь средняя сумма температур оказалась равной лишь 4,7°, но к концу декабря температура воздуха снизилась до -14,2°С.

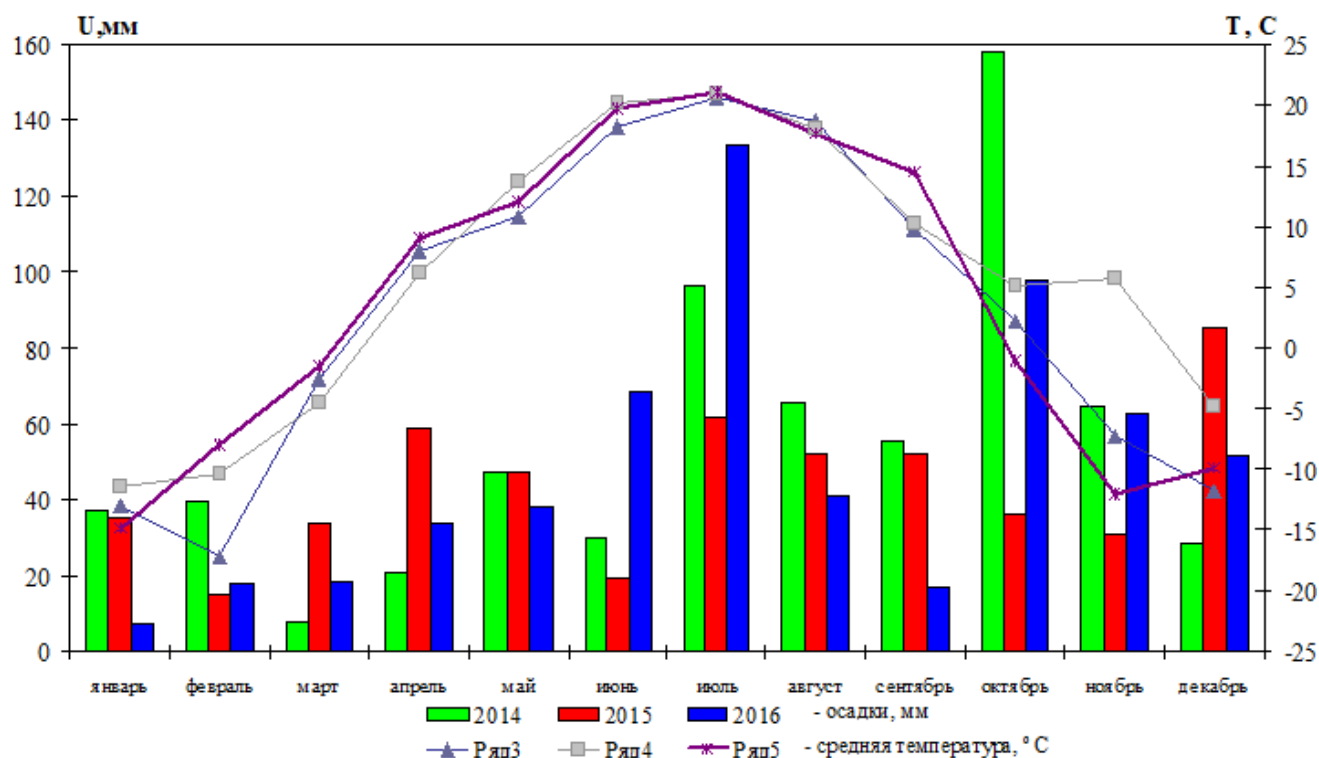


Рис. 6. Основные показатели погодных условий по данным метеостанции НИИСС ФГБНУ ФАНЦА

В 2014-2015 гг. декабрь и январь оказались теплее обычного. Среднемесячная температура воздуха была близка к -11,8°С. Эти месяцы также были многоснежными, поэтому на территории дендрария высота снега к марту составила в среднем 83 см.

Весной 2015 г. наблюдалось плавное увеличение температуры. Средняя температура в мае 13,7°С, а сумма дождевых осадков – 43 мм.

Лето 2015 г. было прохладным, выпало много осадков (с мая по сентябрь 215 мм). Всего за год их количество было равно 488 мм, или 102% от нормы при ГТК = 0,8 (табл. 1).

Оценка влагообеспеченности вегетационного периода дана по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Г.Т. Селянинова, представляющего собой отношение суммы осадков за период с температурой >10°С к сумме температур за этот же период, уменьшенной в 10 раз.

ГТК значительно изменялся по годам. За наблюдаемый период лишь 2014 г. был переувлажненным, а 2015 г. недостаточно увлажненным (табл. 1).

В 2015 г. осень была сравнительно теплой. Она отличалась постепенным снижением температуры воздуха до отметок второй декаде сентября +9,8°С, в середине

октября +3°C, в конце ноября -9°C. Это обеспечило возможность растениям подготовиться к зимнему режиму температур. Снежный покров установился во второй декаде ноября мощностью 8 см, а к середине декабря составил 35 см, что смягчило для растений условия перезимовки.

Таблица 1

Тепло- и влагообеспеченность вегетационных периодов 2014-2016 гг.

Год	Сумма осадков за год, мм	Осадки, % к норме	Сумма активных температур (выше +10°C)	Сумма осадков за период с температурой выше +10°C	ГТК
2014	525,6	110	2401,0	295,0	1,2
2015	487,6	102	2553,2	215,3	0,8
2016	587,0	122	2360,4	312,3	1,3
2017 (январь-сентябрь)	508,0	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Средняя многолетняя	479,0	100	2100	210,0	1,0

Зимний период 2015-2016 гг. характеризовался устойчивой морозной погодой с температурой воздуха -26...-30°C. Поверхность почвы в январе охлаждалась до -37,5°C. Однако, благодаря снежному покрову (к февралю высота снега составила 65,8 мм), растения не пострадали от низких температур. Уже в апреле средняя температура воздуха составила 9,1°C. Лето оказалось теплым. Температура воздуха с мая по август колебалась в пределах 26-30°C. Осенью отрицательные температуры отмечались в третьей декаде октября (-0,5°C). Но уже в середине ноября не опускались до -32,2°C. Среднемесячные зимние температуры 2016-2017 гг. были не ниже -12°C. Положительные температуры воздуха наблюдались ко второй декаде апреля. Лето 2017 г. было жарким. В течение всех летних месяцев температура воздуха превышала 30°C. В июле оголенная поверхность почвы прогрелась до +48,5°C. Наибольшее количество осадков выпало в июне и июле. Их сумма за этот период составила 306 мм. В целом за годы исследований погода была благоприятной для произрастания древесных пород.

ГЛАВА IV. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ КУЛЬТУР

4.1. Дуб черешчатый летний (*Q. Robur*)

Это дерево с пирамидальной, реже с шатровой кроной (рис. 7). У него крепкие сучья и мощный ствол (Булыгин, 1982-1985; Качалов, 1970; Абаимов, 2005; Коробчинский, 1983). Продолжительность жизни до 400-500 лет, достигает 40-метровой высоты. В насаждениях стволы крепкие, очищенные от сучьев. Кора толстая, темно-серая. Листья ежегодно опадающие, перистолопастные. Осенью листья буреют, образуя слой подстилки рыхлой консистенции и постепенно разлагаясь. Цветет дуб после распускания листьев, размножаясь желудями от 15 до 36 мм длиной, 11-12 мм в диаметре. Вначале дуб растет медленно, с 10-15 до 60-80 лет довольно быстро, а с 150-200 лет идет утолщение ствола и увеличение кроны. У дуба мощная, глубокая стержневая корневая система, проникающая в почву на глубину до 5 м и более на супесчаных и суглинистых почвах. При повышенном увлажнении корневая система становится поверхностной. Такая корневая система обеспечивает высокую ветроустойчивость дуба.



Рис. 7. Дуб черешчатый

Это очень светолюбивое растение, и поэтому под густым пологом молодой подрост значительно угнетается и большей частью погибает. Дуб очень требователен к плодородию почвы.

Оптимальные условия для его произрастания формируются только на почвах плодородных, увлажненных, лучше на аэрированных серых лесных суглинистых почвах и черноземах.

Ареал дуба должен быть обеспечен большим разнообразием лесорастительных условий, его популяции очень разнородны, поэтому он создает целый ряд климатипов и эдафитов. Дуб развивается и в чистых дубравах и может произрастать совместно с другими древесными породами.

Учитывая эти свойства, дуб широко используют в агролесомелиорации, для защиты полей от ветровой эрозии почв. Устойчивость дуба к внешней среде делают его незаменимым в озеленении населенных пунктов, особенно в лесопарковых массивах крупных городов.

4.2. Береза тополелистная (*Betula populifolia*)

К этому роду относятся свыше половины всех видов семейства, из которых в России естественно растут около 60. Для берез характерна гладкая кора, отслаивающаяся тонкими пленками, чаще белая. Цветут березы одновременно с распусканием листьев. Плоды – двукрылые семянки, собранные в сережчатые соцветия.



Рис. 8. Береза тополелистная

Березам присущи раннее вступление в возраст половой зрелости и исключительно высокая репродуктивная способность (Булыгин, 1985; Абаимов, 2009, 2009).

Береза (рис. 8) весьма устойчива к климатическим условиям, зимостойка и легко переносит заморозки. Отличается высокой светолюбивостью, поэтому её древостои быстро изреживаются.

Береза является ценной почвоулучшающей породой, особенно в области почвенно-гидрологических условий, способствуя разболачиванию.

В природе ареал березы тополелистной охватывает побережье Северной Америки. Растет на малоплодородных почвах, занимая в виде чистых насаждений вырубленные лесосеки и пожарища.

В благоприятных условиях произрастания малоконкурентна с долговечными породами. Это самая недолговечная из древовидных берез, достигающая в среднем 40 лет. В старости дает обильные корневые отпрыски. Очень чувствительна к обдиранию бересты. Подвержена ветровалу. Тополелистная береза достигает высоты 13-15 м, ствол – до 25 см, кора тусклая, белая, как мел, или пепельная, плотная, с трудом разделяется на слои. Крона образуется ветвями, поднимающимися вверх, поверхность ветвей красновато-бурого цвета с многочисленными бородавками.

Листья чаще всего треугольного строения размером 6-8 см длиной, 4-6 см шириной. Почki хорошо дифференцированы, от ветки острые, тонкие коричневого цвета. В молодом состоянии листья обладают клейкостью, что является ценным

своим свойством в озеленении городов. На Европейской части России произрастает только в культурных посадках (ботанических садах). Не требовательна к плодородию почв.

4.3. Ель Энгельмана (*Picea engelmannii* (Parry) Engelm)

Ель Энгельмана – вид вечнозеленых деревьев из рода «Ель» семейства Сосновые (рис. 9).

В природе произрастает в лесах Скалистых гор Северной Америки, где поднимается на высоту 1500-3500 м над уровнем моря до верхней границы леса в долинах и по тенистым склонам. В качестве декоративного дерева в Европе культивируется с 1863 года, в Россию была завезена в конце 19 века. Живет 300-400 лет (Древесные породы мира, 1982; Букштынов и др., 1981; Деревья, кустарники и лианы, 1986).

Она представляет собой высокое дерево 30-50 м в высоту, диаметр ствола достигает 90 см. Медленно растущая, ежегодный прирост около 20 см.



Рис. 9. Ель Энгельмана

Крона конусовидная, несимметричная, густая, со слегка поникающими ветвями. Кора чешуйчатая, трещиноватая, тонкая красно-коричневого цвета.

Молодые побеги с ржавым опушением, желтовато-коричневые. Почки яйцевидно-конической формы, 5-6 мм в длину, смолистые на верхушке.

Хвоя четырехгранная, 15-30 мм в длину, острая, жесткая, прямая или слегка изогнутая, направленная к верхушке побега, сизо-зеленая. Шишки 4-7 см в длину и 2-2,5 см в ширину, яйцевидно-цилиндрические.

Ель Энгельмана очень морозоустойчива, выдерживает морозы до -50°C . Хорошо противостоит ветру и навалу снега благодаря узкоцилиндрической кроне. В природе произрастает в суровых климатических условиях.

Предпочитает умеренно-влажные, легкосуглинистые почвы, растет на любых хорошо дренированных и умеренно влажных или умеренно сухих почвах. Плохо переносит переувлажнение и уплотнение почв. Ель очень светолюбива, в тени хвоя быстро теряет блеск и темнеет. Ель Энгельмана хорошо смотрится в одиночных посадках и в небольших группах на улицах и скверах. Используется для озеленения города, в аллеях, ботанических садах и дендрариях.

4.4. Влияние почвенно-физических факторов на произрастание древесных насаждений и трансформацию почвенного покрова

Поступление тепла как экологического фактора имеет огромное значение в жизнедеятельности древесных пород. Основная роль при этом принадлежит почвенному микроклимату и приземному слою атмосферы (Гейгер, 1960). Процессы теплопередачи и теплоаккумуляции в этом случае происходят в результате теплопроводности, конвекции, излучения, а также переноса тепла жидкой фазой (Мелехов, 1999). Произрастание древесных пород требует создания оптимального режима, обеспечивающего теплом и влагой все биологические процессы. Для прорастания семян, цветения и созревания плодов необходим разный термический режим. Средне требователен к теплу дуб черешчатый, малотребовательны – береза и ель.

В условиях Алтайского края более вредными для лесных древесных пород бывают не зимние 30-градусные морозы, а весенние заморозки, когда наблюдается быстрый переход от холода к теплу и обратно. Действие низких температур проявляется в том, что в почве образуются кристаллы льда. При замерзании почва расширяется, а при оттаивании сжимается, и корни молодых растений остаются оголенными. Имеют место и разрывы корней.

Низкие температуры также вызывают образование морозобойных трещин в древесных стволах. Макро- и микроклимат, рельеф, почвенно-физические условия, особенности самих деревьев обуславливают степень опасности образования морозобоя. Реакция древесных пород на зимние морозы зависит от предшествующего вегетационного периода. Отсутствие дождей и низкая влажность почвы ослабляют растения, поэтому низкие температуры могут быть губительны.

Высокие температуры также неоднозначно влияют на рост и развитие древесных пород. Всходы ели погибают при температуре +53-55°C. В молодом возрасте наблюдается ожог шейки (Мелехов, 2007). У взрослых деревьев высокие температуры вызывают ожог коры, при котором имеет место отмирание камбия. При этом страдают древесные породы с гладкой тонкой корой, в частности, ели. Опасность солнечного ожога усиливает темный цвет коры. Огневые травмы коры образуются также под действием лесных пожаров.

Режим почвенного тепла в основном определяется температурой ее поверхности. В летнее время поверхность почвы в лесу разогревается значительно ниже, чем на открытом пространстве. При этом под плотно сомкнутыми растениями (ельником) температура почвы всегда ниже, чем под лиственными породами. Вниз по профилю почв эти различия несколько сглаживаются, но полностью не исчезают. В лесу перепады суточных температур почвы резкого отличия не имеют, зимой они промерзают на меньшую глубину и замерзают позднее, чем почвы открытых пространств (Макарычев, 1981).

Увлажненность климата играет значительную роль в процессах возобновления и формирования древостоя. Влага представлена в формах осадков, водяных паров и почвенной влаги. Максимальную роль в жизни леса играют дожди и накопление снега зимой. Годовое количество осадков колеблется от 150 до 700 мм, в зависимости от территории края. В условиях лесостепи воспроизводство древесных пород происходит интенсивно при осадках свыше 400 мм. При этом весьма важно, в какой период вегетации они имеют место. Перенос влаги в почве обеспечивает растения пищевыми компонентами из атмосферы: минеральными веществами, солями азотной кислоты, аммиаком и т. д.

Снежный покров может оказывать различное воздействие на лес. Положительное влияние определяется в предохранении почвы от промерзания, в увеличении дальности разлета семян по насту. При высоте снега в 30-50 см температура в корнеобитаемом слое почвы равна или выше нуля (Макарычев, 2006; Шишкин, 2008). В случае превышения содержания газов в атмосфере пригородной зоны от химического отравления страдают древесные насаждения, особенно молодняк. Самосев, подрост, саженцы, находящиеся под снегом, сохраняются во время промышленных выбросов.

Но зимние осадки оказывают и отрицательное воздействие на лес, который страдает от повреждений за счет снеговала и снеголома. От снеголома происходит поломка стволов, вершин, сучьев, особенно хвойных пород. Снеговал вызывает сгибание и вывал деревьев и, прежде всего, березы. Влага, находящаяся в атмосфере, оказывает сильное влияние на транспирацию и физическое испарение. При низкой влажности воздуха возникает опасность лесного пожара.

При выпадении осадков влага вначале накапливается в подстилке и верхних слоях почвы. Она обуславливает первые этапы возобновления леса, воздействуя на прорастание семян, развитие подроста, их состояние. Древесные породы по-разному реагируют на переувлажнение почвы. Особенно болезненно на подтопление реагирует дуб, не выносит длительного переувлажнения ель, тогда как береза в этом отношении достаточно устойчива. Водный режим в почве зависит от совокупности внутренних и внешних условий: от количества осадков, влагоемкости и влагопроводности, гранулометрического состава и других физических показателей. На влажность, плотность почвы и ее аэрацию оказывают воздействие корневая система древесных пород, которая разрыхляет почву, улучшая ее пористость и структуру. Проникая в почвообразующие горизонты, корневая система деревьев способствует образованию и деградации генетических особенностей основного зонального почвенного покрова. Благоприятно на структуру почвы воздействует береза. В то же время еловые насаждения способствуют почвенному уплотнению.

Лесной опад трансформируется в подстилку, которая, разлагаясь под действием органических кислот, является поставщиком гумусовых соединений в почвенный профиль (Зонн, 1964). При этом органические вещества в разных количествах и с

разной скоростью переходят в почву в виде растворов, включающих гумусовые и неорганические соединения. В настоящее время экспериментально установлена способность к быстрой гумификации листьев древесных пород. В то же время в хвойной подстилке еловых насаждений процессы нитрификации протекают медленно, что замедляет образование гумуса.

Лес играет главную роль в процессе почвообразования. Длительное произрастание и воспроизводство на одном месте, например, еловых пород, приводит к возникновению и развитию процессов оподзоливания и формированию подзолистых горизонтов. Лиственные породы, способствуя гумусообразованию, замедляют или вовсе нивелируют оподзоливание. Дубовые насаждения вызывают деградацию почвенного профиля, преобразуя черноземы в серые лесные почвы. Таким образом, почва, оказывая разностороннее воздействие на лес, сама подвергается его многостороннему преобразующему влиянию.

ГЛАВА V. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ, ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА

5.1. Морфологическое строение почв и их физические свойства

Как отмечалось выше, исследований гидротермического и теплофизического состояния почв в условиях дендрария под различными типами древостоя не проводилось. Поэтому нами организовано экспериментальное изучение теплофизических характеристик и особенностей формирования процессов тепло- и влагопереноса, а также теплоаккумуляции в генетических горизонтах почв в дубовых, березовых и еловых насаждениях.

Многолетнее произрастание интродуцированных пород деревьев одного сорта в дендрарии видоизменило почвенный покров. Черноземы как основные зональные почвы оказались преобразованы в дубовой роще в серую лесную почву. Под еловым древостоем сформировались дерново-подзолистые почвы, в березовой роще черноземы выщелоченные трансформировались в черноземы обыкновенные.

Решение поставленных задач, прежде всего, потребовало изучения морфологических особенностей почвенных профилей (Кауричев, 1982; Бурлакова, 1988), описание которых представлено ниже (Гефке, Лебедева, 2016).

Разрез № 1 (12.09.2014 г.). Он заложен на увале в замкнутом микропонижении. Растительность представлена дубовыми насаждениями. Травянистый напочвенный покров развит хорошо. Признаков эрозии нет. Почва характеризуется как серая лесная среднемощная легкосуглинистая.

А₀ 0-2 см: влажный, густо переплетенный корнями, имеются слабо разложившиеся остатки травянистой растительности, листья и стебли, цвет буро-коричневый.

А₁ 2-26 см: влажный, серый, легкий суглинок, структура неоднородная, с комками, средне- и мелкозернистый, уплотненный, переход к глубже лежащему горизонту по влажности, структуре и окраске постепенный.

А₁А₂ 26-35 см: свежий, белесовато-серый; легкий суглинок, плитчато-комковатый, уплотненный, имеются корни и кремнезем, переход ясный по грансоставу и окраске.

А₂В 35-53 см: свежий белесо-бурый; средний суглинок, окомковатый уплотненный, корни, кремнезем, переход постепенный по окраске, гранулометрическому составу, новообразованиям и сложению.

В 53-97 см: свежий, светло-буроватый, среднесуглинистый, структура отсутствует, уплотнен, отмечены корни и окисные формы железа, переход растянут по гранулометрическому составу, новообразованиям и включениям и сложению.

ВС > 97 см: свежий, светло-бурый легкосуглинистый, комковатый, новообразования и включения отсутствуют.

Общая глубина разреза 1,10 м. Вскипание в профиле почвы от 10% HCL отсутствует.

Разрез № 2 (12.09.2014 г.) заложен на выровненном участке увала без выраженного микрорельефа. Древесная растительность представлена редкостойной березой. Преобладает травяной растительный покров. Признаков эрозии нет. Почва представлена черноземом обыкновенным среднесуглинистым.

Ао 0-3 см: увлажнен, густо переплетенный корнями, плохо разложившаяся травянистая растительность коричнево-бурого цвета.

А 3-29 см: увлажнен, темно-серый средний суглинок, зернистой и комковатой структуры, уплотненный, наблюдаются корни, переход в нижний горизонт ясно выражен по влажности, окраске, новообразованиям и структуре.

АВк 29-56 см: свежий, буро-серого цвета, среднесуглинистый, крупные и мелкие комья, плотный, имеются корни, пропитан карбонатами, переход растянут по окраске.

Вк 56-112 см: свежий, бурый, неоднороден, имеет гумусовые затеки, глинистый и комковатый, уплотненный, пропитка карбонатами кальция, переход равномерный по окраске и скоплениям карбонатов.

ВСК 112-129 см: свежий, светло-буроватый средний суглинок, комки, плотный. Карбонаты кальция представлены псевдомицелием, переход постепенный по цвету и грансоставу.

СК > 129 см: свежий, палевый легкий суглинок, плотный, карбонаты в виде псевдомицелия, рассыпчатый, новообразований и включений нет.

Глубина разреза 1,50 м. Вскипание от 10% HCL с глубины 29 см.

Разрез № 3 (12.09.2014 г.) заложен на выровненном участке без выраженного микрорельефа. Древесная растительность представлена елью Энгельмана. Травянистого растительного покрова нет, признаки эрозии отсутствуют. Дерново-подзолистая почва.

Ао 0-2 см: лесная подстилка

А1 2-10 см: темно-серый, супесчаный, сильно пронизан корнями. Переход в нижележащий горизонт ясный.

А1А2 10-25 см: светло-серый, неравномерно окрашен, пронизан корнями, супесчаный. Переход ясный.

А2В 25-44 см: белесового оттенка с рыжими единичными пятнами, влажный, песок, имеются корни, плотный.

В 44-87 см: окрашен неравномерно, с ясными пятнами оксидов железа, плотный песок. Переход равномерный.

С > 87 см: влажный песок сизовой окраски.

Глубина разреза 1,10 м. Карбонаты кальция отсутствуют.

Разрез № 4 (12.09.2014 г.) заложен на склоне восточной экспозиции с выраженным микропонижением. Древесная растительность отсутствует. Развитый на поверхности почвы травянистый покров. Эрозия отсутствует. Почва представлена черноземом обыкновенным среднесуглинистым средне гумусным тяжелосуглинистым.

Ад 0-3 см: влажный, много корней, плохо разложившихся остатков трав, темно-серо-коричневого цвета.

А 3-34 см: влажный, буро-серый тяжелосуглинистый, зернистой структуры, плотный, имеются корни. Переход заметный по структуре, цвету и новообразованиям.

АВк 34-62 см: влажный буро-серый тяжелосуглинистый, комковатый, плотный, есть корни, пропитан карбонатами кальция. Переход замен по цвету и гран составу.

Вк 62-108 см: влажный, буроватый, средний суглинок, комки, плотный, имеются карбонаты кальция в форме пропитки. Переход растянут по цвету и скоплениям карбонатов.

ВСк > 108 см: влажный, светло-буроватый, средний суглинок, комки, плотный, карбонаты в виде псевдомицелия.

Глубина разреза 1,27 м. Почва вскипает от 10% HCL с глубины 51 см. Скопления карбонатов в виде пропитки, со 108 см в форме псевдомицелия.

В таблице 2 ниже приведены результаты гранулометрического анализа по горизонтам исследуемых почв.

Согласно данным анализов по классификации Н.А. Качинского, серые лесные почвы с содержанием физической глины от 12 до 17% отнесены к супесчаной разновидности. В эллювиально-иллювиальных горизонтах (А1 и А1А2) гранулометрический состав близок к легкосуглинистой разновидности. Ниже по профилю отмечается облечение гранулометрического анализа до песчаной разновидности. Содержание ила находится в пределах 11%, содержание мелкой пыли незначительно.

Черноземы обыкновенные под березовым пологом по классификации относятся к легким суглинкам (табл. 2). В верхнем горизонте профиля физической глины содержится около 30%, ниже в переходном горизонте гранулометрический состав утяжеляется. Фракция крупной пыли по содержанию в профиле колеблется от 48 до 58% и сильно снижается в горизонте Вк до 29%. Отмечается низкое содержание ила во всем профиле до 11%.

На поляне под травяным пологом сформированы черноземы обыкновенные среднесуглинистые с содержанием физической глины 31-35%. Преобладает фракция крупной пыли с содержанием по профилю от 41 до 50%. Содержание ила во всем профиле несколько выше, чем в предыдущей почве, и составляет от 16% в гумусовом горизонте до 21% в нижележащем.

Гранулометрический состав почв разного генезиса

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, мм (% от сухой почвы)						
		1,00-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Серая лесная почва. Дубовые насаждения								
Ао	00-02	34,66	30,34	22,12	2,80	2,52	7,56	12,88
А1	02-26	37,17	22,99	22,84	2,68	4,04	10,28	17,00
А1А2	26-35	52,96	18,84	12,20	2,64	3,16	10,20	16,00
А2В	35-53	46,93	27,43	10,20	1,20	3,16	11,08	15,44
В	53-97	58,02	24,18	4,48	1,16	1,88	10,28	13,32
ВС	>97	53,22	24,02	8,44	1,48	2,24	10,60	14,32
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения								
Ад	00-03	6,99	24,21	41,88	6,60	8,16	12,16	26,92
А	03-29	5,61	15,07	49,60	5,04	9,24	15,44	29,72
АВк	29-56	3,51	19,49	47,80	5,00	8,28	16,00	29,28
Вк	56-112	1,56	37,60	29,20	4,52	7,88	19,24	31,64
ВСк	112-129	0,53	15,03	53,20	8,04	6,96	16,24	31,24
Ск	>129	0,94	11,42	58,32	6,60	6,28	16,44	29,32
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения								
А1	02-10	3,8	75,6	10,5	0,8	2,7	8,1	11,6
А1А2	10-25	5,1	77,6	7,8	0,9	2,2	6,1	9,0
А2	25-44	5,8	81,6	6,6	0,6	1,5	3,5	5,6
В	44-87	5,6	84,6	5,0	0,7	1,0	2,8	4,6
С	>87	2,4	80,2	7,2	0,1	0,6	9,1	4,3
Чернозем обыкновенный. Травяной покров								
Ад	00-03	4,68	22,52	46,08	6,88	8,12	11,72	26,72
А	03-34	3,55	21,09	41,24	7,48	10,16	16,48	34,12
АВк	34-62	2,36	21,64	44,16	6,68	7,16	18,0	31,84
Вк	62-108	1,08	13,16	50,84	6,12	7,52	21,28	34,92
Ск	>108	2,89	11,47	50,20	6,00	8,76	20,68	35,44

Гумусовый горизонт дерново-подзолистой почвы сформирован слабосвязанными песками. Ниже по профилю гранулометрический состав остается песчаным, но с глубиной возрастает содержание фракции мелкого песка до 90%. Содержание фракций пылевых частиц и ила незначительно.

Важным показателем агрофизических свойств почв является их микроагрегатный состав, обуславливающий в почвах величину порозности и плотности. Показатели микроагрегатного состояния исследуемых почв приведены ниже в таблице 3.

Микроагрегатный состав почв разного генезиса

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, мм (% от сухой почвы)						
		1,00-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
Серая лесная почва. Дубовые насаждения								
Ао	00-02	36,94	39,70	17,64	4,04	1,16	0,52	5,72
А1	02-26	39,35	37,77	19,44	2,08	1,16	0,20	3,44
А1А2	26-35	50,91	32,73	12,36	2,28	1,36	0,36	4,00
А2В	35-53	54,21	28,03	13,80	2,24	1,28	0,44	3,90
В	53-97	62,12	24,92	9,12	1,60	1,52	0,72	3,84
ВС	>97	61,96	24,60	10,16	1,40	1,32	0,56	3,28
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения								
Ад	00-03	6,86	40,30	42,72	5,36	3,80	0,96	10,12
А	03-29	6,14	46,70	41,48	3,16	2,00	0,52	5,68
АВк	29-56	5,86	49,18	41,48	2,24	0,76	0,48	3,48
Вк	56-112	3,62	42,30	49,84	2,16	1,32	0,76	4,24
ВСк	112-129	1,95	40,77	51,20	4,08	0,76	1,24	6,08
Ск	>129	2,05	31,07	62,56	2,60	0,60	1,12	4,32
Чернозем обыкновенный. Травяной покров								
Ад	00-03	4,69	35,03	51,04	4,56	3,60	1,08	9,24
А	03-34	3,44	46,52	41,88	4,08	2,68	1,40	8,16
АВк	34-62	3,55	46,89	42,64	3,60	1,96	1,56	7,12
Вк	62-108	2,47	47,85	42,92	3,04	1,96	76	6,76
Ск	>108	4,12	41,32	49,56	2,12	1,68	1,20	5,00

Научными исследованиями доказано, что наиболее ценными для формирования оптимального почвенно-физического состояния почв являются агрегаты размером 0,25-0,05 и 0,05-0,01 мм. Наибольшее их содержание отмечается в почвах черноземного ряда. Под березовым пологом в черноземе обыкновенном агрономически ценных агрегатов содержится около 87% в гумусовом горизонте и около 94% в нижележащих горизонтах. В аналогичной почве под травами наблюдается такое же распределение агрегатов в профиле, но с несколько большим содержанием частиц 0,01 мм.

Профильное распределение микроагрегатов в серой лесной почве и черноземе имеют существенные различия. В серой лесной почве преобладает фракция микроагрегатов размером от 1,00 до 0,25 мм и значительно меньше фракций – 0,25-0,01 мм. В гумусовом горизонте их содержание 57%, в почвообразующей породе – 35%. Незначительно содержание микроагрегатов менее 0,001 мм и менее 0,01 мм.

Результаты физико-химического анализа почв приведены в таблице 4 ниже (Макарычев, Лебедева, 2017). Реакция среды почвенного раствора серой лесной почвы в гумусовом горизонте слабокислая, а с глубиной в профиле, особенно в горизонте В, увеличивается до сильно кислой.

Профиль дерново-подзолистой почвы отличается сильно кислой средой, абсолютные показатели которой с глубиной уменьшаются и в переходных к материнской породе горизонтах снижается до уровня слабокислой почвы.

В горизонте А черноземах обыкновенных под лесным пологом реакция почвенного раствора близкая к нейтральной, а вниз по профилю она увеличивается до сильнощелочной. Аналогичные тенденции изменения щелочности в профиле чернозема отмечаются и под травяным покрытием.

Таблица 4

Кислотность и содержание карбонатов в почвах разного генезиса

Горизонт	Глубина, см	Рн солевая	Рн водная	Карбонаты, %
Серая лесная почва. Дубовые насаждения				
Ао	00-02	5,7	6,4	2,64
А1	02-26	5,0	6,1	2,20
А1А2	26-35	4,3	5,4	1,76
А2В	35-53	4,0	5,2	2,20
В	53-97	4,5	5,9	1,76
ВС	>97	4,7	6,4	2,20
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения				
Ад	00-03	5,5	6,2	2,64
А	03-29	5,3	6,4	1,76
АВк	29-56	7,0	8,1	11,88
Вк	56-112	7,5	8,7	33,62
ВСк	112-129	7,6	9,0	30,98
Ск	>129	7,7	9,0	31,42
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения				
Ао	00-02	3,8	4,4	-
А1	02-10	4,1	4,7	-
А1А2	10-25	4,2	4,8	-
А2	25-44	4,5	5,1	-
В	44-87	5,3	5,8	-
С	>87	5,2	5,7	-
Чернозем обыкновенный. Травяной покров				
Ад	00-03	5,9	6,6	3,08
А	03-34	5,9	7,1	2,64
АВк	34-62	7,2	8,3	11,0
Вк	62-108	7,4	8,7	25,08
Ск	>108	7,0	9,0	25,96

Во всех горизонтах дерново-подзолистой почвы карбонатов нет. В черноземах четко прослеживается увеличение содержания карбонатов от 2-3% в верхнем горизонте до 30% в нижних горизонтах. Серые лесные почвы отличаются выровненным содержанием карбонатов во всем профиле в пределах 2%.

Одним из наиболее важных агрофизических параметров, определяющих водно-воздушный режим, является плотность почвы (Вадюнина, 1986; Бондарев, 2002; Макарычев, 1996). Повышение плотности уменьшает общую порозность почвы, снижает водно-воздушный режим почв, изменяет состав пор, уменьшая количество крупных пор, и образует тупиковые поры, в которых создается повышенное давление воздуха (выше атмосферного), что обуславливает в конечном итоге снижение скорости переноса тепла.

Физические показатели исследуемых почв показаны в таблице 5.

Таблица 5

Характеристика физических, гидрофизических и физико-химических свойств почв

Горизонт	Глубина, см	Плотность сложения, г/см ³	Плотность твердой фазы, г/см ³	ВЗ, %	НВ, %	П, %	Г, %
Серая лесная почва. Дубовые насаждения							
A1	2-26	1,36	2,61	4,58	39,47	47,90	5,2
A1A2	26-35	1,46	2,63	4,15	32,64	44,59	2,6
A2B	35-53	1,58	2,69	4,81	31,23	41,26	2,3
B	53-97	1,68	2,71	4,67	31,66	38,01	1,1
BC	>90	1,64	2,71	6,22	25,62	39,48	0,4
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения							
A	3-29	1,21	2,60	6,32	37,63	53,47	5,7
ABк	29-56	1,32	2,62	5,71	26,38	49,62	3,8
Bк	56-112	1,49	2,65	5,73	25,08	43,88	1,6
BCк	112-129	1,51	2,70	5,31	26,75	44,08	0,3
Cк	>129	1,46	2,70	6,17	28,05	45,93	-
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения							
A1	2-10	1,38	2,61	1,84	5,64	47,13	1,7
A1A2	10-25	1,49	2,60	1,11	5,03	42,70	1,0
A2	25-44	1,50	2,65	0,86	4,29	40,00	0,4
B	44-87	1,59	2,69	0,84	4,13	40,90	0,3
C	>87	1,58	2,73	0,67	4,01	42,13	-
Чернозем обыкновенный. Травяной покров							
A	3-34	1,22	2,44	9,81	31,50	50,00	5,3
ABк	34-62	1,29	2,57	10,20	26,62	48,81	4,8
Bк	62-108	1,38	2,60	7,30	21,13	46,93	1,4
BCк	>108	1,49	2,69	5,54	21,17	44,61	0,8

Данные таблицы 5 свидетельствуют о том, что плотность твердой фазы почв серой лесной, дерново-подзолистой и чернозема обыкновенного различаются незначительно и изменяются в пределах 2,60-2,73 г/см³. При этом на контрольном варианте в черноземе обыкновенном под травянистой растительностью, за счет большей гумусированности, величина плотности ниже и составляет 2,44 г/см³.

Плотность сложения более динамична в профиле почв. Минимальные её значения приурочены к верхним гумусированным горизонтам, вниз по профилю она увеличивается. При этом под лесным пологом это увеличение происходит более заметно, чем под травянистой растительностью.

Определение двух показателей плотности позволяет рассчитать общую порозность почв. Наибольшие её показатели в черноземах (50-53%), наименьшие – в серой лесной почве под дубовой рощей.

Наибольшее количество общего гумуса отмечается в верхнем горизонте черноземов и серой лесной почвы, наименее гумусированы горизонты дерново-подзолистой почвы.

Почва как всякое пористое тело обладает водоудерживающей способностью. Формы влаги в почве различны, и поэтому для характеристики водообеспеченности используют различные её показатели. Влажность завядания (ВЗ) характеризует влажность, при которой наступает устойчивое угнетение растения. Наименьшая влагоемкость (НВ) показывает количество влаги, удерживаемое в почве, после стекания гравитационной влаги.

Показатели этих гидрофизических констант в исследуемых почвах варьируют довольно широко. Наиболее благоприятны их показатели в черноземах и серой лесной почве. На контрольном варианте чернозем обыкновенный под травами с мощностью гумусированных горизонтов 55-60 см (А + АВ) величина влажности завядания имеет наибольшие показатели. Она составляет 9-10%, но с глубиной снижается до 5,54%. Легкая по гранулометрическому составу дерново-подзолистая почва обладает наименьшей ВЗ (1,84%), а в материнской породе её показатель снижается до 0,67%. Колебания показателей ВЗ в большей мере связаны с изменениями гранулометрического состава в почвах.

Величина показателя наименьшей влагоемкости в исследуемых почвах изменяется вслед за гранулометрическим составом: в черноземах и серой лесной почвах она составляет 31-39%, а в песчаных горизонтах опускается до 5,64%. В суглинках она изменяется от 9 до 25%.

5.2. Теплофизическая характеристика генетических горизонтов почв разного генезиса

5.2.1. Теплофизическая характеристика почвенного профиля чернозема выщелоченного

Ранее проведенные исследования показали, что величина теплофизических показателей чернозема выщелоченного определяется состоянием параметров влажности, плотности температуры почвы, её дисперсности и содержания органического вещества (Макарычев, 2005, 2006; Макарычев, Бицошвили, 2014; Чудновский, 1946, 1976; Макарычев, Болотов, 2003; Болотов, 2012).

Гранулометрический состав генетических горизонтов чернозема довольно однороден и относится к легкосуглинистым разновидностям (Бицошвили, Лебедева, 2014). По гранулометрическому составу подстилаящая порода относится к средним суглинкам. Поэтому фактором, дифференцирующим объемную теплоемкость, является показатель влажности почвенных горизонтов. При повышении влажности от 0 до НВ теплоемкость в гумусовом горизонте увеличивается на 41%, в иллювиальном – на 43, в грунте С – на 69% (рис. 10).

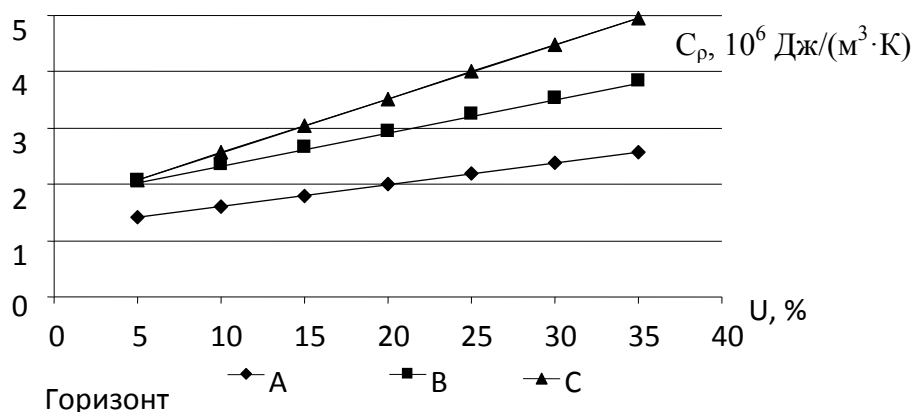


Рис. 10. Объемная теплоемкость чернозема при различной влажности

В зависимости от влажности объемная теплоемкость имеет линейный характер изменения (Макарычев, 1981):

$$C_p = C_{p0} + C_{жс} \rho_0 U, \quad (10)$$

где $C_{жс} = 4190$ Дж/(кгК) – удельная теплоемкость воды;

ρ_0 – плотность абсолютно сухой почвы;

C_{p0} – объемная теплоемкость сухой почвы;

U – влажность почвы, %.

Графики рисунка наглядно показывают, что теплоемкость в гумусированных слабо уплотнённых горизонтах ниже, чем в подстилаяющей породе. Это объясняется

тем, что при увлажнении и уплотнении почвы воздух защемляется твердой и жидкой фазами почвы, теплоемкость которых на три порядка выше, чем теплоемкость воздуха.

Зависимость температуропроводности от степени увлажнения почвы близка к параболе и выражается формулой (Воронин, 1984):

$$a = a_{\max} - C (U - U_{\max})^2, \quad (11)$$

где a_{\max} – максимум температуропроводности;

C – постоянная величина, равная 10^{-3} ;

U_{\max} – влажность при максимуме температуропроводности, %.

Результаты измерений (рис. 10-14) показывают, что при различных уровнях увлажнения отличается максимум температуропроводности (Бицошвили, Лебедева, 2014). При движении вниз по профилю почв максимум перемещается в сторону более высокой влажности и варьирует от 14 до 25%.

Высокая изменчивость температуропроводности в горизонте В обусловлена незначительным содержанием гумуса и наличием здесь хорошо проводящей тепло фракции частиц размером 0,25-0,05 мм.

Характер влияния увлажнения на величину коэффициента теплопроводности показан на рисунке 11. По полученным результатам исследований коэффициент теплопереноса изменяется аналогично закону насыщения. Такой характер возрастания теплопроводности в зависимости от влажности почвы связан с тем, что теплообмен зависит от кондуктивного механизма переноса тепла в почве. Рост влагосодержания приводит к увеличению площади стыковых манжет и, соответственно, теплопроводности. Одновременно возрастает объемная теплоемкость. Увеличение влажности почвы обуславливает развитие процесса пародиффузионного переноса тепла, и вследствие этого теплопроводность увеличивается быстрее, чем объемная теплоемкость. По мере насыщения почвы влагой, когда пленочно-стыковая влага переходит в капиллярную, начинается образование водяных пробок, которые значительно снижают пародиффузионный перенос тепла, оставляя только кондуктивную теплопередачу. При этом теплопроводность изменяет темпы роста (Макарычев, 1990).

Состав и состояние пористости почв и наполненности их водой определяют «насыщение» теплопроводности почвы, которое в зависимости от гранулометрического состава существенно отличается (Макарычев, 2013).

В результате исследований данные по теплопроводности дали возможность проанализировать ее изменения в профиле чернозема. Изменение теплопроводности по горизонтам почв носит аналогичный характер. Величина варьирования для гумусового горизонта составляет 69%, почвообразующей породы – 20, а для иллювиального горизонта – 55%.

Особый интерес представляет распределение теплофизических свойств в профиле чернозема выщелоченного при различном увлажнении. Варьирование теплоемкости в профиле чернозема показано на рисунке 12.

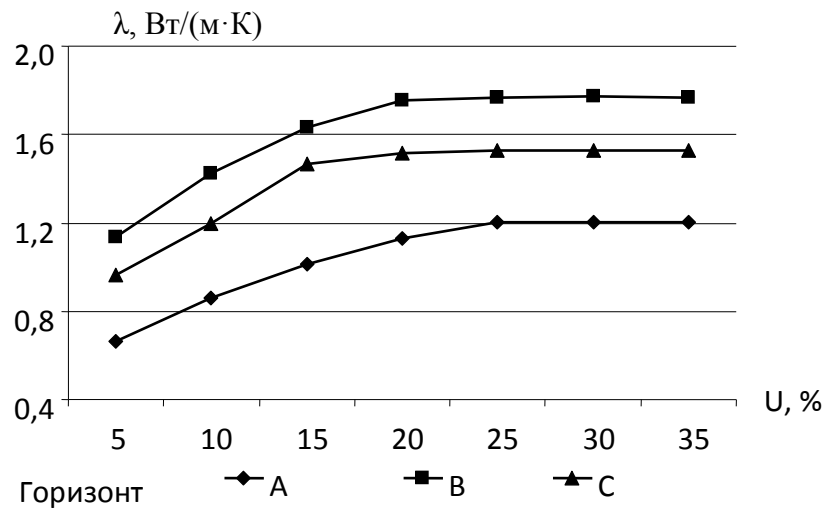
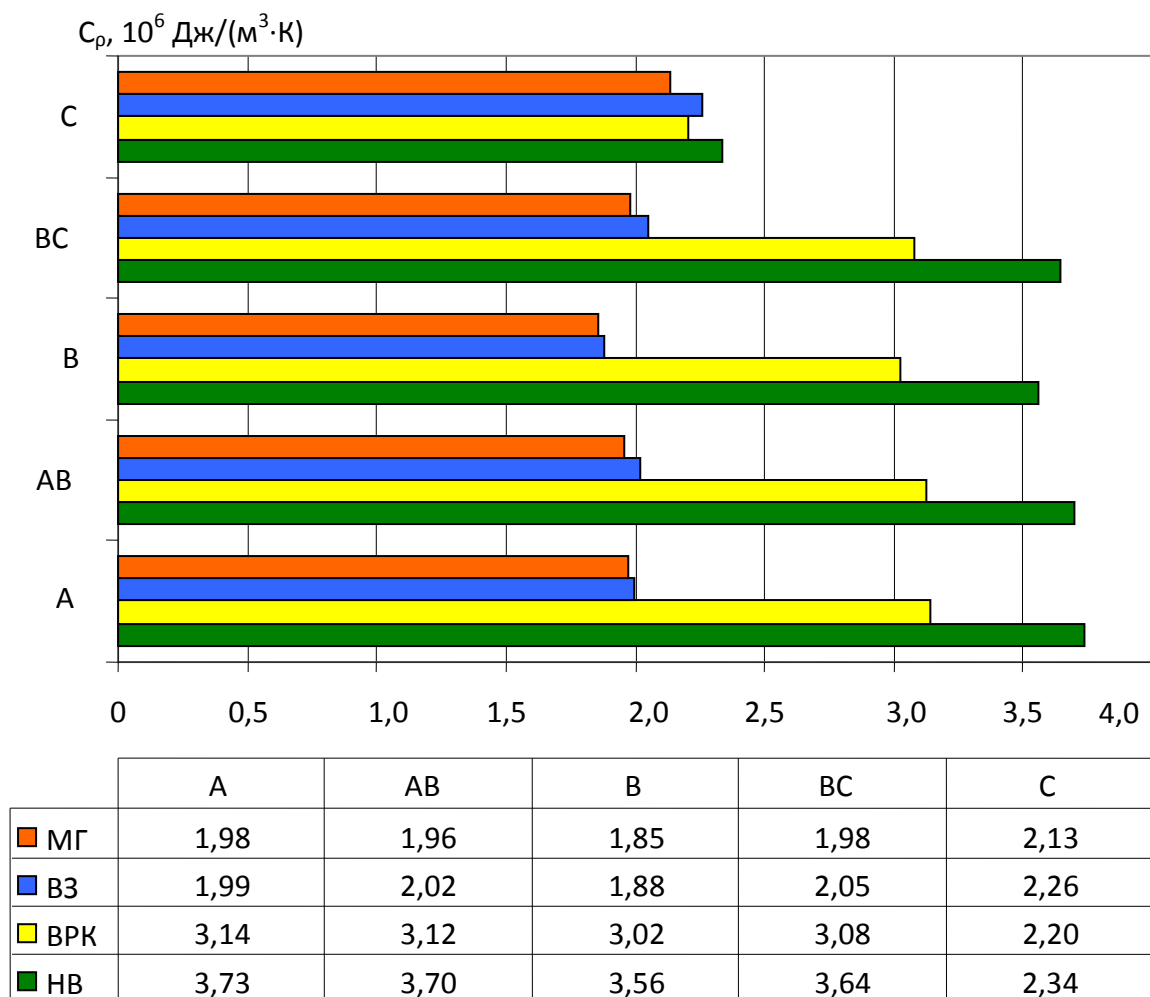


Рис. 11. Теплопроводность чернозема при различном увлажнении

Максимальные изменения теплоемкости характерны для гумусово-аккумулятивного слоя.



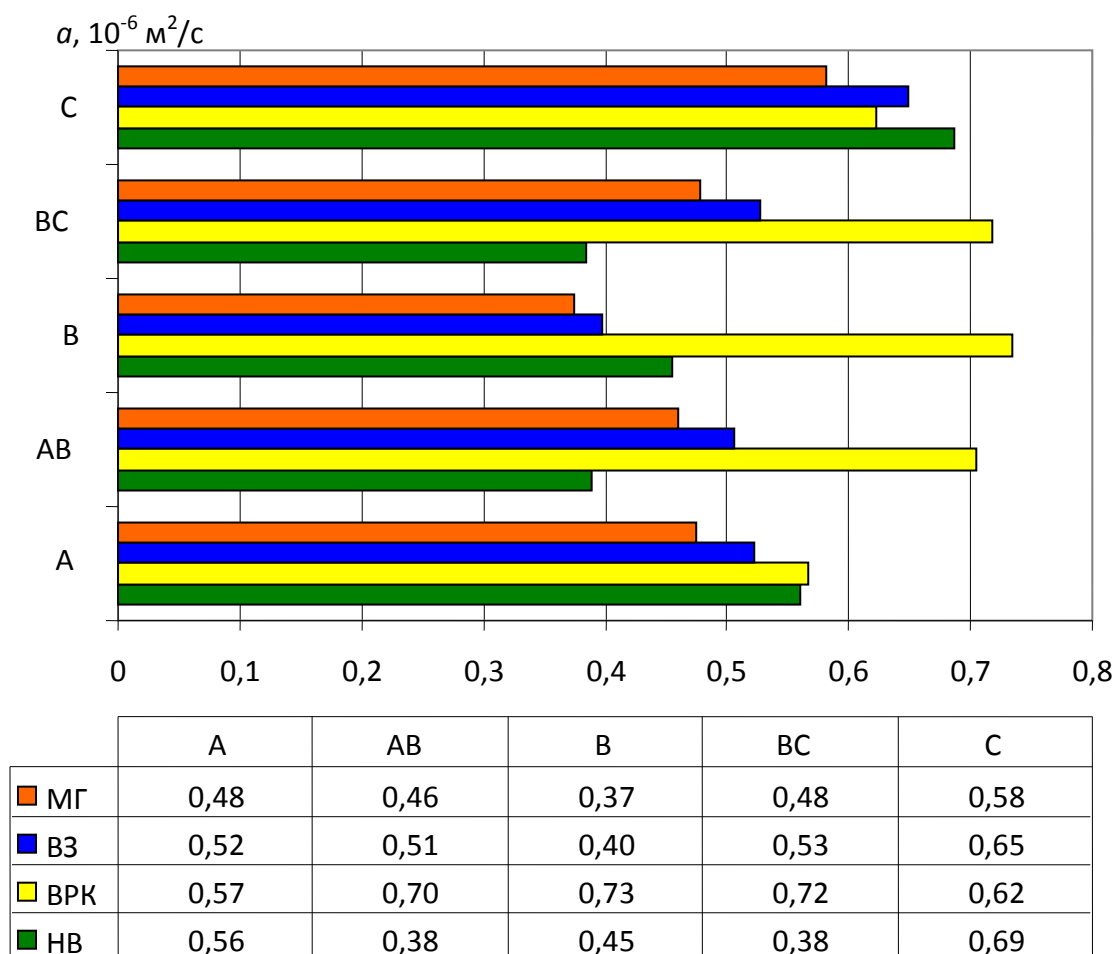
$E(C_p)$ (относительная погрешность) = 3,6%

Рис. 12. Объемная теплоемкость чернозема выщелоченного при разных гидрологических константах

При изменении влажности от МГ до НВ объемная теплоемкость увеличивается почти в два раза, что характерно и для горизонта В, однако в материнской породе они находятся в пределах всего 9%.

Влияние влажности на величину температуропроводности показано на рисунке 13.

Анализируя рисунок, следует отметить, что температуропроводность достигает максимума при влажности, близкой к ВРК, это особенно характерно для почв суглинистого ряда. В виде различий в гумусированности интервал изменений температуропроводности для гумусового горизонта равен 17%, для переходного горизонта АВ – 22%.



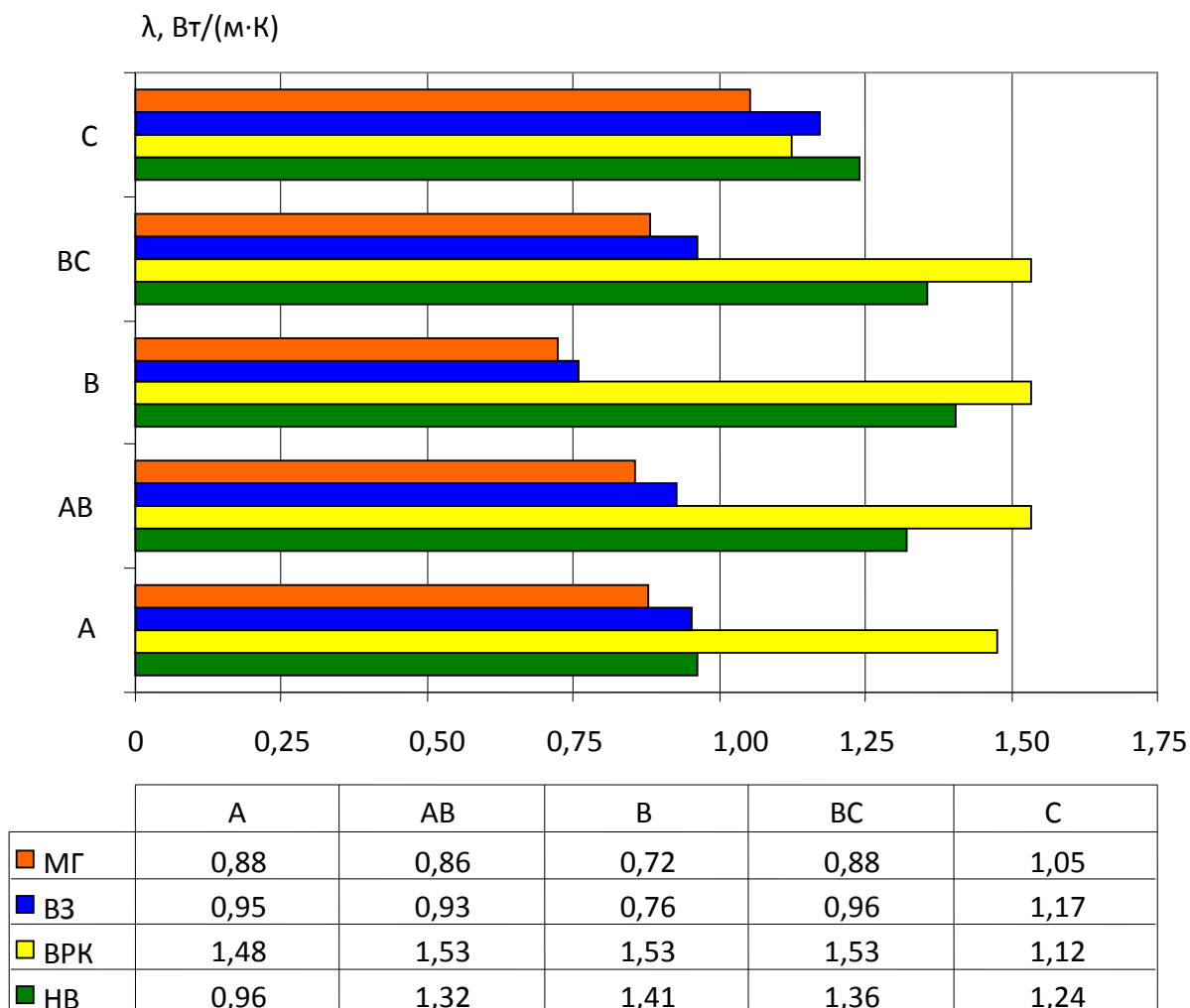
$$E(\alpha) = 2,1\%$$

Рис. 13. Температуропроводность чернозема выщелоченного при разных гидрологических константах

Варьирование теплопроводности в генетических горизонтах чернозема обыкновенного в зависимости от увлажнения показано на рисунке 14.

Данные рисунка наглядно свидетельствуют, что при различных гидрологических константах качественный характер перемены теплофизических коэффициентов в профиле чернозема мало изменяется, при этом степень изменения их может быть различной.

В данном случае при неизменной гидроконстанте теплопроводность имеет наиболее низкие значения в гумусовом горизонте, вниз по профилю они возрастают.



$$E(\lambda) = 3,8\%$$

Рис. 14. Теплопроводность чернозема выщелоченного при разных гидрологических константах

При повышении влажности почвы от ВЗ до НВ во всем почвенном профиле теплопроводность несколько выравнивается и различается между верхним горизонтом и породой всего на 6%.

Изучение связей объемной теплоемкости с внешними факторами проведено с помощью информационно-логического анализа. В качестве внешних факторов использовались: объемная плотность почвы, влажность, содержание гумуса, ГТК за период май-август. Результаты анализа в графической форме представлены на рисунке 15.

Представленные на рисунке 15 графики показывают высокую степень связи плотности с объемной теплоемкостью. Увеличение плотности на $0,05 \text{ г/см}^3$ обуславливает повышение объемной теплоемкости на один ранг ($T = 1,0613$; $K = 0,5560$).

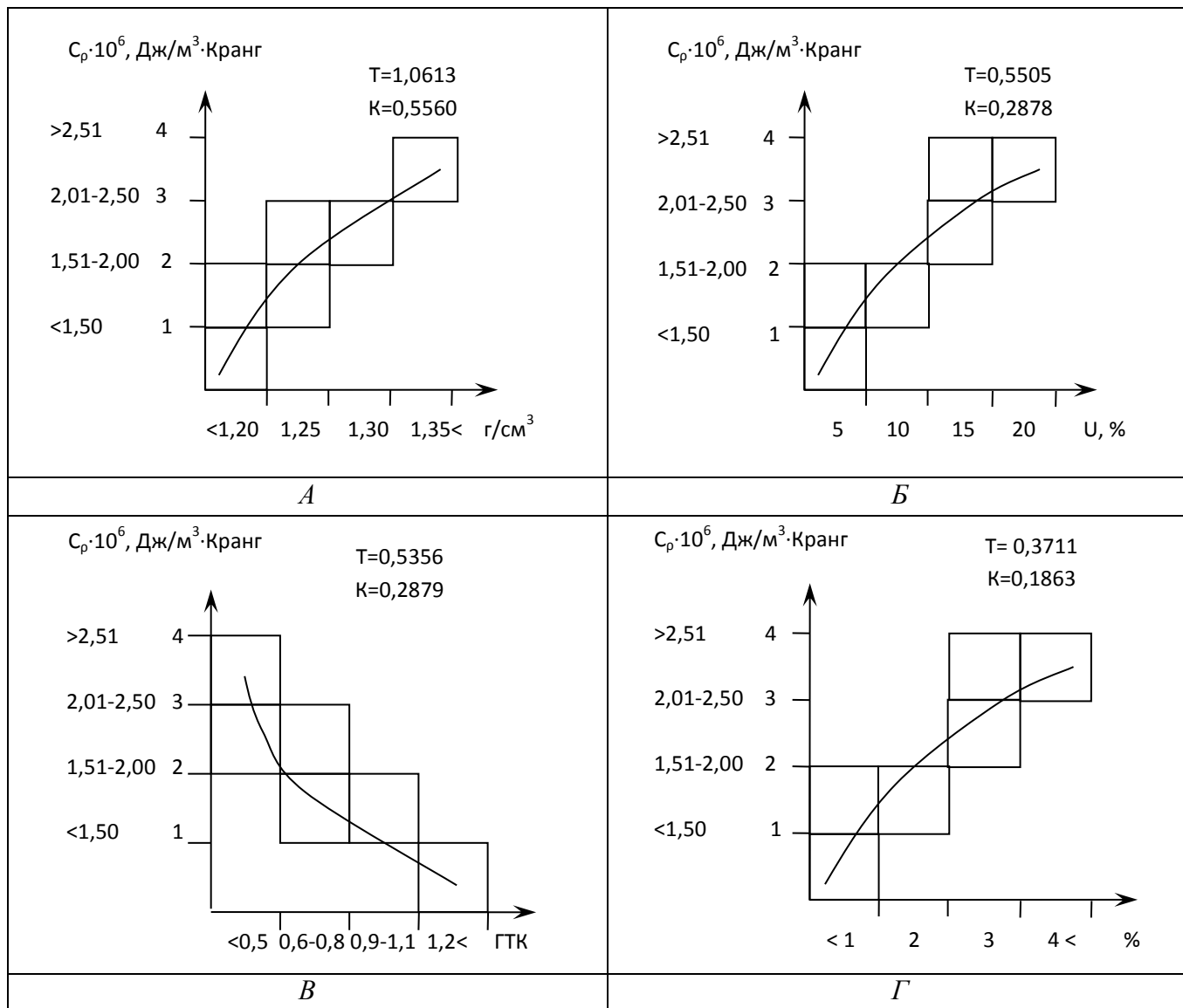


Рис. 15. Влияние плотности (А), влажности (Б), гидротермического коэффициента (В) и содержания гумуса (Г) на теплоемкость чернозема

Зависимость объёмной теплоемкости от влажности имеет криволинейный характер (рис. 15 Б). Увеличение увлажнения метрового слоя почвы привело к постепенному возрастанию коэффициента теплоаккумуляции. Общая информативность T при этом составила 0,5505 бит, а коэффициент эффективности передачи информации K – 0,2878.

На рисунке 15 В показана зависимость теплоемкости от ГТК. Минимальному значению ГТК соответствовало достаточно высокое значение теплоемкости – более $2,51 \cdot 10^6$ Дж/(м³ · К). С увеличением гидротермического коэффициента наблюдалось уменьшение объёмной теплоемкости, при этом эффективность каналов связи и общая информативность данных были достаточно высоки.

Специфические градации объёмной теплоемкости по содержанию гумуса представлены на рисунке 15 Г. С увеличением содержания гумуса в почвенном профиле значение коэффициента теплоаккумуляции возрастало практически прямо пропор-

ционально. Однако по сравнению с другими факторами, влияющими на изменения объёмной теплоемкости, содержание гумуса в метровом слое имело наименьшие информативность ($T = 0,3711$) и эффективность каналов связи ($K = 0,1863$).

Доля влияния факторов на величину объёмной теплоемкости определялась по формуле:

$$D = T : H(A) \cdot 100\%, \quad (12)$$

где D – доля влияния приведенного фактора на значение объёмной теплоемкости, %;

T – общая информативность, бит;

$H(A)$ – неопределенность по рассматриваемому фактору, бит.

В таблице 6 приведены данные вычислений.

Таблица 6

Доля влияния почвенно-физических факторов
на объёмную теплоемкость чернозема выщелоченного

Факторы	T, бит	K	H (A), бит	D, %
Плотность	1,0613	0,5560	2,6055	41
Влажность	0,5505	0,2878	2,5830	21
ГТК	0,5356	0,2879	2,5689	21
Содержание гумуса	0,3711	0,1863	2,4941	15

По величине доли влияния на теплоёмкость чернозёма выщелоченного максимальное значение по степени убывания имели следующие факторы: плотность (41%), влажность и ГТК (по 21%), содержание гумуса (15%). На долю участия других, не рассматриваемых, факторов остается 2%.

По величине эффективности канала связи между объёмной теплоемкостью и внешними факторами они могут быть выстроены в следующий иерархический ряд:

$$П > В > ГТК > СГ.$$

Информационно-логический анализ сопряженных данных теплоемкости и внешних факторов позволил построить информационно-логическую модель закономерности формирования той или иной теплоемкости:

$$C = П \boxtimes [[В \boxtimes ГТК] \boxtimes СГ], \quad (13)$$

где C – ранг теплоемкости чернозема;

$П$ – величина ранга от плотности почвы;

$В$ – величина ранга от влажности почвы;

$ГТК$ – величина ранга от гидротермического коэффициента;

$СГ$ – величина ранга по содержанию гумуса;

\boxtimes – знак нелинейного логического произведения.

Полученная модель позволяет с определенной точностью прогнозировать величину теплоемкости по состоянию параметров изученных факторов.

5.2.2. Теплофизические свойства черноземов обыкновенных

Как было показано выше, в жизни древесных насаждений основную роль играет микроклимат приземного слоя атмосферы и почвы (Гейгер, 1960; Мелехов, 1999; Абаимов, 2009). Для произрастания растений оптимален режим, который обеспечивает требуемым количеством тепла все биопроцессы, протекающие в почве. Характерно, что свето- и влаголюбивая береза тополелистная при этом очень хорошо переносит низкие температуры.

Изучаемые свойства почв довольно широко варьируют как во времени, так и в пространстве. Исследования теплофизического состояния почвенного профиля черноземов обыкновенных проводились под пологом леса и под травянистым покровом. Наблюдения осуществлялись в течение 3 лет – с 2014 по 2017 гг.

В березовых насаждениях сформировались черноземы обыкновенные легкосуглинистого гранулометрического состава. Показатели содержания физической глины около 30%. Ниже по профилю почвы её содержание увеличивается. Распределение фракции крупной пыли в профиле характеризуется 48-58% в верхних горизонтах, 29% в переходе к материнской породе. Количество ила по всему профилю не превышает 11%.

Согласно классификации чернозем на поляне под травяным покровом относится к среднесуглинистой разновидности (физ. гл. 31-35%). Преобладает фракция крупной пыли (41-50%), и отмечается более высокое содержание ила в профиле почвы – от 16 до 21%.

Одним из наиболее важных показателей почвы, определяющих её водно-воздушный режим, является плотность сложения (Качинский, 1965). Наименьшей плотностью обладают горизонты чернозема обыкновенного, покрытого травой на поляне, особенно гумусовые горизонты А и А1 чернозема, в которых отмечена минимальную плотность, равная 1,21-1,22 г/см³.

Черноземы Приобья, сформированные на лессовидных суглинках, имеют характерное сочетание пор различного размера. В черноземах обыкновенных среднесуглинистых в гумусированных горизонтах преобладают поры диаметром менее 3 мкм, в то время как средние (3-60 мкм) и крупные (>60 мкм) занимают 29 и 20% соответственно. В режиме естественного увлажнения они не заполняются водой, что обуславливает высокую аэрацию и водоотдачу почв. Такое сочетание почвенных пор обеспечивает ясно выраженную влажность разрыва капилляров в размерах 0,70-0,75 НВ. В верхнем слое почвы при влажности, равной НВ, влага занимает 44% общей пористости, она хорошо удерживается в системе мелких пор, что соответствует для пленочно-связного состояния почвенной воды (Мазиров, 2002).

Показатели гидрологических свойств свидетельствуют о том, что у чернозема обыкновенного среднесуглинистого под травяным покровом влажность завядания выше, особенно в гумусированных горизонтах НВ черноземов составляет 31-39% от массы почвы.

Поскольку изучаемые почвы сформированы на территории с недостаточным увлажнением, запасы влаги в них часто бывают низкими, а объем пор, занятых воздухом, высоким. Черноземы обыкновенные обладают непромывным водным режимом (Панфилов, 1975; Макарычев, 2007). Показатели теплофизических характеристик чернозема обыкновенного по горизонтам представлены в таблице 7 (абсолютно сухой вес).

Таблица 7

Удельная (C_0 , Дж/(кг К)), объемная (C_p , 10^6 Дж/(m^3 К)) теплоемкости, температуропроводность (α , 10^{-6} m^2/c), теплопроводность (λ , Вт/(м К)) почвы при абсолютно сухом состоянии

Горизонт	C_0	C_p	α	λ
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения				
А	1089	1,318	0,463	0,610
АВк	1172	1,547	0,402	0,622
Вк	1191	1,775	0,287	0,499
ВСк	1208	1,824	0,252	0,460
Ск	1219	1,780	0,287	0,501
Чернозем обыкновенный. Травяной покров				
А	1042	1,271	0,426	0,541
АВк	1113	1,436	0,364	0,522
Вк	1167	1,610	0,316	0,508
ВСк	1218	1,815	0,259	0,470

Примечание. $E(C_0) = 2,7\%$, $E(C_p) = 3,5\%$, $E(\alpha) = 1,8\%$, $E(\lambda) = 4,2\%$.

Данные таблицы наглядно свидетельствуют о том, что минимальной теплоаккумуляцией обладают гумусовые горизонты черноземов, в то время как максимальная отмечается в подстилающей породе. В данном случае имеет смысл проследить изменение в том же направлении тепловых свойств почв (рис. 16-21).

Особенности изменения тепло- и температуропроводности в зависимости от степени почвенного увлажнения представлены в работе С.В. Макарычева (2006).

Автором отмечается, что снижение энергии связи между влажной и твердой фазой почвы происходит при переходе воды из прочносвязанного состояния в рыхлосвязанное, а затем в свободное состояние. При этом увеличивается содержание парообразной влаги, обводненных почвенных пор, что изменяет условия диффузии и энергопереноса.

Наиболее заметны эти процессы в гумусовом горизонте, где теплоемкость растет почти в два раза при увлажнении от ВЗ до НВ. Такие же процессы отмечаются в иллювиальном горизонте.

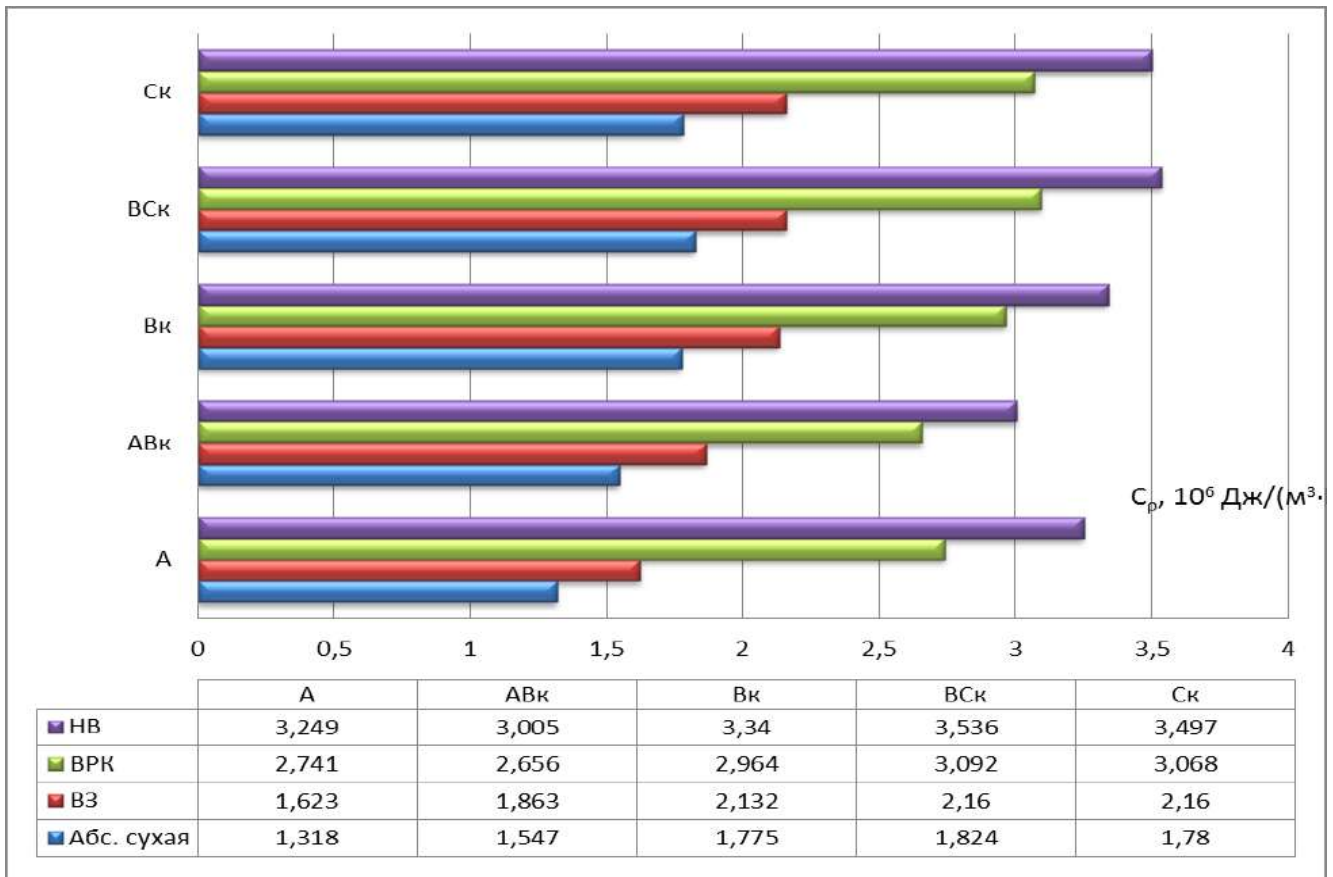


Рис. 16. Объемная теплоемкость ($C_p, 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{ К})$) в профиле чернозема обыкновенного (березовые насаждения)

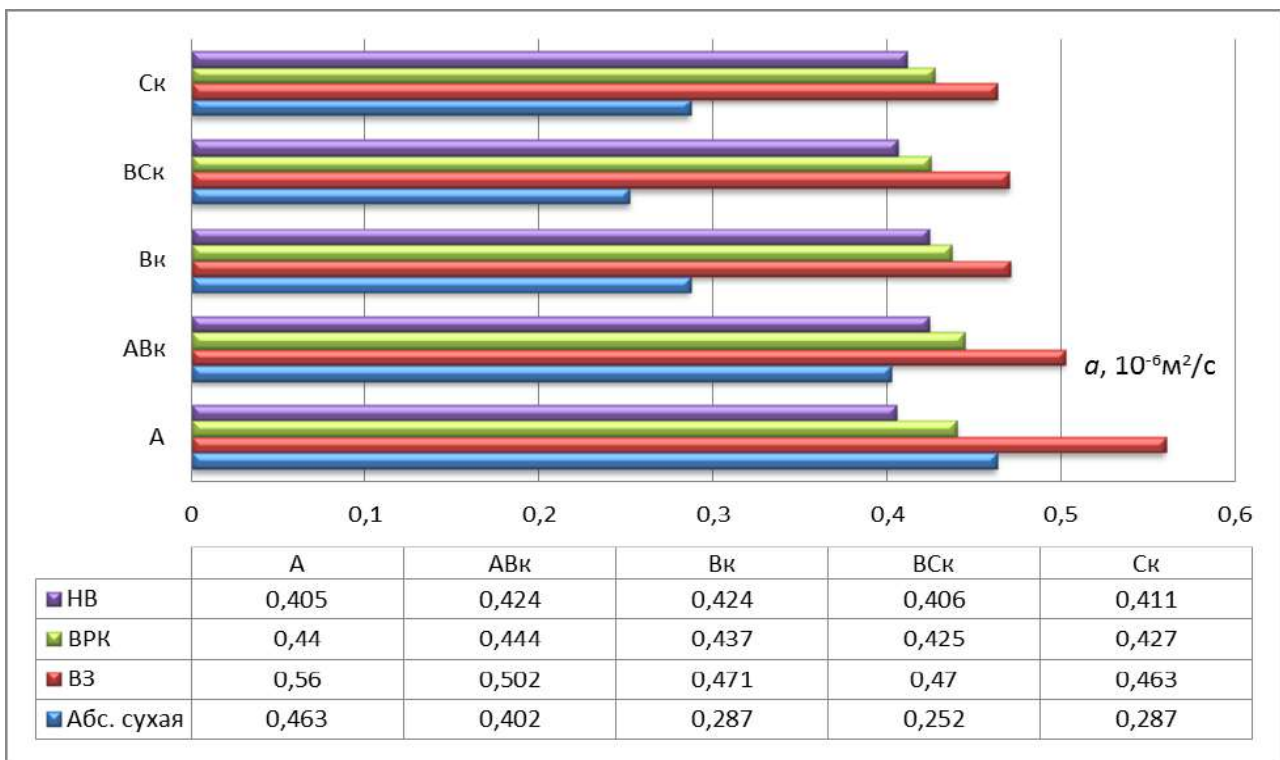


Рис. 17. Температуропроводность ($\alpha, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) в профиле чернозема обыкновенного (березовые насаждения)

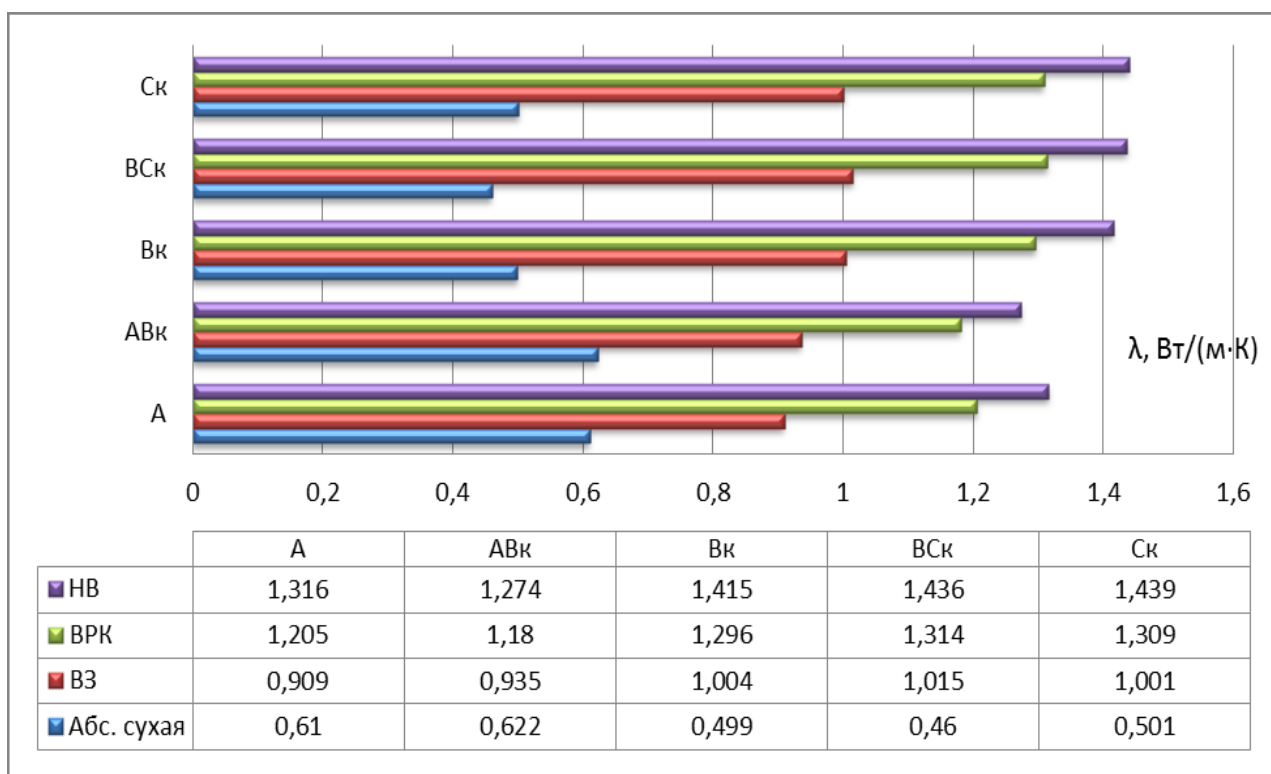


Рис. 18. Теплопроводность (λ , Вт/(м К))
в профиле чернозема обыкновенного (березовые насаждения)

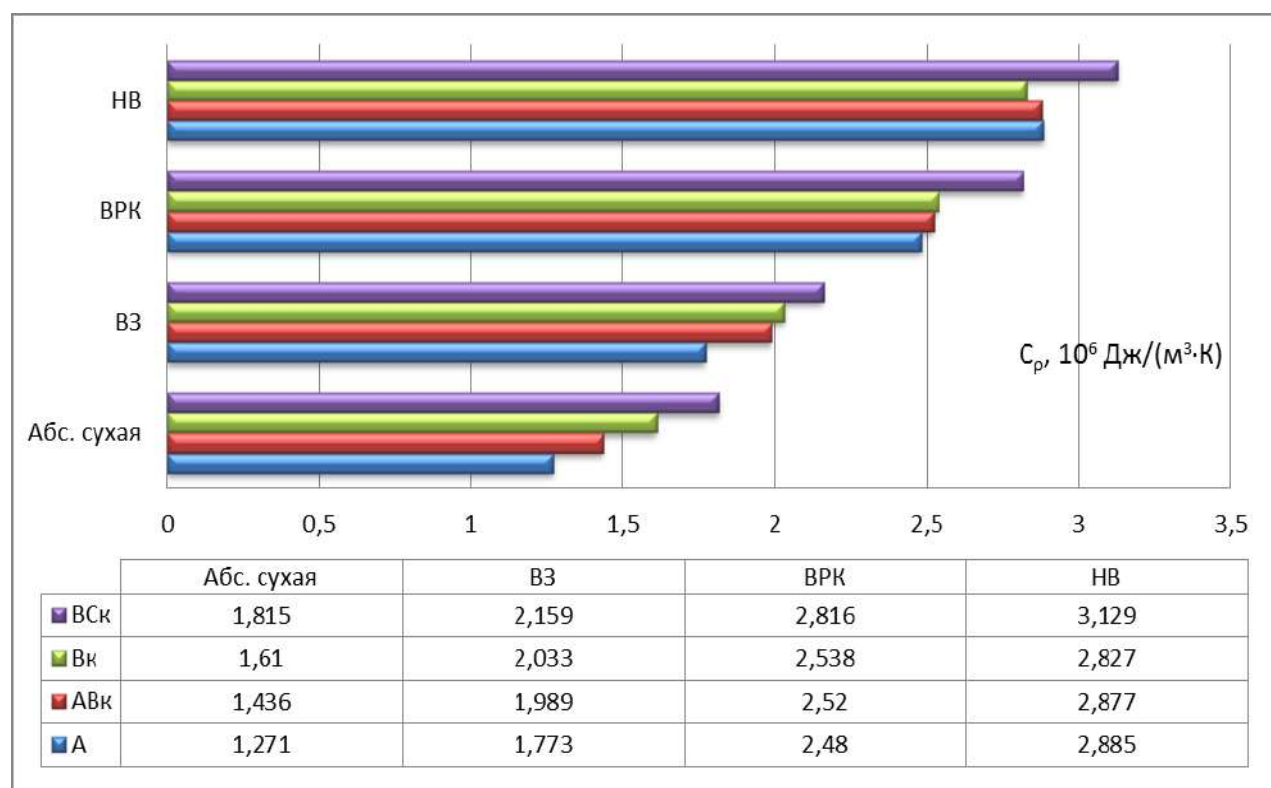


Рис. 19. Объемная теплоемкость (C_p , 10^6 Дж/(м³ К))
в профиле чернозема (травяной покров)

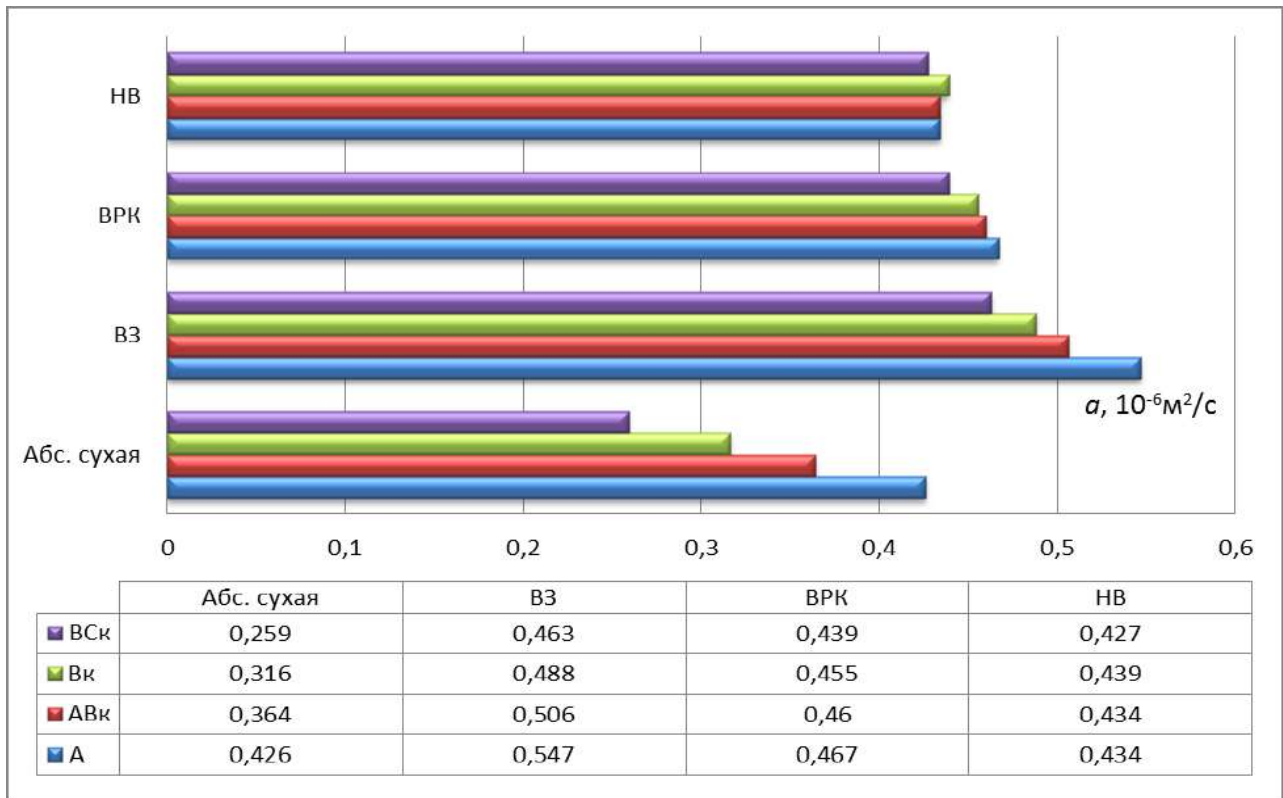


Рис. 20. Температуропроводность (α , $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) в профиле чернозема (травяной покров)

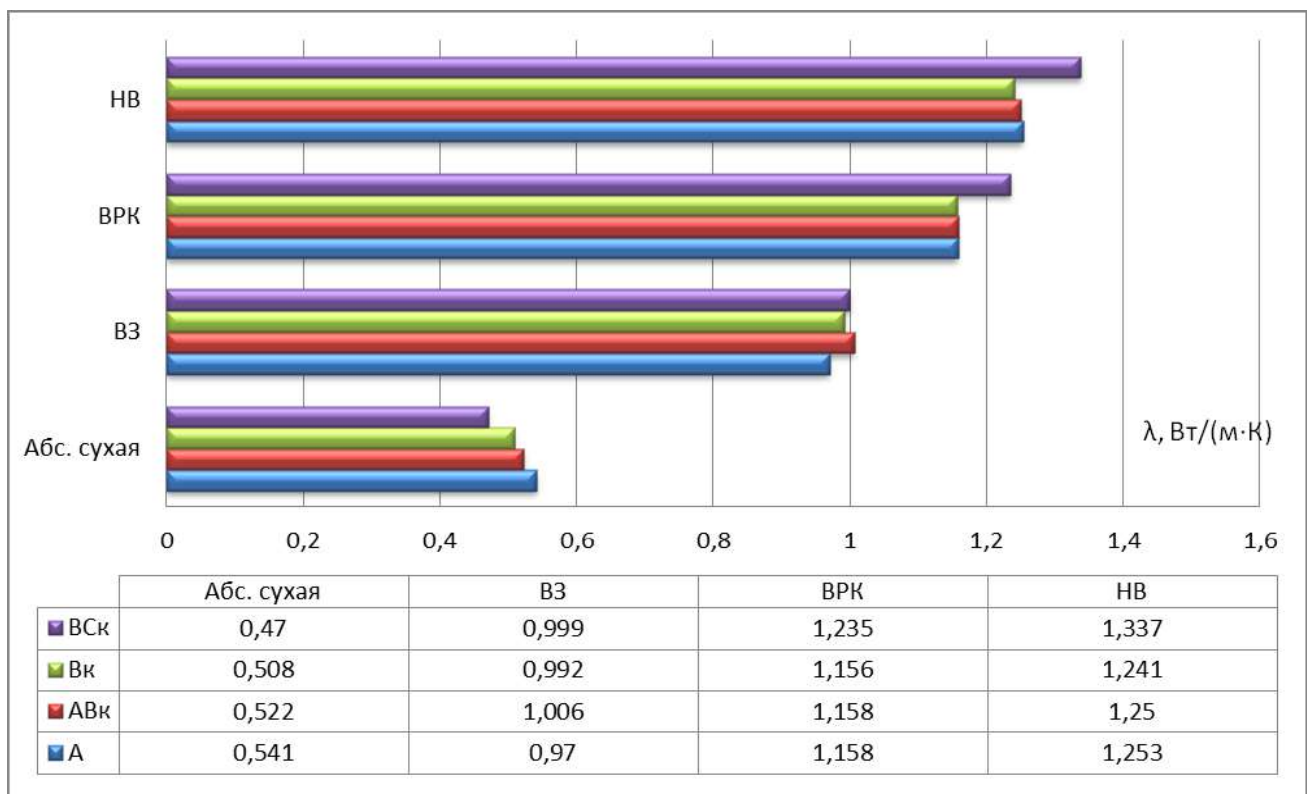


Рис. 21. Теплопроводность (λ , Вт/(м К)) в профиле чернозема (травяной покров)

Температуропроводность приобретает максимальное значение при ВРК, что присуще для суглинков. Наблюдения дают основание считать, что при изменении

гидроконстант качественные показатели теплофизических характеристик черноземов остаются практически неизменными. Это справедливо и для динамики тепло- и температуропроводности.

Так, при определенной гидроконстанте теплопроводность имеет меньшие значения в гумусовом горизонте, а с глубиной они возрастают. Например, при ВЗ теплопроводность чернозема растет от А к горизонту С на 11%, а при НВ – на 9%, т.е. повышение влагосодержания в почве обуславливает выравнивание термических свойств в почвенном профиле.

Таким образом, из вышерассмотренного следует, что температуропроводность тесно связана с определенными параметрами влагосодержания, что дает новый импульс в понимании взаимосвязей тепловых свойств почвы и её выраженностью. Это имеет большую практическую значимость, так как дает возможность прогнозировать изменение теплофизических коэффициентов в зависимости от влажности почвы, что важно для комплексного решения актуальных проблем влаго- и тепломелиорации почв в условиях Сибири.

5.2.3. Теплофизические свойства серых лесных и дерново-подзолистых почв

Теплофизические свойства почв, как известно, являются производными от ряда факторов: увлажнения, грансостава, плотности и т. д. (Чудновский, 1976; Макарычев, 2007).

Различные сочетания параметров этих почвенных свойств обеспечивают формирование теплофизических факторов. Сложность определения теплофизических показателей ограничивает круг исследований в этой области, особенно мало изучены вопросы влияния древесных растений на теплофизический режим почвенного профиля.

Как показано выше, серые лесные почвы под дубовой рощей содержат физическую глину в профиле от 12 до 17%, что позволяет отнести их к супесчаной разновидности. Некоторое утяжеление гранулометрического состава отмечается в горизонте A_1A_2 . Характерно отсутствие средней и мелкой пыли, содержание ила менее 11%.

Сформированная под ельником дерново-подзолистая почва относится к песчаной разновидности. Песчаные фракции преобладают во всех горизонтах профиля почвы, варьируя по содержанию от 84 до 90%. Практически отсутствуют фракции пылевидных и илистых частиц.

Наибольшая максимальная плотность отмечается в серой лесной почве, особенно в нижних горизонтах. Влажность завядания в исследуемых почвах изменяется довольно широко. В серых лесных почвах и черноземах обыкновенных её показатели варьируют в пределах 4,15-6,32%. Наименьшие показатели ВЗ отмечаются в дерново-подзолистой песчаной почве, где в гумусовом горизонте она составляет 1,84%,

в подстиляющей породе – 0,67%. Эти особенности обусловлены гранулометрическим составом исследованных почв, который варьирует от песков до тяжелых суглинков. Серые лесные почвы обладают довольно высокой наименьшей влагоемкостью – 31-39% от массы почвы. В дерново-подзолистой песчаной почве этот показатель не превышает 5,6%, что обеспечивает максимальную порозность аэрации.

Ниже, в таблице 8 приведены сравнительные показатели теплофизических свойств исследуемых почв.

Таблица 8

Удельная (C_0 , Дж/(кг К)), объемная (C_p , 10^6 Дж/(m^3 К)) теплоемкости, температуропроводность (α , 10^{-6} m^2/s) и теплопроводность (λ , Вт/(м К)) почв (абсолютно сухое состояние)

Серая лесная почва. Дубовые насаждения				
Горизонт	C_0	C_p	α	λ
A1	1170	1,591	0,401	0,638
A1A2	1192	1,740	0,381	0,663
A2B	1175	1,856	0,358	0,664
B	1150	1,932	0,394	0,761
BC	1186	1,945	0,371	0,722
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения				
A1	1166	1,609	0,453	0,729
A1A2	1137	1,694	0,404	0,684
A2	1090	1,635	0,411	0,671
B	1182	1,789	0,392	0,701
C	1147	1,812	0,390	0,707

Примечание. $E(C_0) = 2,2\%$, $E(C_p) = 3,5\%$, $E(\alpha) = 1,9\%$, $E(\lambda) = 4,4\%$.

Данные таблицы показывают, что показатели теплоёмкости данных почв изменяются от 1089 Дж/(кг К) в горизонте А до 1186 Дж/(кг К) в материнской породе. При этом объёмная теплоемкость горизонтов вымывания и почвообразующей породы значительно различаются (Макарычев, Лебедева, 2017). В серой лесной почве под дубами она составляет $1,932 \cdot 10^6$ (Дж/ m^3 К), что значительно выше.

Большее уплотнение гумусированных горизонтов серой лесной почвы обусловило более низкую её температуропроводность по сравнению с дерново-подзолистой почвой. При этом большую роль сыграло различие гранулометрического состава. Серые лесные почвы довлеют к суглинистым разновидностям, в то время как дерново-подзолистые представлены фракцией песка на 87-90%. Поэтому их температуропроводность по величине незначительно различается, так как она является производением объёмной теплоемкости и теплопроводности.

Ниже на рисунках 22-24 показана зависимость теплофизических коэффициентов от различного уровня увлажнения в разных почвах.

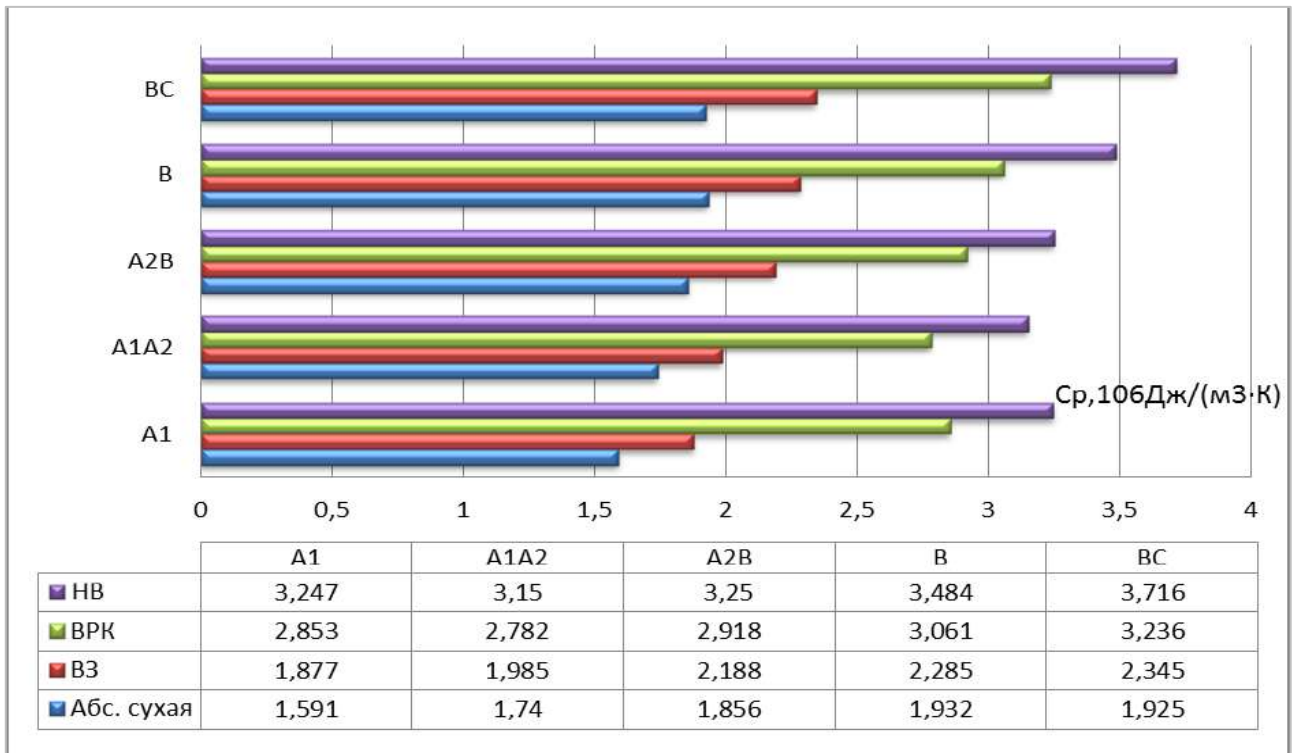


Рис. 22. Объемная теплоемкость ($C_p, 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \text{ К})$) серой лесной почвы при разной степени увлажнения (дубовые насаждения)

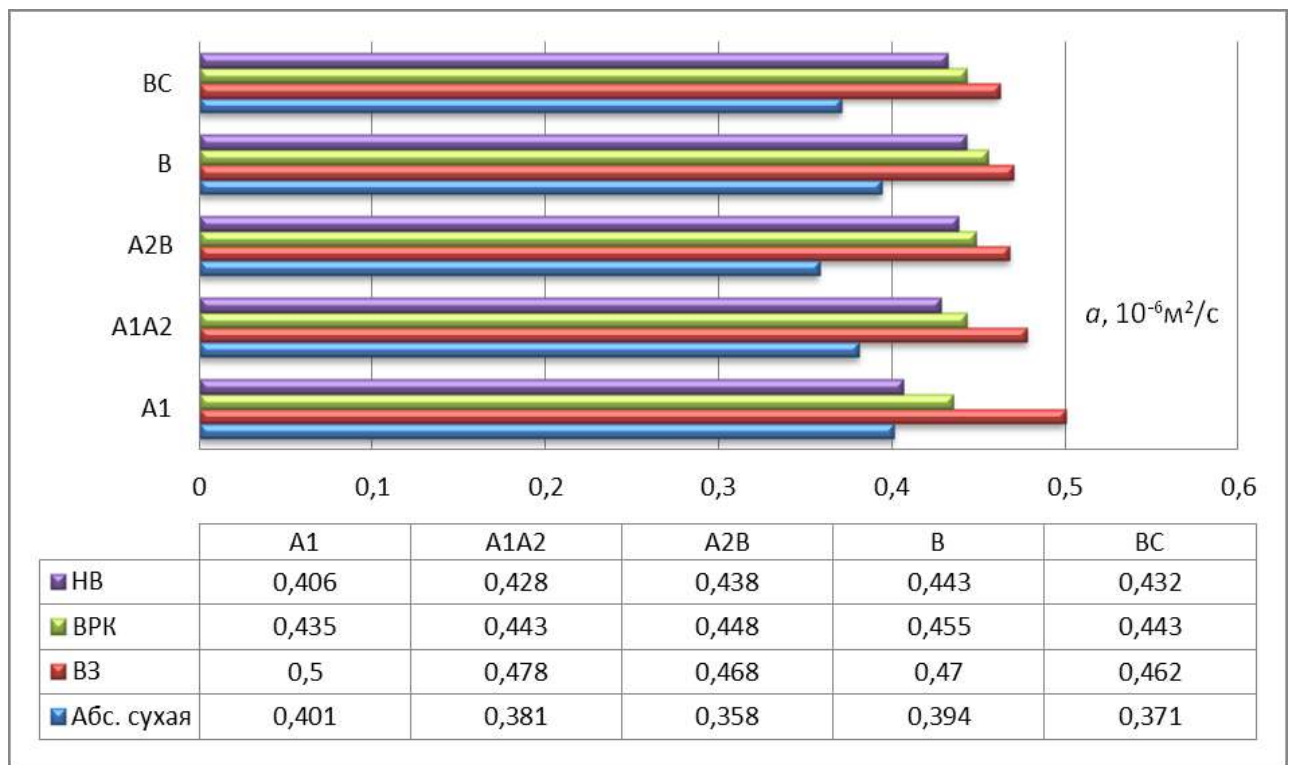
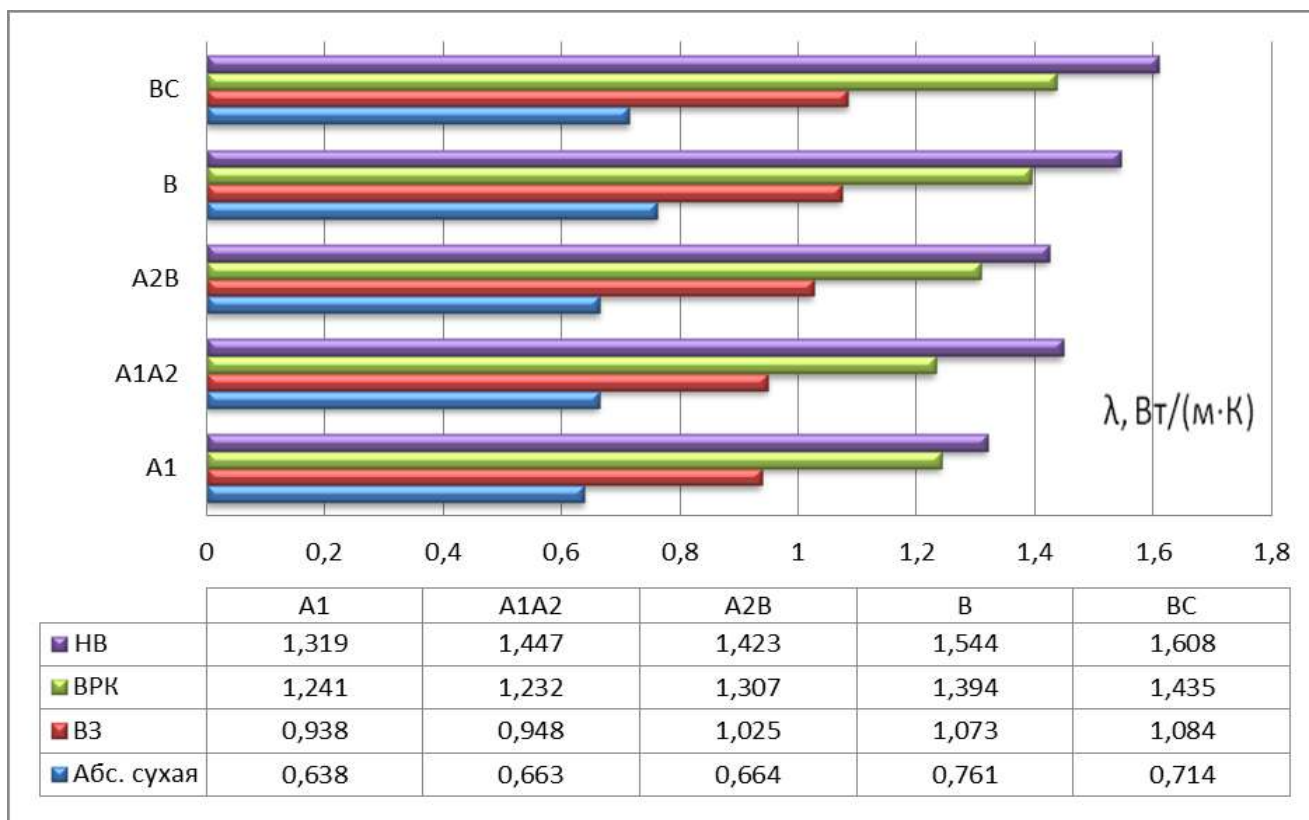


Рис. 23. Температуропроводность ($\alpha, 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) серой лесной почвы при разном увлажнении (дубовые насаждения)



Относительные погрешности ТФК в пределах от 2 до 4%.

Рис. 24. Теплопроводность (λ , Вт/(м К)) серой лесной почвы при разной степени почвенной влажности (дубовые насаждения)

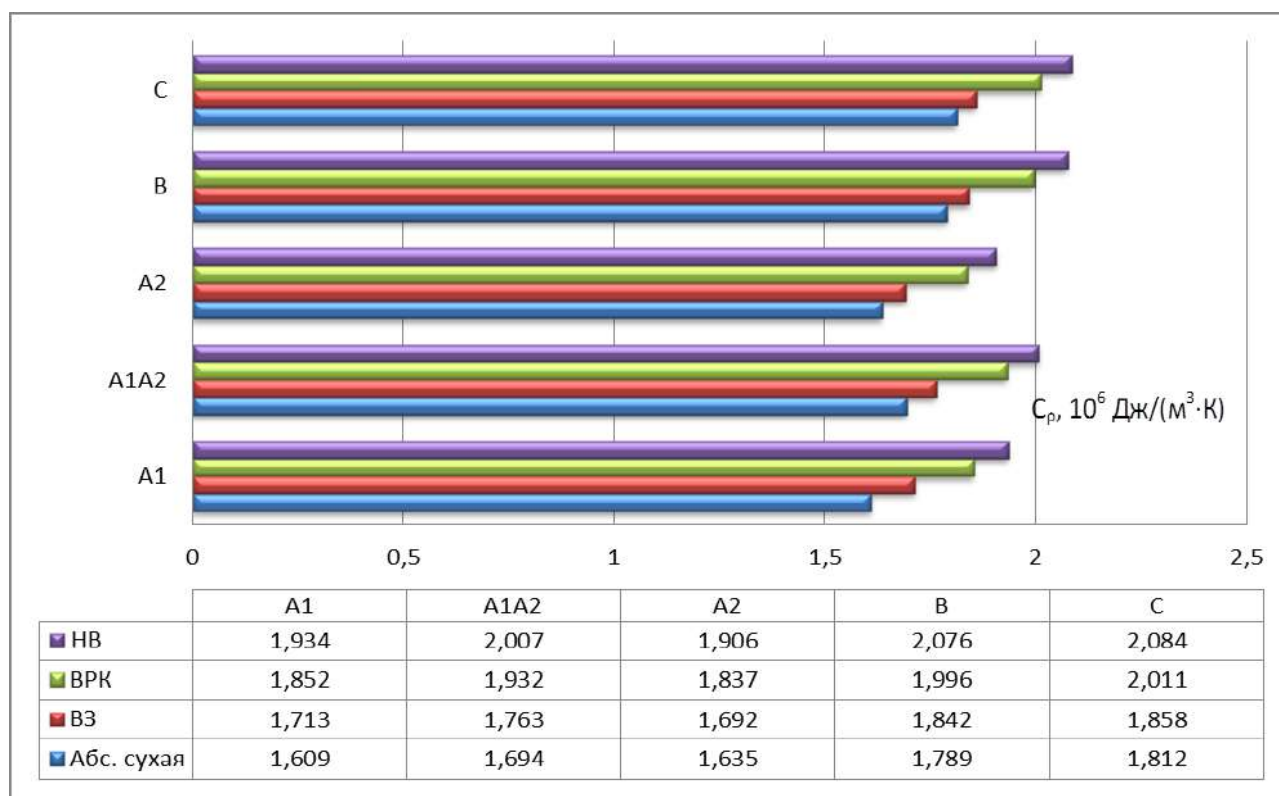


Рис. 25. Объемная теплоемкость (C_p , 10^6 Дж/(м³ К)) влажной дерново-подзолистой почвы (еловые насаждения)

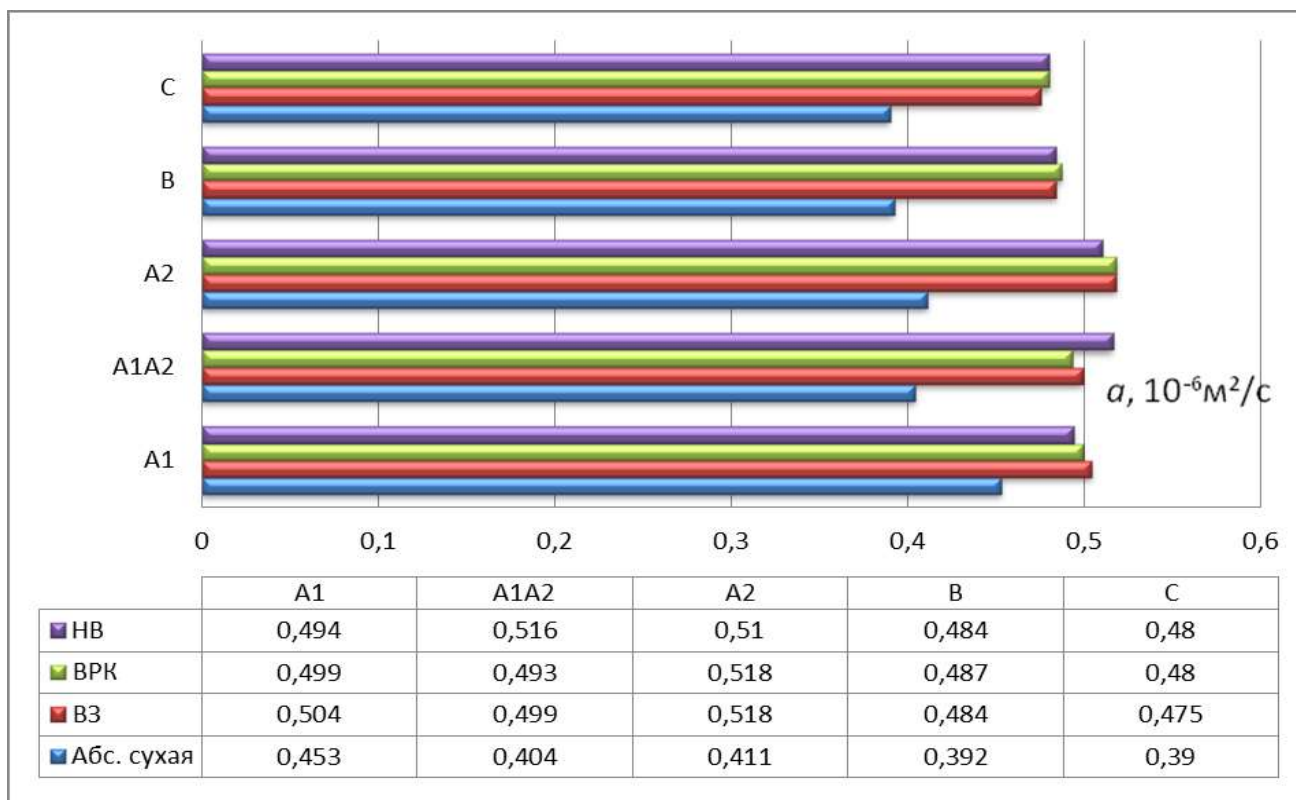


Рис. 26. Температуропроводность (α , $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) и теплопроводность (λ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) влажной дерново-подзолистой почвы (еловые насаждения)

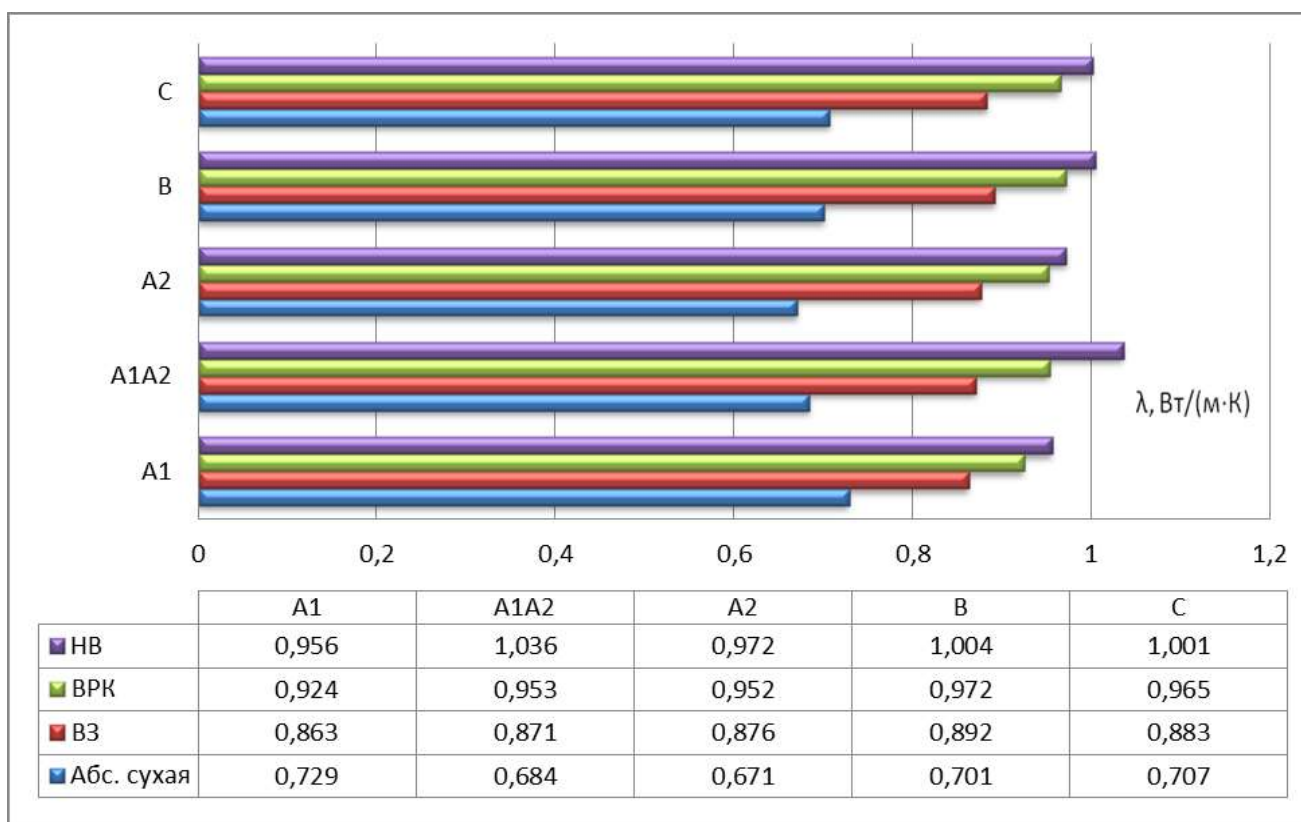


Рис. 27. Теплопроводность (λ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) влажной дерново-подзолистой почвы (еловые насаждения)

Объемная теплоемкость при влажности завядания во всем профиле серой лесной почвы превышает этот показатель в дерново-подзолистой почве. При этом температуропроводность дерново-подзолистой почвы выше, что объясняется различной степенью дисперсности горизонтов. Такая закономерность формирования теплофизических коэффициентов сохраняется при различных уровнях увлажнения.

Следовательно, при той или иной гидрологической постоянной характер теплофизических характеристик в профиле изучаемых почв практически не меняется, хотя варьирование их может быть различным. При увлажнении почвы до ВЗ, ВРК или НВ объемная теплоемкость и теплопроводность минимальны в гумусовом слое, а в более глубоких горизонтах они становятся больше.

Качественные изменения температуропроводности почв при увлажнении во всем профиле также одинаковы, но ее максимум всегда приурочен к той или иной гидроконстанте. Итак, эффект замедления тепло- и температуропроводности с увеличением влажности в почвенных слоях имеет место при разных водных постоянных: в супесчаных горизонтах близок к 15-16%, а в песчаных – к 6-10%. Таким образом, в легких почвах показатели теплопроводности и температуропроводности растут и становятся максимальными при увлажнении меньшем, чем в тяжелых почвах. Это зависит от качественного состава пористости почв, а также степени обводнения воздушных пор. В супесчаных горизонтах больше крупных и средних пор, составляющих до 70% пористости, что обеспечивает дискретный характер влаги в почве во всем диапазоне ее увлажнения от 0 до ПВ (Панфилов, Чащина, 1975). При НВ содержат воду всего 40-45% мелких пор, а крупные и часть средних содержат воздух.

В супесях влага находится в состоянии капиллярно-связного водного тела, которое обеспечивает хорошую кондуктивную теплопроводность только при наименьшей влагоемкости. В этом случае 55% порового пространства остаются необводненными и определяют воздушную фазу в почве. Это формирует весьма благоприятные условия теплопереноса за счет диффузии пара и передачи тепла. Таким образом, в легких по гранулометрическому составу почвах пародиффузионный характер тепломассопереноса имеет определяющее значение во всем интервале их естественного влагосодержания.

Итак, показанные особенности поведения коэффициентов тепло- и температуропроводности в изученных нами почвах в большой степени определяются различиями в их гранулометрическом составе, который обусловил разные водно-физические свойства в почвенном профиле и разное соотношение воды и воздуха в поровом пространстве, а также различную энергию связи частиц скелета почвы с воздухом и водой и, тем самым, неодинаковую интенсивность передачи тепла при одинаковых гидроконстантах.

5.2.4. Объемная теплоемкость почв разного генезиса как функция почвенно-физических факторов

Для нахождения зависимости объёмной теплоемкости почвы от ряда почвенно-физических факторов была экспериментально определена теплоемкость в зависимости от плотности, влажности почвы и содержания в ней гумуса методом импульсного нагревателя (Болотов, 2014; Макарычев, 2010). Из полученной базы нами были отобраны данные по принципу точечных наблюдений (Рассыпнов, 1987).

Анализ данных выявил высокую степень связи теплоемкости с изученными факторами (Макарычев, Лебедева, 2015). Установлены высокие коэффициенты эффективности канала связи, определяющего меру зависимости между явлениями и фактором. Результаты такого анализа для плотности сложения содержания гумуса и влажности по генетическим горизонтам приведены на рисунке 28.

Данные указывают на довольно высокую связь указанных факторов с явлениями, причем максимальное действие на показатель теплоемкости в черноземах оказывает плотность сложения генетических горизонтов (общая информативность T , бит – 1,3504; эффективности каналов связи K – 0,8148). Результаты вычисления отображены в таблице 9.

Таблица 9

Влияния состояния факторов
на объёмную теплоемкость чернозема обыкновенного

Факторы	T , бит	K	$H(A)$, бит	D , %
Плотность	1,3504	0,8148	2,9524	46
Содержание гумуса	0,8776	0,4764	2,9423	29
Влажность	0,6101	0,3886	2,6855	23

По величине коэффициентов эффективности передачи информации эти факторы распределяются в иерархический ряд: $P > CG > B$.

Информационно-логический анализ рядов сопряженных наблюдений позволили выявить величину зависимости объёмной теплоемкости чернозема (C_p) от состояния параметров различных факторов и построить информационно-логическую модель явления:

$$C = P \boxtimes [CG \boxtimes B],$$

где C – ранг теплоемкости чернозема;

P – ранг по состоянию плотности почвы;

B – ранг по величине влажности почвы;

CG – ранг по содержанию гумуса;

\boxtimes – знак функции нелинейного логического произведения.

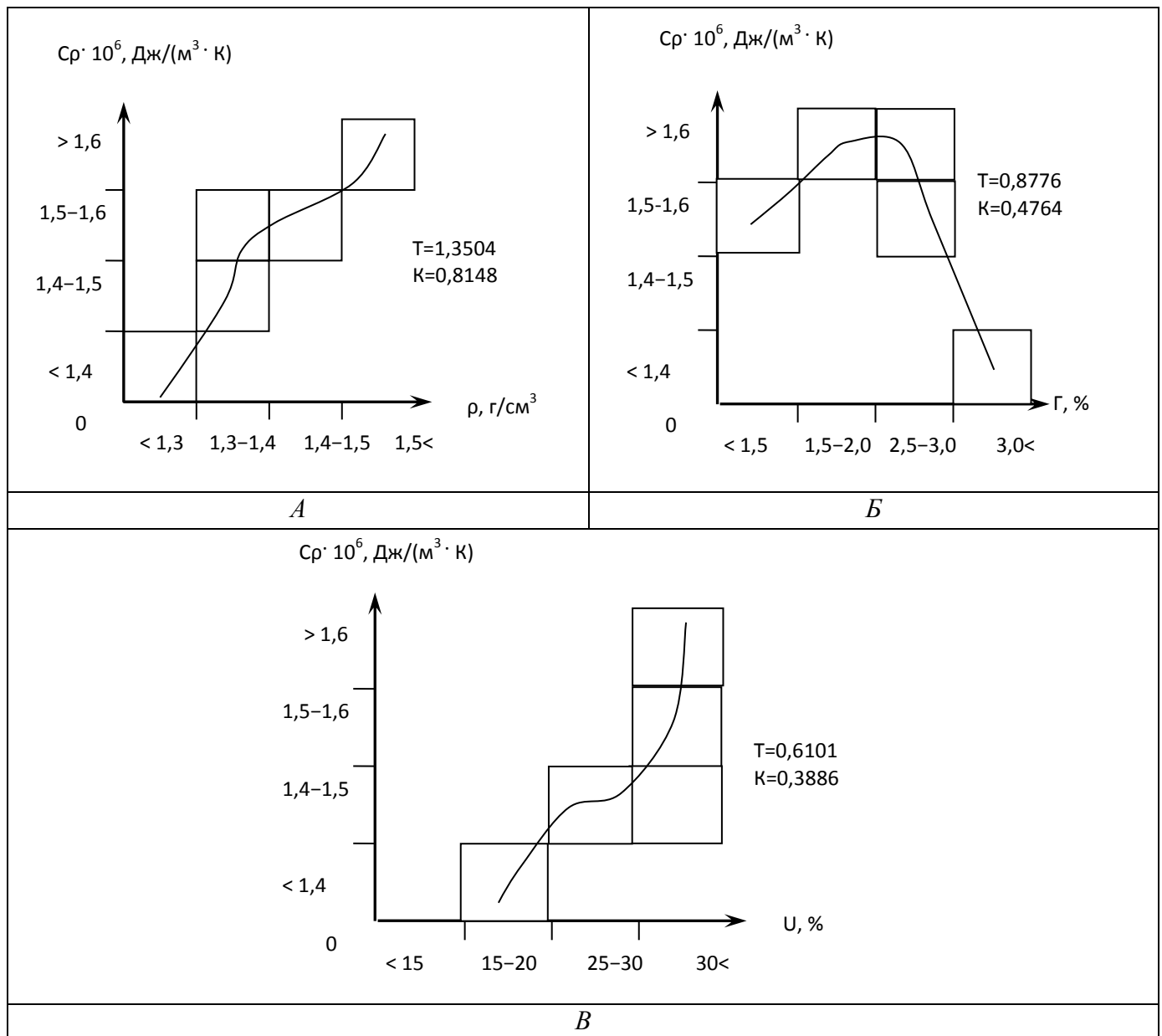


Рис. 28. Зависимость объемной теплоемкости чернозема обыкновенного от почвенно-физических факторов:

A – от плотности; B – от количества гумуса; B – от влажности

Приведенное логическое высказывание позволяет прогнозировать показатели теплоемкости по состоянию параметров изученных факторов с достаточной экспериментальной точностью.

Аналогичным образом были установлены степень и характер связи объемной теплоемкости серой лесной почвы от указанных выше факторов. Результаты информационно-логических вычислений для объемной теплоемкости серой лесной почвы представлены на рисунке 29 и в таблице 10.

В серых лесных почвах влияние приведенных факторов на объемную теплоемкость меняется по сравнению с черноземом обыкновенным.

Влияния состояния факторов на объёмную теплоемкость серой лесной почвы

Факторы	T, бит	K	H(A), бит	Д, %
Плотность	0,6962	0,4910	1,7292	26
Содержание гумуса	1,2512	0,6523	2,982	42
Влажность	0,7500	0,3755	2,7500	27

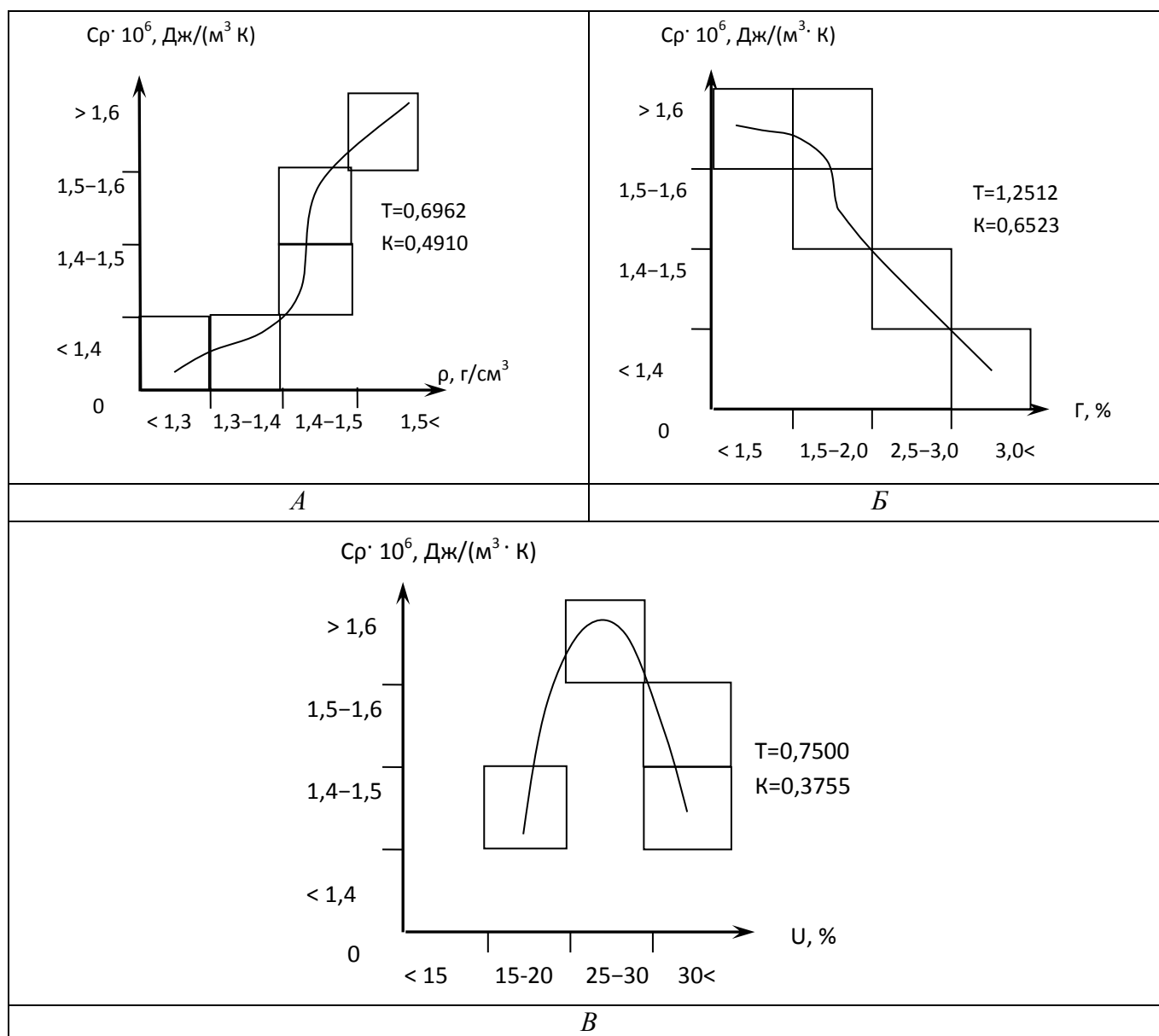


Рис. 29. Зависимость теплоемкости серой лесной почвы от почвенно-физических факторов:

A – от плотности сложения; B – от содержания гумуса; V – от влажности

Здесь наибольшей информативностью обладает фактор, отвечающий за содержания гумуса в почвенном горизонте ($T = 1,2512$ бит). Вследствие этого доля его существенно возрастает.

По величине коэффициента эффективности канала связи с объемной теплоемкостью всех факторы можно расположить в следующем порядке: $СГ > В > П$.

В результате эти данные были обобщены в информационно-логическую модель: $С = СГ \boxtimes [В \boxtimes П]$.

На рисунке 30 показаны в графической форме характер и теснота связи объемной теплоемкости с изучаемыми факторами.

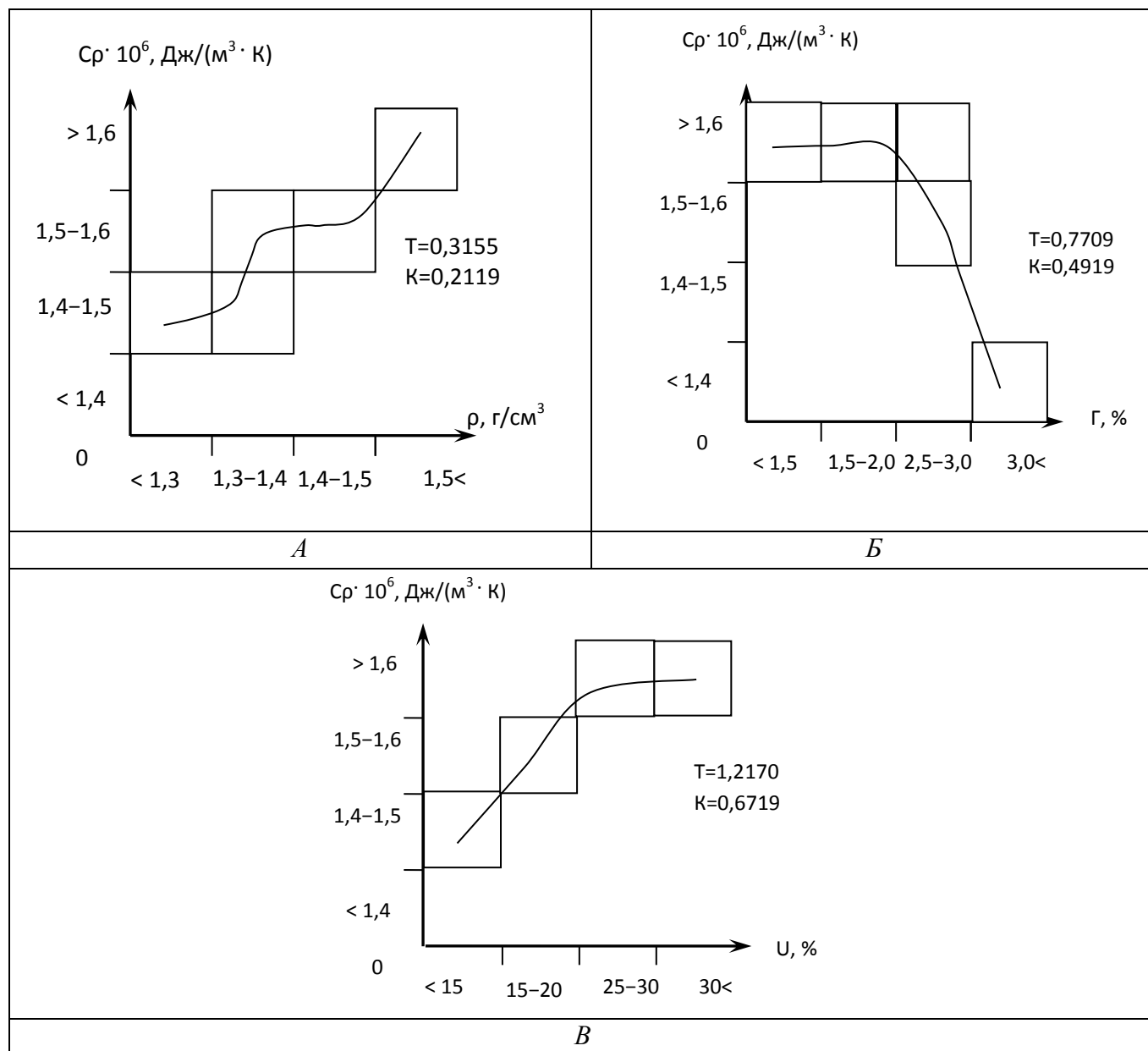


Рис. 30. Зависимость теплоемкости дерново-подзолистой почвы от почвенно-физических факторов:
 А – от плотности; Б – от содержания гумуса; В – от влажности

Величина влияния каждого фактора на формирование показателей теплоемкости дерново-подзолистой почвы показана в таблице 11.

Зависимость объемной теплоемкости дерново-подзолистой почвы от факторов

Факторы	T, бит	K	H(A), бит	Д, %
Плотность	0,3155	0,2119	1,9207	16
Содержание гумуса	0,7709	0,4919	2,7218	28
Влажность	1,2170	0,6719	2,9055	41

Здесь наибольшее влияние среди перечисленных факторов на теплоёмкость дерново-подзолистой почвы оказывает влажность: общая информативность $T = 1,2170$ бит; эффективность каналов связи $K = 0,6719$. Следующим фактором является содержание гумуса, здесь общая информативность составляет $0,7709$ бит, а эффективность каналов связи – $0,4919$.

Информационный анализ позволил выстроить изучаемые факторы влияния на объемную теплоемкость в дерново-подзолистой почве в следующей иерархический ряд: $V > CG > П$.

Анализ логических связей между объёмной теплоемкостью и различными параметрами факторов влияния на неё позволили построить информационно-логическую модель этого явления:

$$C = V \boxtimes [CG \boxtimes П].$$

5.3. Гидрофизические свойства почв

Результирующим показателем совокупности физических свойств почвы является основная гидрофизическая характеристика, которая отражает все внешние воздействия на почвенную среду (Воронин, 1984; Смагин, 2003). Её использование позволяет сравнивать и оценивать гидравлические свойства отдельных почв и их горизонтов, а также характеризовать пространственную неоднородность данного показателя на территории.

Понятие водоудерживающей способности почв используется при характеристике сельскохозяйственных земель, как средства производства и природного ресурса с целью организации рационального их использования и охраны земель (Турусов, 2013).

В современном мелиоративном почвоведении гидрофизические функции широко используют в моделировании влагосолепереноса в почвенно-грунтовой толще.

Определение основной гидрофизической характеристики проводят расчетным методом (Шейн, 2005, 2006; Schaap, 2004; Болотов и др., 2015; Болотов, 2017).

По виду и значениям величин давления влаги в почве основная гидрофизическая характеристика чернозема обыкновенного под березовыми насаждениями и под травянистой залежью имеет некоторые отличия (рис. 31).

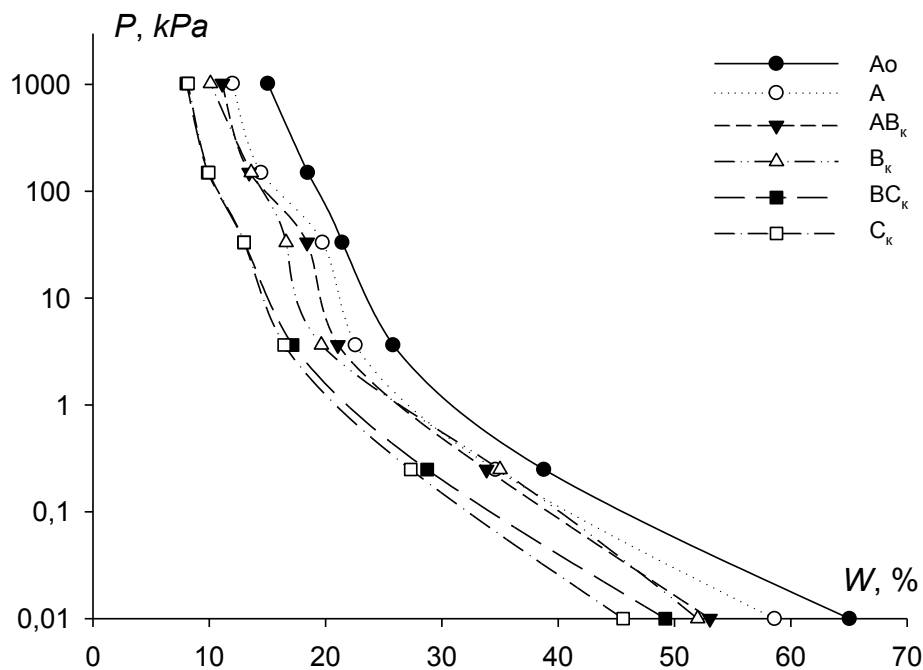


Рис. 31. Основная гидрофизическая характеристика чернозема обыкновенного под березовыми насаждениями

На рисунках 31 и 32 видно, что значения влажности чернозема обыкновенного в диапазоне капиллярно-гравитационной влаги под травянистой залежью имеют более высокие значения (55-70%) и кривые ОГХ смещены правее, чем ОГХ под березовыми насаждениями (45-65%). Однако область перехода капиллярной влаги в пленочно-капиллярную влагу чернозема под березовыми насаждениями смещена вправо и более дифференцирована (15-30%) по профилю, чем данный переход в черноземе под травянистой залежью (18-22%). В области пленочно-рыхлосвязанной влаги чернозема обыкновенного под травой значения влажности почвы практически не дифференцированы по профилю в отличие от чернозема обыкновенного под березовыми насаждениями, где данные величины изменяются от 10 до 20% при давлении почвенной влаги 1000 кПа.

Основная гидрофизическая характеристика серой лесной почвы под дубовыми насаждениями заметно отличается от ОГХ черноземов, особенно верхних почвенных горизонтов (рис. 33). Так, кривые ОГХ гор. A_0 и A_1 отличаются от ОГХ нижележащих горизонтов формой, характерной для влагоемких тонкодисперсных почв. Наибольшие значения водоудерживающей способности серой лесной почвы также характерны для гор. A_0 , благодаря мощной подстилке, сформировавшейся в результате биодеструкции листовенного опада и развитой травяной растительностью. ОГХ гор. A_1 расположена значительно правее и монотонно изменяется во всем рассматриваемом диапазоне давлений влаги при практическом отсутствии перегибов. Это свидетельствует о более высокой водоудерживающей способности данного горизонта в сравнении с другими, что обусловлено гранулометрическим составом и содержанием гумуса.

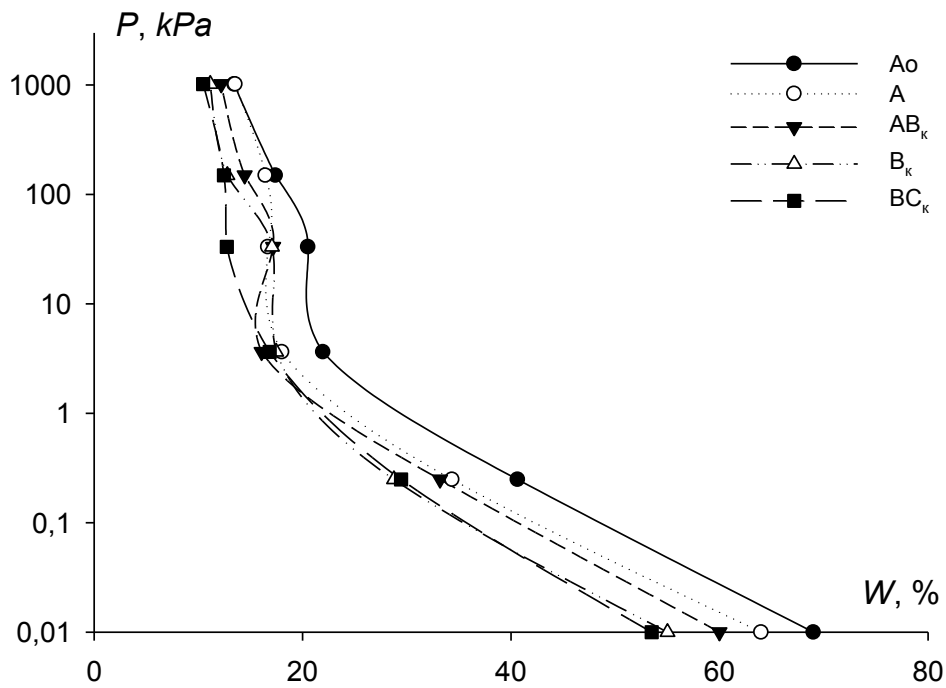


Рис. 32. Основная гидрофизическая характеристика чернозема обыкновенного под травяным покровом

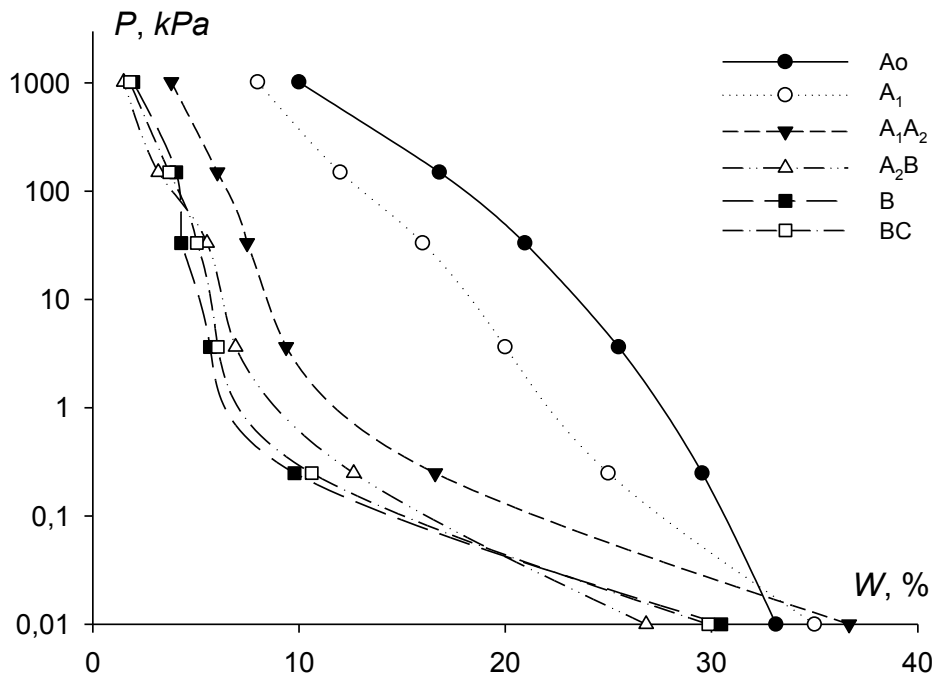


Рис. 33. Основная гидрофизическая характеристика серой лесной почвы под дубовыми насаждениями

Значения влажности серой лесной почвы под дубовыми насаждениями в диапазоне капиллярно-гравитационной влаги (по А.Д. Воронину) дифференцированы по горизонтам и в целом зависят от гранулометрического состава. Область перехода капиллярной влаги в пленочно-капиллярную влагу в горизонтах A_0 и A_1 практиче-

ски не выражена в отличие от иллювиального. По сравнению с черноземами серая лесная почва в области пленочно-рыхлосвязанной влаги резко дифференцирована. Так, значения влажности серой лесной почвы гор. А₂В, В и ВС в этой области составляют менее 5% от массы почвы, тогда как в гумусовых 12-15%.

В целом можно отметить, что закономерность изменения водоудерживающей способности рассмотренных почв подчинена распределению гранулометрических фракций, гумуса и плотности сложения по почвенному профилю.

ГЛАВА VI. ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ ПОЧВЫ ПОД ДРЕВЕСНЫМИ ПОРОДАМИ В УСЛОВИЯХ ДЕНДРАРИЯ

6.1. Влажность, температура и влагозапасы в почвах разного генезиса

Известно, что (см. выше) тепло как экологический фактор имеет важнейшее значение в жизни леса. При этом главную роль играет климат приземного слоя атмосферы и почвы (Гейгер, 1960). Для воспроизводства древесных насаждений оптимальным будет режим, который обеспечивает нужным теплом все биологические процессы (Мелехов, 1999; Абаимов, 2009). В различные фазы развития растения требуют различное количество тепла. Среднетребователен к теплу черешчатый дуб, а малотребовательны – ель и береза.

От воды как главного экологического фактора зависит само существование древесных пород. В лесостепной зоне Алтайского края произрастание древесных насаждений возможно при минимуме осадков, равном 400 мм. Очень важно время выпадения осадков в течение вегетационного периода. Осадки обеспечивают растения не только влагой, но и пищевыми компонентами из атмосферы: минеральными веществами, солями азотной кислоты, аммиаком и т.д. Влажность воздуха воздействует на все физиологические процессы, а при уменьшении относительной влажности воздуха до 45-40% возможны лесные пожары.

Ранее на территории Алтайского края изучение режимов тепла и влаги под различными древесными культурами в условиях дендрария не проводились. Отличительной чертой дендрария является то, что температурный режим воздуха в течение года в нем менее контрастный, чем на открытом пространстве, что характерным образом сказывается и на режиме тепла и влаги в почвах. В связи с этим нами были проведены экспериментальные исследования в 2014-2017 гг. в дендрарии НИИСС им. М.А. Лисавенко.

С глубиной различия в температурах на разных фонах снижаются. В тепловом состоянии лесных почв отсутствуют резкие перепады температур в течение суток. В зимнее время почва под лесным покровом промерзает позднее и на меньшую глубину (Макарычев, 2000, 2002; Макарычев, Лебедева, 2013).

Известно, что гидротермический режим в почвах зависит от комплекса внешних и внутренних факторов: осадков, солнечной инсоляции, влагоемкости и влагопроводности, коэффициентов теплоаккумуляции и теплообмена и других физиче-

ских свойств. Свое влияние оказывают также крона и корневая система древесных пород. Корни разрыхляют почву, увеличивая ее пористость и уменьшая плотность, структурируют ее.

В этой связи мы изучали гидротермические режимы, которые формировались в профилях серой лесной почвы в дубраве (дуб черешчатый), дерново-подзолистой почвы под ельником (ель Энгельмана), а также чернозема обыкновенного в березовой роще (береза тополелистная).

В таблице 12 приведены результаты полевых и лабораторных исследований влажности гумусового горизонта и почвообразующей породы за вегетационный период.

Таблица 12

Влажность (% от массы почвы) гумусово-аккумулятивного горизонта (числитель) и почвообразующей породы (знаменатель) под древесными насаждениями (лето 2014 г.)

30.05	10.06	24.06	08.07	22.07	05.08	19.08	02.09
Серая лесная почва. Дубовые насаждения							
<u>24,4</u> 9,2	<u>25,1</u> 8,1	<u>10,4</u> 7,4	<u>7,9</u> 5,9	<u>8,3</u> 3,3	<u>7,6</u> 2,8	<u>8,0</u> 2,0	<u>12,1</u> 1,2
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения							
<u>28,4</u> 17,3	<u>29,7</u> 18,4	<u>19,3</u> 14,0	<u>18,3</u> 16,4	<u>18,2</u> 13,9	<u>16,7</u> 13,2	<u>20,7</u> 13,4	<u>22,6</u> 14,0
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения							
<u>23,7</u> 12,3	<u>23,2</u> 11,2	<u>15,5</u> 9,0	<u>11,3</u> 9,5	<u>17,2</u> 8,1	<u>13,0</u> 7,9	<u>15,6</u> 9,4	<u>22,9</u> 9,6
Чернозем обыкновенный. Травяной покров (поляна)							
Не опр.	<u>29,0</u> 18,1	<u>14,6</u> 15,6	<u>12,4</u> 16,6	<u>11,4</u> 15,6	<u>11,1</u> 14,0	<u>25,1</u> 14,4	<u>27,3</u> 17,1

Примечание. Приборная погрешность 0,05 г/г.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что увлажненность серой лесной почвы в гумусовом горизонте оптимальна только в весенне-летний период (25% или 60% НВ), а в остальное время года она снижается в два раза и более.

Максимум влагосодержания в верхней части профиля был зафиксирован в черноземе обыкновенном в березняке (в мае 28,4% от массы почвы). Летом влажность гумусового слоя снизилась до 17-20%. Минимальное увлажнение наблюдалось в начале августа, затем после выпавших осадков оно увеличилось до 71% НВ.

Варьирование содержания влаги в гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы происходило от максимального (23-24%) в начале и в конце лета и до минимального (11%) в июле месяце. Однако при этом уровень увлажнения почвы был выше наименьшей влагоемкости, то есть переувлажненность отмечалась в течение

всего лета. Такое состояние почвы было обусловлено супесчаным гранулометрическим составом гумусового горизонта и плотным затенением поверхности почвы кронами елей, что препятствовало физическому испарению.

В почвообразующей породе минимум влагосодержания наблюдался в дубовых насаждениях. В наблюдаемый период здесь отмечалось стабильное снижение влажности с 9,2 до 1,2% от массы почвы и во второй половине лета иссушалась ниже пределов влажности завядания.

Профиль чернозема обыкновенного в березовой роще за весь период наблюдения имел хорошее увлажнение. В дерново-подзолистой почве также наблюдался вполне комфортный режим влажности. Подстилаящая порода в черноземе обыкновенном на поляне оказалась увлажненной летом в пределах 14-18%, что было выше влажности гумусового горизонта.

В таблице 13 показана температура гумусово-аккумулятивного горизонта и почвообразующей породы летом 2014 г.

Таблица 13

Температура гумусово-аккумулятивного горизонта (числитель)
и почвообразующей породы (знаменатель) под древесным покровом (2014 г.)

30.05	10.06	24.06	08.07	22.07	05.08	19.08	02.09
Серая лесная почва. Дубовые насаждения							
<u>9,5</u>	<u>11,6</u>	<u>20,1</u>	<u>20,5</u>	<u>29,2</u>	<u>22,6</u>	<u>21,3</u>	<u>9,8</u>
8,3	8,6	12,2	13,8	15,7	15,4	15,2	14,5
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения							
<u>11,3</u>	<u>12,4</u>	<u>16,9</u>	<u>21,3</u>	<u>21,9</u>	<u>21,1</u>	<u>19,6</u>	<u>14,8</u>
8,4	8,5	9,9	13,8	14,8	15,0	15,4	14,2
Дерново-подзолистая почва. Ельник							
<u>7,5</u>	<u>10,6</u>	<u>17,3</u>	<u>17,8</u>	<u>19,6</u>	<u>19,3</u>	<u>18,6</u>	<u>13,4</u>
5,9	8,0	9,9	12,1	12,8	13,0	14,6	11,9
Чернозем обыкновенный. Травяной покров (поляна)							
-	<u>15,3</u>	<u>26,4</u>	<u>27,0</u>	<u>25,6</u>	<u>23,4</u>	<u>21,0</u>	<u>14,5</u>
	9,6	14,6	15,6	15,8	16,1	16,2	13,0

Примечание. Приборная погрешность 0,05°C.

Данные, представленные в этой таблице, показывают, что верхний слой чернозема на поляне, где солнечная инсоляция была максимальной, прогрелся наиболее сильно. Здесь самая высокая температура отмечена в июне-июле, оказалась выше 270°C. Следует отметить, что и в дубраве температура гумусового горизонта серой лесной почвы была довольно высокой (22 июля 29,2°C).

Итоговым показателем формирования режима тепла и влаги в профилях дают общие запасы влаги (ОЗВ), продуктивные запасы влаги (ПЗВ) и сумма температур в метровой толще почвенного слоя (рис. 34, 35).

Рисунок 34 показывает, что наибольшие общие и продуктивные запасы влаги в почве отмечаются в начале периода вегетации, хотя в этом имеются свои особенности. Под дубами в серой лесной почве на весенний период общей влаги содержалось 177 мм, продуктивной – 101 мм, что считается недостаточным. Под березами и ельником ОВЗ ПЗВ были выше и составляли 282 и 248; 233-200 мм соответственно. В течение летнего и осеннего периодов их показатели закономерно снижались.

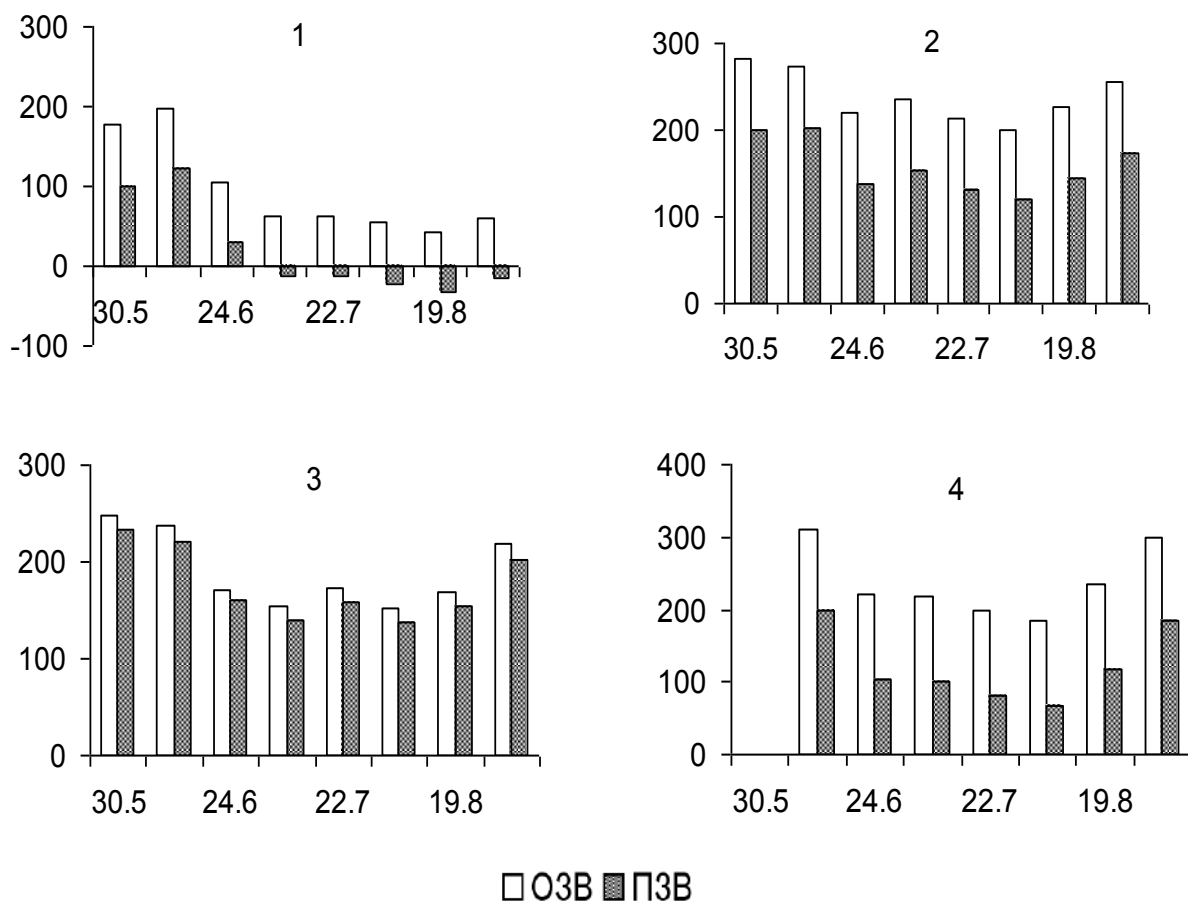


Рис. 34. Общие (ОВЗ) и продуктивные (ПЗВ) запасы влаги под лесными породами в метровом слое почвы, мм (2014 г.):
1 – дуб; 2 – береза; 3 – ель; 4 – поляна

Увлажненность черноземов под березовым пологом и в дерново-подзолистой почве под елями в течение всего летнего периода была выше. Однако в черноземе под травяным покровом во второй половине вегетационного периода отмечалось снижение запасов влаги. В серой лесной почве уменьшение запасов влаги отмечалось уже в середине августа, минимум ОВЗ составил 42,8 мм. При этом ПЗВ на уровне дефицита оказались в конце июня и увеличивались до самой осени. Это обуславливает необходимость использования орошения при выращивании культур.

На рисунке 35 показаны суммы температур в метровом слое в 13 ч дня. Эти данные указывают на то, что наиболее сильно нагревался профиль чернозема на поляне под травяным покровом в результате воздействия прямого солнечного излуче-

ния. Максимум суммы температур здесь оказался равен 224,4°C. В серой лесной почве под дубами 22 июля он составил 216,1°C, под березами – 201,6, а в ельнике – только 175,2°C.

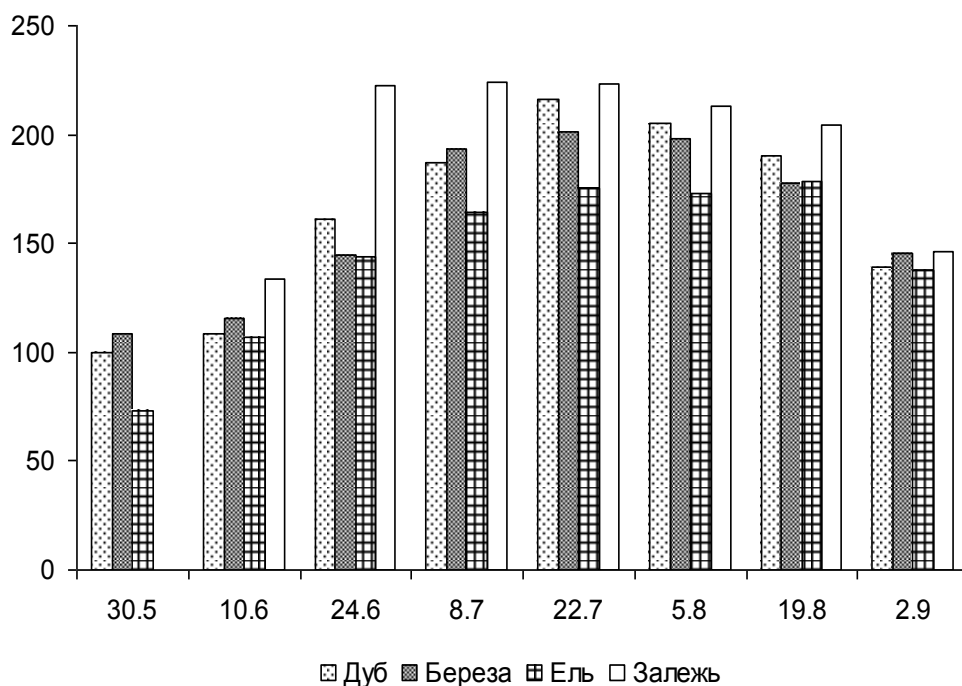


Рис. 35. Сумма температур в метровом слое почвы, °С (2014 г.)

Нами были изучены также режимы тепла и влаги, формирующиеся в почвенном профиле под разными древесными насаждениями летом 2015 г.

Данные таблицы 14 свидетельствуют о том, что существенных различий по влажности в гумусовых горизонтах почв в 2015 г. не наблюдалось. Они колебались от 42,2 мм в дерново-подзолистой почве до 55,7 мм в черноземе. Ниже по профилю почв в горизонтах АВ и В происходило резкое снижение влагозапасов – до 20,3 и 37,2 мм. Общие запасы влаги в слое 1 м составляли 102,2 мм. Соразмерно изменялось и содержание продуктивной влаги. На глубине 53-97 см в нижних горизонтах отмечался их дефицит в размере 5,4 мм. В метровом слое почвы продуктивный запас влаги составил незначительную величину – 28,8 мм.

Под ельником общие и продуктивные запасы влаги в метровом слое почвы составляют 119,0 и 58,8 мм. В то же время в березовой роще они увеличиваются с глубиной, достигая 188,2 и 101,1 мм соответственно. Максимум ОЗВ наблюдается в почве травянистой залежи (204,6 мм).

Общие влагозапасы в гумусовом горизонте почвы под дубовыми насаждениями с августа до октября почти не меняются, оставаясь в диапазоне 50 мм за счет дождевой влаги. В то же время содержание ПЗВ даже увеличивается. Но в более глубоких горизонтах АВ и В дефицит влаги растет и к октябрю достигает 24,3 мм. Под влиянием транспирации в целом по профилю к осени величина продуктивной влаги уменьшается до 4,4 мм. Такая низкая степень влагосодержания в почве нуждается в вегетационных поливах.

Таблица 14

Общие (ОЗВ, числитель) и продуктивные (ПЗВ, знаменатель) запасы влаги под древесными покровом (лето 2015 г.)

Горизонт	Глубина, см	Срок наблюдений		
		10.07.15	03.08.15	26.10.15
Серая лесная почва. Дубовые насаждения				
A ₁ +A ₁ A ₂	0-35	<u>44,7</u> 17,6	<u>48,4</u> 26,8	<u>49,6</u> 30,3
A ₂ B	35-53	<u>20,3</u> 16,6	<u>21,2</u> 6,4	<u>15,8</u> -1,6
B	>53	<u>37,2</u> -5,4	<u>24,7</u> -19,7	<u>21,4</u> -24,3
Итого	0-100	<u>102,2</u> 28,8	<u>94,3</u> 13,5	<u>86,8</u> 4,4
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения				
A ₁ +A ₁ A ₂ +A ₂	0-44	<u>42,2</u> 18,0	<u>39,5</u> 17,7	<u>54,1</u> 32,3
B	44-87	<u>30,6</u> 21,2	<u>38,4</u> 19,0	<u>29,3</u> 8,8
C	>87	<u>46,2</u> 19,6	<u>52,3</u> 31,2	<u>51,2</u> 23,1
Итого	0-100	<u>119,0</u> 58,8	<u>130,2</u> 67,9	<u>134,6</u> 64,2
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения				
A	0-29	<u>55,7</u> 24,2	<u>58,3</u> 35,4	<u>84,1</u> 62,0
ABк	29-56	<u>56,3</u> 33,4	<u>69,5</u> 45,0	<u>52,2</u> 25,7
Bк	>56	<u>76,2</u> 43,3	<u>84,8</u> 50,8	<u>65,4</u> 31,4
Всего	0-100	<u>188,2</u> 101,1	<u>212,6</u> 131,2	<u>201,7</u> 119,1
Чернозем обыкновенный. Травяной покров				
A	0-34	<u>54,6</u> 30,7	<u>55,4</u> 21,5	<u>52,4</u> 18,5
ABк	34-62	<u>65,1</u> 25,0	<u>66,0</u> 26,1	<u>66,2</u> 24,2
Bк	62-108	<u>84,9</u> 44,6	<u>85,9</u> 45,0	<u>83,0</u> 44,1
Всего	0-100	<u>204,6</u> 100,3	<u>207,3</u> 92,6	<u>201,6</u> 86,8

Примечание. E(m) = 4,6%.

В дерново-подзолистой почве под ельником общие и продуктивные запасы воды в метровом слое практически не изменяются и составляют в начале октября 134,6 и 64,2 мм. Оптимальный водный режим в почвенном профиле чернозема наблюдается в березовой роще. Продуктивные запасы влаги в нем к середине лета составляют 100,9 мм, а в сентябре увеличиваются до 119,1 мм.

Измерения, проведенные летом 2017 г. (табл. 15), показали, что характер распределения влаги в почвенных профилях разного генезиса соответствует данным, полученным для предыдущих лет.

Таблица 15

Общие (числитель) и продуктивные (знаменатель) запасы влаги в почвах
(лето 2017 г.)

Горизонт	Глубина, см	24.06.17	19.08.17
1	2	3	4
Серая лесная почва. Дубовые насаждения			
A ₁	2-26	<u>55,9</u> 31,0	<u>63,9</u> 39,0
A ₁ A ₂	26-35	<u>5,0</u> -1,1	<u>7,7</u> 1,6
A ₂ B	35-53	<u>5,2</u> -2,4	<u>8,8</u> 1,2
B	55-97	<u>22,3</u> -9,1	<u>42,0</u> 10,7
Итого	0-100	<u>63,9</u> 18,4	<u>106,4</u> 52,5
Черноземы обыкновенные. Березовые насаждения			
A	3-29	<u>54,5</u> 24,0	<u>101,8</u> 71,2
ABк	29-56	<u>47,7</u> 25,1	<u>80,3</u> 57,7
Bк	56-112	<u>77,0</u> 42,8	<u>97,3</u> 63,1
Итого	0-100	<u>179,2</u> 91,2	<u>279,4</u> 192,0
Дерново-подзолистые почвы. Еловые насаждения			
A ₁	2-10	<u>47,5</u> 42,4	<u>70,0</u> 64,9
A ₁ A ₂	10-25	<u>31,7</u> 28,4	<u>46,9</u> 43,6
A ₂	25-44	<u>23,7</u> 21,1	<u>42,3</u> 39,7

1	2	3	4
В	44-87	42,8	<u>49,4</u>
		38,8	45,4
С	>87	<u>23,9</u>	<u>42,7</u>
		21,8	40,6
Итого	0-100	<u>169,6</u>	<u>251,3</u>
		152,5	234,2
Черноземы обыкновенные. Травяной покров			
А	3-34	<u>84,2</u>	<u>161,8</u>
		24,4	102,0
АВк	34-62	<u>39,5</u>	<u>60,3</u>
		13,2	34,0
Вк	62-108	<u>82,8</u>	<u>109,6</u>
		42,5	69,3
Итого	0-100	<u>206,5</u>	<u>330,9</u>
		80,1	205,3

Примечание. $E(m) = 4,8\%$.

В переходных горизонтах A_1A_2 , A_2B и в иллювиальном В серой лесной почвы под дубовыми насаждениями фиксируется острый дефицит продуктивной влаги, особенно в начале вегетации. Только в гумусово-аккумулятивном горизонте отмечено ее достаточное количество.

Наибольшее увлажнение, как и в предыдущие годы, отмечено в черноземах обыкновенных в березовой роще, где общие запасы влаги в августе составили 279,4 мм, а продуктивные – 192,0 мм. Высокие значения почвенной влаги имеют место и в дерново-подзолистой почве под ельником. А максимум общих влагозапасов в конце лета отмечен под травянистой залежью (на поляне), в черноземе обыкновенном (330,9 мм).

В таблице 16 представлены температурные данные под древесными ценозами. Они указывают на то, что, сумма температур, как в гумусовом горизонте почвы, так и в целом по профилю в дубраве и ельнике почти неизменна с середины лета до октября. Такое же соответствие имеет место и для суммы температур в слое 0-100 см. Так, наиболее прогретым за вегетацию оказался профиль чернозема обыкновенного на поляне (соответственно, 164,0°C 24 июня и 116,7°C 19 августа). Под березами сумма температур составила, соответственно, 134,9 и 108,5°C, в дубраве – 121,2 и 105,5°C, тогда как в ельнике – только 112,8 и 105,5°C.

Сумма температур в слое 0-20 (числитель) и 0-100 см (знаменатель)
под древесными породами (2015 г.)

10.07.15	03.08.15	26.10.15
Серая лесная почва. Дубовые насаждения		
<u>98,5</u> 129,2	<u>98,5</u> 126,3	<u>10,1</u> 21,9
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения		
<u>78,4</u> 102,6	<u>84,6</u> 111,3	<u>9,2</u> 18,7
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения		
<u>128,0</u> 163,2	<u>124,4</u> 159,5	<u>19,4</u> 34,8
Чернозем обыкновенный. Травяной покров		
<u>138,2</u> 173,0	<u>134,6</u> 166,9	<u>18,1</u> 32,9

Примечание. E = 0,05°C.

Отметим, что почва в березовой роще нагревается сильнее. Сумма температур в слое 0-20 см здесь в июле составляет 128,0°C, а в августе – 124,4°C, тогда как на других в это же время не достигает и 100°C. Открытая солнцу почва на поляне также имеет большую сумму температур как в верхнем горизонте, так и во всей почвенной толще: в июле она оказывается равной 138 и 173°C соответственно. Осенью температура почвы закономерно уменьшается при сохранении различий по вариантам.

6.2. Сезонная динамика влажности и теплофизических свойств в почвах разного генезиса

Известно, что теплофизическое состояние почвы имеет большое значение в жизни древесных насаждений, составляющих состав дендрария (Гейгер, 1960; Шульгин, 1967). Вместе с тем на формирование теплового режима в почве оказывают сильное влияние теплофизические коэффициенты (ТФК) его генетических горизонтов (Мазиров, 2002). Во взаимосвязи с почвенным увлажнением теплоемкость, тепло- и температуропроводность определяют интенсивность процессов передачи и накопления тепла.

Одним из направлений наших исследований являлось изучение закономерностей сезонных изменений теплофизических свойств. С этой целью мы провели ряд комплексных исследований в полевых условиях. В итоге было выявлено, что динамичность теплофизических характеристик почв в течение вегетационного периода зависит в основном от особенностей их увлажнения. Нужно учитывать также воздействие строения и структуры генетических горизонтов почвенных разностей.

Влажность почвы – главное условие, обеспечивающее оптимальное развитие и воспроизводство растений. Почвенная влага в совокупности с теплофизическими свойствами оказываются решающим фактором в формировании режима тепла и влаги в почвах разного генезиса.

Проведенные исследования показали, что сезонная динамика почвенного увлажнения в высшей степени определяет значения тепловых характеристик генетических горизонтов почв. При этом имеет место влияние той или иной древесной породы на формирование теплофизического состояния почвенного профиля.

В серой лесной почве под дубовой рощей влажность верхнего гумусированного горизонта в первой половине лета (май-июнь) была выше ВРК, достигая 25% от массы почвы. Затем в июне она понизилась до 10,4% и до осени была стабильно низкой. В почвообразующей породе уже в мае влажность была равна 9,2%, а затем постепенно снижалась до 1,2% в сентябре. Таким образом, с начала июля здесь отмечался дефицит влаги.

В дерново-подзолистом профиле почвы в ельнике начало вегетационного периода предопределило достаточно высокое содержание влаги (около 23% от массы). К 8 июля оно понизилось до 11,3%, но к концу сентября постепенно повышалось. Подстилаящая порода в течение всего теплого периода была увлажнена в пределах от 11 до 8%, что значительно превышало НВ, т.е. испытывала переувлажнение.

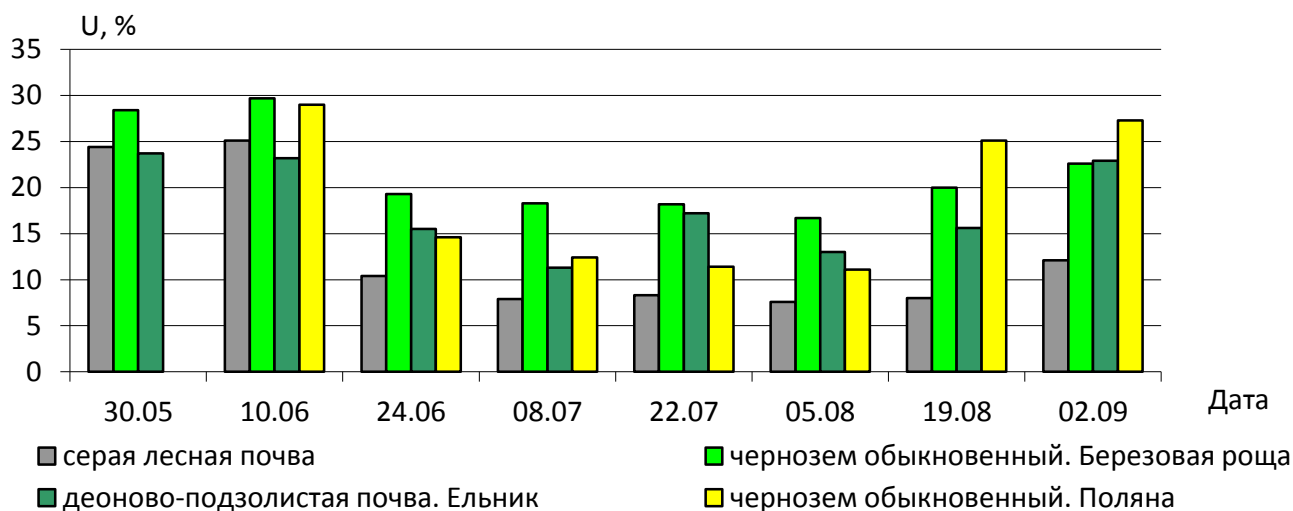


Рис. 36. Влажность гумусового слоя летом 2014 г.

В профиле черноземов обыкновенных под березовыми насаждениями и под травянистым покровом влажность как гумусовых горизонтов, так и почвообразующей породы обеспечивала потребности растений в воде, превышая влажность завядания. Следует отметить, что абсолютные значения влажности в профиле почв разного генезиса формируются совершенно произвольно, но при этом испытывают влияние произрастающих древесных пород. В соответствии со степенью почвенного увлажнения менялись и теплофизические коэффициенты исследованных почв (табл. 17).

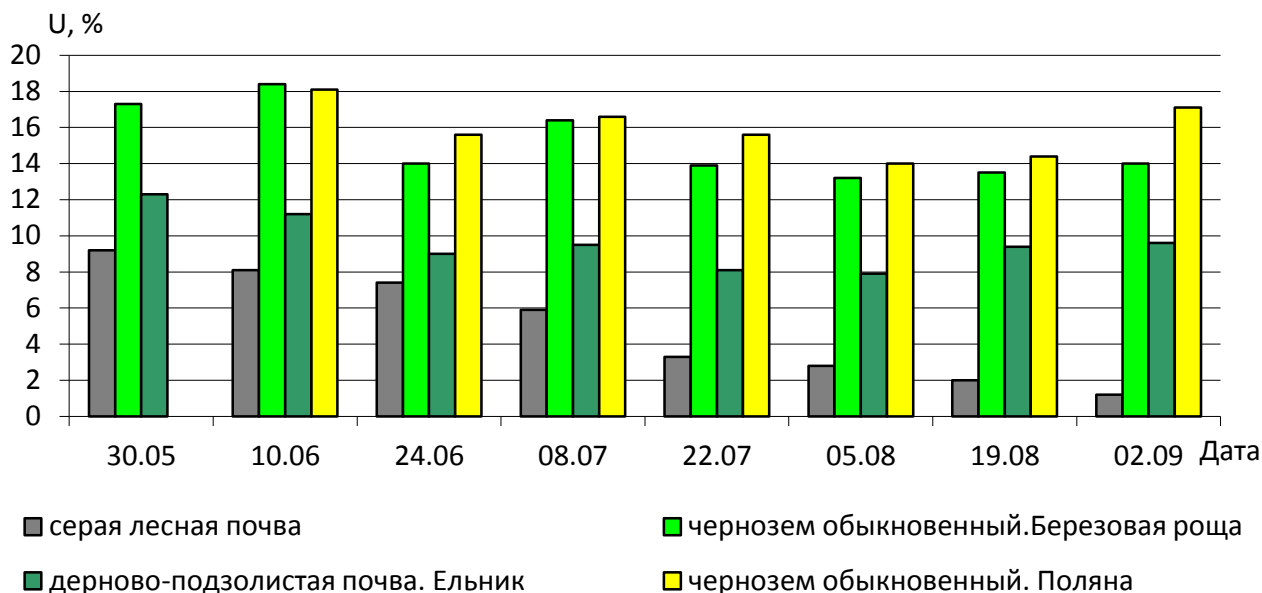


Рис. 37. Влажность почвообразующей породы летом 2014 г.

Таблица 17

Объемная теплоемкость (C_p , 10^6 Дж/(m^3 К)), теплопроводность (λ , Вт/(м К)) почвы. Числитель – гумусово-аккумулятивный горизонт, знаменатель – почвообразующая порода. 2014 г.

ТФК	Сроки наблюдений							
	30.05	10.06	24.06	08.07	22.07	05.08	19.08	02.09
Серая лесная почва. Дубовые насаждения								
C_p	<u>2,985</u>	<u>3,025</u>	<u>2,185</u>	<u>2,042</u>	<u>2,048</u>	<u>2,065</u>	<u>2,025</u>	<u>2,282</u>
	2,559	2,482	2,435	2,331	2,152	2,118	2,063	2,008
λ	<u>1,278</u>	<u>1,290</u>	<u>1,043</u>	<u>0,993</u>	<u>1,003</u>	<u>0,968</u>	<u>0,993</u>	<u>1,074</u>
	1,159	1,145	1,125	1,081	1,000	0,982	0,954	0,924
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения								
C_p	<u>2,774</u>	<u>2,827</u>	<u>2,299</u>	<u>2,248</u>	<u>2,231</u>	<u>2,174</u>	<u>2,370</u>	<u>2,467</u>
	2,840	2,908	2,638	2,786	2,630	2,589	2,594	2,638
λ	<u>1,209</u>	<u>1,224</u>	<u>1,099</u>	<u>1,086</u>	<u>1,078</u>	<u>1,064</u>	<u>1,117</u>	<u>1,140</u>
	1,239	1,260	1,172	1,220	1,213	1,196	1,207	1,217
Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения								
C_p	<u>2,983</u>	<u>2,974</u>	<u>2,507</u>	<u>2,264</u>	<u>2,606</u>	<u>2,362</u>	<u>2,510</u>	<u>2,936</u>
	2,628	2,555	2,409	2,438	2,350	2,336	2,413	2,457
λ	<u>1,285</u>	<u>1,264</u>	<u>1,145</u>	<u>1,070</u>	<u>1,177</u>	<u>1,102</u>	<u>1,147</u>	<u>1,264</u>
	1,217	1,190	1,134	1,147	1,110	1,097	1,136	1,158
Чернозем обыкновенный. Травяной покров (поляна)								
C_p	-	<u>2,756</u>	<u>2,019</u>	<u>1,906</u>	<u>1,855</u>	<u>1,833</u>	<u>2,557</u>	<u>2,570</u>
		2,948	2,791	2,854	2,791	2,691	2,708	2,885
λ	-	<u>1,223</u>	<u>1,041</u>	<u>1,009</u>	<u>0,995</u>	<u>0,986</u>	<u>1,177</u>	<u>1,204</u>
		1,259	1,227	1,247	1,227	1,193	1,206	1,257

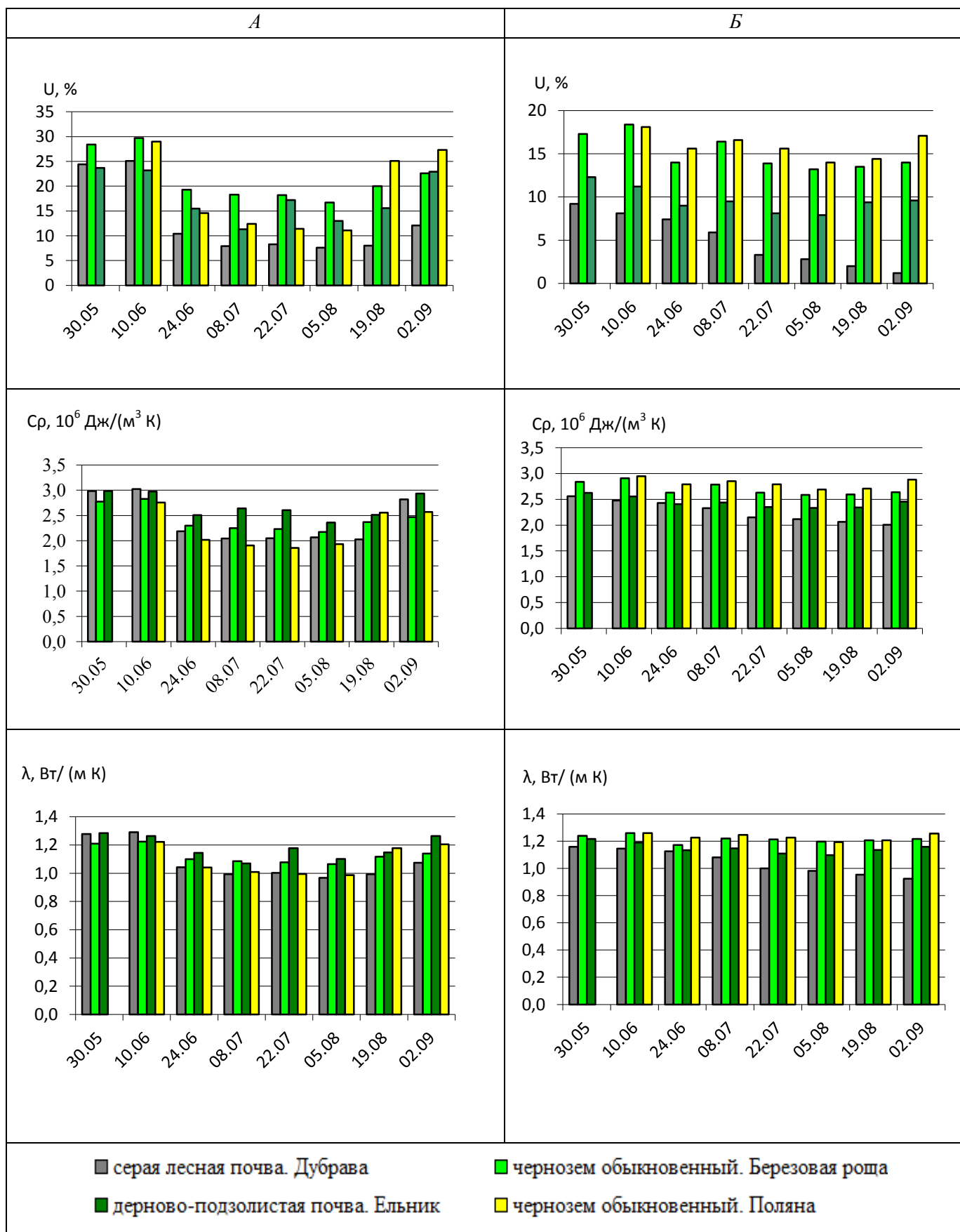


Рис. 38. Влажность, объемная теплоемкость и теплопроводность в 2014 г.:
 А – гумусово-аккумулятивный горизонт, Б – почвообразующая порода

Данные таблицы 17 указывают на то, что объемная теплоемкость гумусово-аккумулятивного горизонта серой лесной почвы была максимальной в первой декаде июня и составляла $3,025 \cdot 10^6$ Дж/(м³ К). В течение вегетации она постепенно снижалась, при этом колебания ее значений находились в пределах 30-35%. В почвообразующей породе с мая по сентябрь вследствие пониженного увлажнения теплоемкость также закономерно уменьшалась, хотя ее абсолютные значения в отдельные периоды были больше, чем в гумусовом слое. Аналогичная динамика характерна и для теплопроводности профиля серой лесной почвы.

Теплоемкость и теплопроводность в течение теплого периода года также испытывают заметные изменения. Характерно, что они всегда соответствуют динамике почвенного увлажнения. Их максимум отмечается в начале июня и в сентябре. В середине лета вследствие иссушения теплоемкость, как и теплопроводность, оказывается пониженной. Такая же закономерность имеет место и в подстиляющей породе.

В черноземах как под березами, так и под травяным покровом наблюдаются изменения коэффициентов теплоаккумуляции и теплопередачи вслед за изменением увлажненности. Отличительной чертой является их меньшая подверженность варьированию, чем в остальных почвах.

Наблюдения, проведенные в 2016 г. показывают аналогичные результаты (табл. 18, 19). Динамика теплофизических коэффициентов всегда соответствует изменениям влажности как в гумусово-аккумулятивном горизонте, так и в почвообразующей породе почв разного генезиса. Вариация значений теплоемкости и теплопроводности определяется также различиями в плотности сложения соответствующих почвенных горизонтов.

Таблица 18

Влажность (% от массы) гумусового горизонта (числитель)
и почвообразующей породы (знаменатель) летом 2016 г.

Сроки наблюдений							
14.05	28.05	11.06	25.06	23.07	20.08	03.09	24.09
Серая лесная почва. Дубовые насаждения							
<u>16,1</u> 9,8	<u>17,1</u> 10,1	<u>10,6</u> 9,9	<u>17,9</u> 3,8	<u>17,1</u> 2,1	<u>7,4</u> 3,2	<u>7,9</u> 2,9	<u>5,1</u> 1,6
Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения							
<u>31,3</u> 16,9	<u>22,7</u> 14,5	<u>17,1</u> 12,4	<u>26,9</u> 15,7	<u>23,0</u> 17,0	<u>18,0</u> 13,3	<u>17,3</u> 14,9	<u>15,3</u> 11,5
Дерново-подзолистые почвы. Еловые насаждения							
<u>25,0</u> 11,6	<u>14,3</u> 8,0	<u>10,4</u> 5,7	<u>25,9</u> 5,6	<u>27,9</u> 8,9	<u>14,5</u> 8,5	<u>17,5</u> 7,0	<u>10,2</u> 6,1
Чернозем обыкновенный. Травяной покров (поляна)							
<u>27,0</u> 22,0	<u>14,7</u> 18,8	<u>15,3</u> 14,3	<u>23,9</u> 16,0	<u>36,2</u> 17,6	<u>24,3</u> 18,9	<u>26,2</u> 20,0	<u>25,2</u> 17,6

Примечание. E = 4,3%.

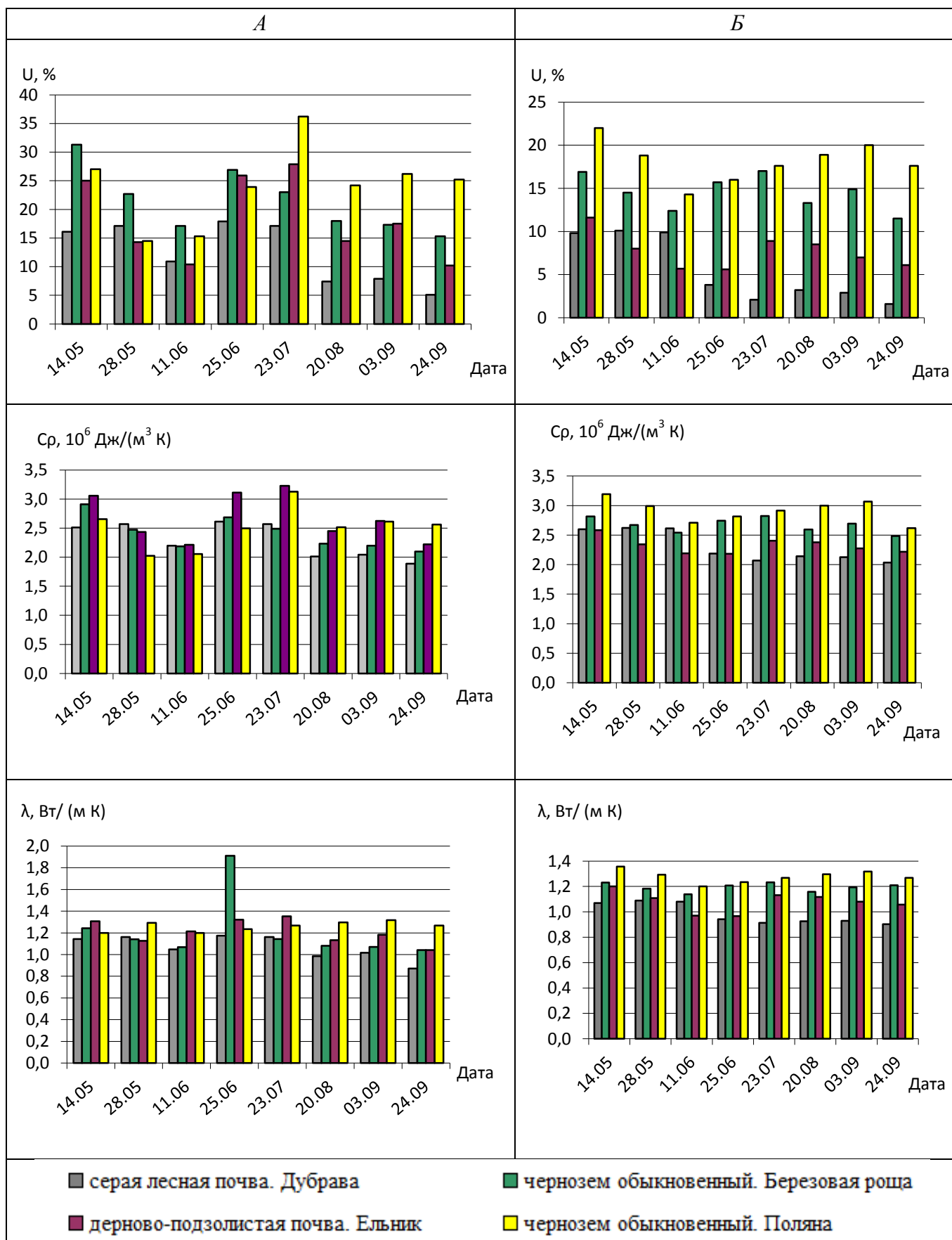


Рис. 39. Влажность, объемная теплоемкость и теплопроводность в 2016 г.:
 А – гумусово-аккумулятивный горизонт; Б – почвообразующая порода

Объемная теплоемкость (C_p , 10^6 Дж/(m^3 К)) и теплопроводность (λ , Вт/(м К) почвы (числитель – гумусовый слой, знаменатель – почвообразующая порода) летом 2016 г.

ТФК	Сроки наблюдений							
	14.05	28.05	11.06	25.06	23.07	20.08	03.09	24.09
	Серая лесная почва. Дубовые насаждения							
C_p	<u>2,511</u>	<u>2,568</u>	<u>2,196</u>	<u>2,613</u>	<u>2,568</u>	<u>2,014</u>	<u>2,042</u>	<u>1,882</u>
	2,600	2,621	2,612	2,187	2,070	2,142	2,124	2,035
λ	<u>1,144</u>	<u>1,161</u>	<u>1,047</u>	<u>1,175</u>	<u>1,161</u>	<u>0,985</u>	<u>1,016</u>	<u>0,871</u>
	1,070	1,089	1,080	0,942	0,913	0,926	0,930	0,903
	Чернозем обыкновенный. Березовые насаждения							
C_p	<u>2,909</u>	<u>2,472</u>	<u>2,187</u>	<u>2,685</u>	<u>2,487</u>	<u>2,233</u>	<u>2,197</u>	<u>2,096</u>
	2,816	2,669	2,540	2,743	2,822	2,596	2,694	2,485
λ	<u>1,242</u>	<u>1,141</u>	<u>1,069</u>	<u>1,191</u>	<u>1,144</u>	<u>1,081</u>	<u>1,070</u>	<u>1,042</u>
	1,230	1,183	1,139	1,207	1,232	1,158	1,193	1,121
	Дерново-подзолистая почва. Еловые насаждения							
C_p	<u>3,058</u>	<u>2,434</u>	<u>2,212</u>	<u>3,110</u>	<u>3,226</u>	<u>2,449</u>	<u>2,623</u>	<u>2,220</u>
	2,582	2,343	2,190	2,182	2,403	2,376	2,276	2,217
λ	<u>1,307</u>	<u>1,126</u>	<u>1,213</u>	<u>1,322</u>	<u>1,353</u>	<u>1,133</u>	<u>1,182</u>	<u>1,041</u>
	1,200	1,108	0,971	0,966	1,132	1,118	1,081	1,057
	Чернозем обыкновенный. Травяной покров (поляна)							
C_p	<u>2,654</u>	<u>2,024</u>	<u>2,055</u>	<u>2,496</u>	<u>3,126</u>	<u>2,516</u>	<u>2,613</u>	<u>2,562</u>
	3,191	2,992	2,710	2,816	2,916	2,998	3,067	2,916
λ	<u>1,200</u>	<u>1,092</u>	<u>1,051</u>	<u>1,163</u>	<u>1,306</u>	<u>1,168</u>	<u>1,191</u>	<u>1,178</u>
	1,356	1,293	1,200	1,235	1,268	1,296	1,317	1,268

В результате отметим, что увлажнение, складывающееся в почвенных профилях за годы исследований, создает возможность термодиффузии молекул парообразной влаги через почвенные поры, незанятые водой. Исключением является профиль иссушенных горизонтов серой лесной почвы, который испытывает недостаток почвенного увлажнения. Итак, почвенное влагосодержание и теплофизическое состояние почв разного генезиса определяются атмосферными осадками и температурой воздуха в летнее время. При этом летние осадки чаще всего увлажняют лишь гумусово-аккумулятивный горизонт и быстро расходуются на транспирацию и физическое испарение. Следует также отметить, что древесные насаждения также оказывают значительное влияние на формирование водного и теплофизического режима почв. Развитая корневая система, а, с другой стороны, особенности затенения поверхности почвы кронами древесных насаждений способствуют не только иссушению почвенного профиля, но и препятствуют физическому испарению влаги. Это, в конечном итоге, оказывает сильное влияние как на влажностное, так и на теплофизическое состояние почвенных горизонтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максимальной плотностью сложения характеризуются серые лесные почвы. Объемная плотность горизонтов в пределе этих почв достигает высоких значений ($1,68 \text{ г/см}^3$) в иллювиальном горизонте. Пониженная плотность сложения отмечается в гумусовых горизонтах черноземов в березовой роще и на поляне ($1,21-1,22 \text{ г/см}^3$).

В черноземе обыкновенном гумусовый горизонт имеет высокую влажность завядания, равную 9-10% от массы почвы. Наименьшая влагоемкость этих черноземов составляет 31-39% от массы почвы, тогда как серой лесной – только 6%. Показатели увлажнения серой лесной почвы намного благоприятней, чем дерново-подзолистой. Влажность завядания в ней изменяется в пределах 4,2-6,3% от массы почвы, в дерново-подзолистой – только 1,84%.

Исследуемый чернозем обыкновенный представлен среднесуглинистой разновидностью. Ниже по профилю увеличивается содержание песчаной фракции, и гранулометрический состав переходит в состав легких суглинков. Исследованные серые лесные почвы супесчаные, в то время как дерново-подзолистые песчаные.

Минимальной объемной теплоемкостью обладают верхние, слабо уплотненные почвенные горизонты, а максимальную теплоемкость имеет плотный иллювиальный горизонт и почвообразующая порода. В гумусовых горизонтах объемная теплоемкость при влажности почвы от ВЗ до НВ возрастает практически в 2 раза. Температуропроводность достигает максимального значения при влажности, близкой к ВРК, что является особенностью для средних и легких суглинков. Она максимальна в песчаной дерново-подзолистой почве и приурочена к НВ (6-8%).

В отличие от черноземов серая лесная почва в области пленочно-рыхлосвязанной влаги резко дифференцирована. Так, ее влажность при этом в гор. А₂В, В и ВС составляет менее 5% от массы почвы, тогда как в гумусовом слое – 12-15%.

Поэтому в серых лесных почвах основная гидрофизическая характеристика незначительно превышает этот показатель в черноземах. Показатели водоудерживающей способности наиболее высокие в дисперсных гумусово-аккумулятивных горизонтах.

В целом изменения водоудерживающей способности исследованных почв подчинены распределению гранулометрических фракций, гумуса и плотности в почвенном профиле.

Водный режим генетических горизонтов изученных почвенных разностей зависит от особенностей произрастающих древесных пород. По наблюдениям 2014 г. оптимальный режим влажности складывался под березовым пологом, избыточный – под еловыми насаждениями, а под дубовой рощей он был дефицитным по продуктивным запасам влаги.

В дубраве в последующие годы также был отмечен дефицит влагосодержания. Общие запасы влаги осенью 2015 г. были равны 86,8 мм, а продуктивные – 4,4 мм. При этом максимальный недостаток влаги испытывал иллювиальный горизонт В (-24,3 мм).

Сумма температур в метровом слое серой лесной почвы оказалась больше, чем в черноземе обыкновенном под березовыми насаждениями. Так, 22 июля 2014 г. в первом случае сумма температур равнялась 216,1°С, а во втором – 201,6°С. В дерново-подзолистой почве она не превышала 175,2°С. Такие особенности теплового режима в почвах разного генезиса сохранялись за годы исследований в течение всей вегетации.

Режим естественного увлажнения обусловил соответствующие значения теплофизических характеристик в почвах дендрария. Максимальные во всех исследованных почвенных профилях теплоемкость, тепло- и температуропроводность наблюдались в мае-июне, затем закономерно снижались. Большое влияние на формирование водного и теплофизического режима почв разного генезиса за годы наблюдений оказали произрастающие древесные породы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абаимов, В. Ф. Дендрология / В. Ф. Абаимов. – Москва: Изд-кий центр «Академия», 2009. – 363 с. – Текст: непосредственный.
2. Агроклиматические ресурсы Алтайского края: [справочник]. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – 155 с. – Текст: непосредственный.
3. Алексеева С. Ф. Снежная мелиорация климата почв / С. Ф. Алексеева, В. И. Сомова, А. М. Шульгин. – Текст: непосредственный // Почвенная климатология Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – С. 44-55.
4. Алиев, А. Г. Экологическая целесообразность интенсивности водоподачи различными технологиями орошения в условиях горного земледелия / А. Г. Алиев. – Текст: непосредственный // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 3. – С. 35-43.
5. Баденко, В. Л. Разработка базового варианта интеграции ГИС и AGROTOOL / В. Л. Баденко, Н. К. Латышев. – Текст: непосредственный // Материалы научной сессии по итогам 2011 года агрофизического института: сборник статей. – Санкт-Петербург: Изд-во Агрофизич. науч.-исслед. ин-та. Российской академии с.-х. наук, 2012. – С. 23-27.
6. Беховых, Ю. В. Динамика запасов тепла и влаги в дерново-подзолистых почвах юго-западной части ленточных боров Алтайского края, подвергшихся пирогенному воздействию / Ю. В. Беховых, С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Проблемы рационального природопользования в Алтайском крае: сборник научных трудов. – Барнаул, 2005. – С. 146-153.
7. Бицошвили, И. А. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного (на примере производственного участка НИИСС им. М. А. Лисавенко) / И. А. Бицошвили, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 5 (115). – С. 48-52.
8. Бицошвили, И. А. Теплофизическая характеристика генетических горизонтов черноземов выщелоченных (на примере производственного участка НИИСС им. М. А. Лисавенко) / И. А. Бицошвили, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 6 (116). – С. 57-61.
9. Бицошвили, И. А. Влияние цветочных культур на теплофизические и агрохимические свойства чернозема выщелоченного в условиях Алтайского Приобья / И. А. Бицошвили, А. А. Левин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6 (68). – С. 27-31.
10. Болотов, А. Г. Автоматизированная система для исследования теплофизических характеристик почв / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев, А. А. Левин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2002. – № 3. – С. 20-22.

11. Болотов, А. Г. Влияние краевых условий на точность расчета влажности почвы // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 книгах / Алтайский государственный аграрный университет. – Барнаул, 2017. – С. 400-402.

12. Болотов, А. Г. Гидротермическое состояние почв юго-востока Западной Сибири: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Болотов Андрей Геннадьевич. – Москва, 2017. – 38 с. – Текст: непосредственный.

13. Болотов, А. Г. Измерение температуры почв в полевых условиях / А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: материалы II Международной конференции. – Барнаул, 2002. – С. 148-150.

14. Болотов, А. Г. Измерение температуры почв в полевых условиях / А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: материалы II Международной конференции. – Барнаул, 2002. – С. 148-150.

15. Болотов, А. Г. Измерение теплопроводности почвы импульсным методом линейного источника теплоты / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2004. – № 4. – С. 42.

16. Болотов, А. Г. Использование импульсного метода плоского нагревателя для определения теплофизических коэффициентов почвы / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – № 4. – С. 38-42.

17. Болотов, А. Г. Метод определения температуропроводности / А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 7. – С. 74-79.

18. Болотов, А. Г. Определение теплофизических свойств почв с использованием систем измерения ZETLab / А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 12. – С. 48-50.

19. Основные гидрофизические характеристики каштановых почв сухой степи Алтайского края / А. Г. Болотов, Е. В. Шеин, Е. Ю. Милановский [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 9. – С. 36-41.

20. Болотов, А. Г. Применение автогенераторного преобразователя при измерении влажности почвы / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей VI Международной научно-практической конференции: в 3 книгах (г. Барнаул, 3-4 февраля 2011 г.). – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2011. – Кн. 2. – С. 36-38.

21. Болотов, А. Г. Применение цифровых датчиков при измерении температуры почв / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев, А. А. Левин. – Текст: непосредственный // Проблемы рационального природопользования в Алтайском крае: сборник научных трудов. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. – С. 159-161.

22. Болотов, А. Г. Расчет энергии водоудерживающей способности почвы через почвенно-гидрологические константы / А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 11. – С. 34-36.

23. Болотов, А. Г. Теплофизическое состояние почв и совершенствование инструментальной базы для его исследований: автореферат диссертации на соискание

ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Болотов Андрей Геннадьевич. – Барнаул, 2003. – 22 с. – Текст: непосредственный.

24. Патент № 2241980 Российская Федерация МПК G 01 N 25/18. Устройство для определения теплофизических характеристик почв в полевых условиях / Болотов А. Г., Лёвин А. А., Макарычев С. В., Беховых Ю. В.; заявитель и патентообладатель Болотов А. Г. – № 2003108101/28; заявл. 24.03.03; опубл. 10.12.2004. – Бюл. № 34. – Текст: непосредственный.

25. Болотов, А. Г. Электронный измеритель температуры почвы / А. Г. Болотов, Ю. В. Беховых, С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Проблемы природопользования на Алтае: сборник научных трудов молодых ученых / АГАУ. – Барнаул, 2001. – С. 55-57.

26. Болотов, А. Г. Электронный измеритель температуры почвы / А. Г. Болотов, Ю. В. Беховых, С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Проблемы природопользования на Алтае: сборник научных трудов / АГАУ. – Барнаул, 2001. – С. 87-91.

27. Болотов, А. Г. Определение теплофизических свойств капиллярно-пористых тел импульсным методом с использованием технологии визуального программирования / А. Г. Болотов, Ю. В. Беховых, Г. А. Семенов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 6. – С. 37-40.

28. Болотов, А. Г. Гидрофизические свойства почв юго-востока Западной Сибири / А. Г. Болотов, С. В. Макарычев. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2015. – 129 с. – Текст: непосредственный.

29. Бондаренко, С. Ю. Анализ теплофизического состояния почвенного профиля / С. Ю. Бондаренко, С. В. Макарычев, И. В. Гефке. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2007. – № 10. – С. 13-18.

30. Булыгин Н. Е. Дендрология / Н. Е. Булыгин. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 280 с. – Текст: непосредственный.

31. Бурлакова, Л. М. Плодородие Алтайских черноземов в системе агроценоза / Л. М. Бурлакова. – Новосибирск: Наука СО, 1984. – 1988 с. – Текст: непосредственный.

32. Бурлакова, Л. М. Почвы Алтайского края: учебное пособие / Л. М. Бурлакова, Л. М. Татаринцев, В. А. Рассыпнов. – Барнаул, 1988. – 69 с. – Текст: непосредственный.

33. Величкина, С. В. Теплофизические свойства и гидротермические режимы черноземов выщелоченных в зернопаровом севообороте: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Барнаул, 2005. – 20 с. – Текст: непосредственный.

34. Вильямс, В. Р. Почвоведение / В. Р. Вильямс. – Москва: Изд-во с.-х. лит-ры, 1949. – Т. 1. – 447 с. – Текст: непосредственный.

35. Водный режим почвы и продуктивность яблоневого сада / А. В. Шуравилин, В. В. Бородычев, М. Н. Лытов, А. В. Сергиенко. – Текст: непосредственный // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. – 2008. – № 4. – С. 14-18.

36. Водопроницаемость горно-лесных и степных почв Алтая как фактор выщелачивания макроионов (модельный эксперимент в почвенных колонках) / А. В. Пу-

занов, С. В. Бабошкина, Т. А. Рождественская, С. Н. Балыкин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 7. – С. 48-55.

37. Воронин, А. Д. Основы физики почв / А. Д. Воронин. – Москва: Изд-во Моск. ун-та. 1986. – 244 с. – Текст: непосредственный.

38. Воронин, А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А. Д. Воронин. – Москва, 1984. – 203 с. – Текст: непосредственный.

39. Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха / Р. Гейгер. – Москва: Изд-во ин. лит-ры, 1960. – 162 с. – Текст: непосредственный.

40. Герайзаде, А. П. Термо- и влагоперенос в почвенных системах / А. П. Герайзаде. – Баку: ЭЛМ, 1970. – 155 с. – Текст: непосредственный.

41. Герасимов, И. П. Общая характеристика почвенного покрова / И. П. Герасимов, Н. Н. Розов, А. И. Ромашкевич. – Текст: непосредственный // Западная Сибирь. – Москва: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 158-164.

42. Гефке, И. В. Морфология и физические свойства почв разного генезиса в условиях дендрария / И. В. Гефке, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (137). – С. 58-63.

43. Гефке, И. В. Расчет потока тепла в почве: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Теплофизические основы мелиорации почв» и выполнению расчетно-графической работы / И. В. Гефке. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2008. – 57 с. – Текст: непосредственный.

44. Горшенин, К. П. Почвы южной части Сибири / К. П. Горшенин. – Москва, 1955. – 592 с. – С. 98. – Текст: непосредственный.

45. Горяев, В. Е. О путях воспроизводства плодородия почв / В. Е. Горяев. – Текст: непосредственный // Тезисы к VIII съезду почвоведов. – Новосибирск, 1989. – С. 20.

46. Грибов, С. И. Использование ландшафтной карты для картографирования СПП (на примере бассейна р. Алей) / С. И. Грибов. – Текст: непосредственный // Проблемы повышения плодородия почв в условиях Алтайского края: сборник научных трудов. – Новосибирск, 1984. – С. 3-16.

47. Губер, А. К. Адаптация и идентификация математических моделей переноса влаги в почвах / А. К. Губер, Е. В. Шеин. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1997. – № 9. – С. 1107-1119.

48. Гуляев, О. С. К вопросу о тепловом режиме почв Юго-Западной Сибири и Северного Казахстана и проблема его регулирования / О. С. Гуляев. – Текст: непосредственный // Агроклиматология Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 44-48.

49. Дерягин, Б. В. Поверхностные силы / Б. В. Дерягин, Н. В. Чураев. – Москва, 1987. – 375 с. – Текст: непосредственный.

50. Дзюба, Г. М. Микроклимат почвенно-растительных комплексов Барабинского стационара Сибирского отделения АН СССР / Г. М. Дзюба. – Текст: непосредственный // Почвенная климатология Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – С. 56-64.

51. Димо, В. Н. Расчетный метод определения температуры почв / В. Н. Димо. – Текст: непосредственный // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – Москва, 1967. – Вып. 1. – С. 88-99.

52. Димо, В. Н. Тепловой режим почв СССР / В. Н. Димо. – Москва: Колос, 1972. – 360 с.
53. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с. – Текст: непосредственный.
54. Зайдельман, Ф. Р. Мелиорация почв / Ф. Р. Зайдельман. – Москва: Изд-во МГУ, 2004. – 205 с. – Текст: непосредственный.
55. Заславский, Б. Г. Моделирование гидрофизических характеристик почв / Б. Г. Заславский, В. В. Терлеев. – Текст: непосредственный // Автоматизация научных исследований и проектирования АСУ ТП в мелиорации: тезисы докладов Всесоюзной школы-семинара. – Фрунзе: Изд-во ВНИИКиМ, 1988. – С. 82.
56. Измерение влажности почв методом частотной диэлькометрии / А. Г. Болотов, Т. А. Карась, А. А. Лёвин [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 12. – С. 36-39.
57. Исмаилов, А. А. Водно-воздушный и тепловой режим горно-каштановых почв юго-восточной части Большого Кавказа / А. А. Исмаилов, Г. М. Мамедов. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1974. – № 10. – С. 80-90.
58. Карпачевский, Л. О. Водно-физические свойства некоторых почв Алтайского края / Л. О. Карпачевский. – Москва: Изд-во АН СССР, 1959 (1968). – С. 297-321.
59. Качинский, Н. А. Физика почвы. Часть II. Водно-физические свойства и режимы почв / Н. А. Качинский. – Москва: Высшая школа, 1970. – 360 с. – Текст: непосредственный.
60. Кондратьев, Г. Н. Регулярный тепловой режим / Г. Н. Кондратьев. – Москва: Колос, 1954. – 408 с. – Текст: непосредственный.
61. Крылова, И. Ю. Оценка ОГХ почвы по агрофизическим показателям и эмпирической зависимости Воронина / И. Ю. Крылова, В. В. Терлеев. – Текст: непосредственный // Сборник трудов конференции. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбПУ, 2008. – С. 295-297.
62. Кудряшова, С. Я. Нелинейные методы в физике почв / С. Я. Кудряшова, А. В. Чичулин. – Текст: непосредственный // Тезисы докладов 2-го Съезда Общества почвоведов (г. Санкт-Петербург, 27-30 июня 1996 г.). – Москва, 1996. – Кн. 1. – С. 85-86.
63. Латышев, Н. К. Учет пространственной вариабельности водно-физических свойств почв в модели роста и развития сельскохозяйственных растений: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Латышев Николай Константинович. – Москва, 2013. – 27 с. – Текст: непосредственный.
64. Лебедева, Л. В. Гидротермический режим почвы под древесными культурами в условиях городской зоны (г. Барнаул, НИИСС им. М. А. Лисавенко) / Л. В. Лебедева, А. И. Завалишин. – Текст: непосредственный // Молодежь – Барнаулу: материалы XVI научно-практической конференции молодых ученых. – Барнаул, 2014. – С. 9-11.
65. Лобанов, С. А. Палеогеологический метод расчета теплопроводности почв Дальнего Востока / С. А. Лобанов, Е. Э. Холоден. – Текст: непосредственный // Современное состояние и рациональное использование почв, леса и водно-земельных ресурсов Дальнего Востока России: сборник материалов региональной научной

конференции, посвященной 40-летию ДВО Докучаевского общества почвоведов при РАН (г. Владивосток, 15-16 января 1997 г.). – Владивосток, 1997. – Кн. 2. – С. 58-63.

66. Лоске, Э. Г. Обзор работ по сельскохозяйственной метеорологии и по вопросам, с нею связанным / Э. Г. Лоске. – Текст: непосредственный // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – Москва, 1911. – Вып. 8-9. – С. 8-10.

67. Лунин, А. И. Некоторые дополнения к импульсным методам определения теплофизических характеристик / А. И. Лунин, Я. Гельфер. – Текст: непосредственный // Труды МИСИ. – 1968. – С. 25.

68. Лунин, А. И. Применение тепловых импульсов для определения температуропроводности почвы / А. И. Лунин, С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Труды Алтайского сельскохозяйственного института. – 1977. – Вып. 28. – С. 63-76.

69. Лыков, А. В. Основные коэффициенты переноса тепла и массы вещества во влажных материалах / А. В. Лыков. – Текст: непосредственный // Труды МТИПП. – 1956. – Вып. 6. – С. 7-21.

70. Лыков, А. В. Теория тепло- и массопереноса / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов. – Москва; Ленинград, 1963. – 535 с. – Текст: непосредственный.

71. Мазиров, М. А. Теплофизическая характеристика почвенного покрова Алтая и Западного Тянь-Шаня / М. А. Мазиров, С. В. Макарычев. – Владимир: Изд-во Владивостокского ГУ, 2002. – 448 с. – Текст: непосредственный.

72. Макарычев, С. В. Влияние абиотических факторов на теплофизическое состояние почв под древесными экосистемами в условиях дендрария / С. В. Макарычев, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (149). – С. 44-50.

73. Макарычев, С. В. Влияние почвенно-климатических факторов на формирование урожайности яровой пшеницы в Алтайском крае / С. В. Макарычев, Н. Б. Максимова, Г. Г. Морковкин. – Текст: непосредственный // Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования: материалы докладов VI съезда общества почвоведов. – Петрозаводск; Москва, 2012. – С. 380-381.

74. Макарычев, С. В. Коэффициенты переноса и аккумуляции тепла лессовых почв Алтая / С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Тезисы докладов 2-го Съезда общества почвоведов. – Москва, 1996. – Кн. 1. – С. 92-93.

75. Макарычев, С. В. Особенности теплофизических свойств дерново-подзолистых и серых лесных почв Алтайского края / С. В. Макарычев, Л. М. Татаринцев, Л. Н. Макарычева. – Текст: непосредственный // Почвенно-агрохимические проблемы земледелия в Алтайском крае: тезисы региональной конференции. – Барнаул, 1984. – С. 14-16.

76. Макарычев, С. В. Сезонная динамика запасов тепла в дерново-подзолистых почвах ленточных боров / С. В. Макарычев, В. И. Пастухов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 4 (102). – С. 24-28.

77. Макарычев, С. В. Система термостатирования для исследования теплофизических свойств почв / С. В. Макарычев, Ю. В. Беховых, А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного университета. – 2010. – № 6 (68). – С. 23-27.

78. Макарычев, С. В. Система термостатирования для исследования теплофизических свойств почв / С. В. Макарычев, Ю. В. Беховых, А. Г. Болотов. – Текст:

непосредственный // Вестник Алтайского государственного университета. – 2010. – № 6 (68). – С. 23-27.

79. Макарычев, С. В. Теплофизическая характеристика генетических горизонтов серых лесных и дерново-подзолистых почв / С. В. Макарычев, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 9 (155). – С. 43-47.

80. Макарычев, С. В. Физические и физико-химические свойства почв разного генезиса (на примере дендрария НИИС им. М. А. Лисавенко) / С. В. Макарычев, Л. В. Лебедева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 8 (154). – С. 58-63.

81. Макарычев, С. В. Формирование гидротермического режима почвы под древесными породами в условиях дендрария / С. В. Макарычев, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 5 (139). – С. 44-49.

82. Макарычев, С. В. Формирование запасов влаги и тепла в почвенном профиле под некоторыми древесными породами в условиях дендрария / С. В. Макарычев, И. С. Полухина, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного университета. – 2016. – № 8 (142). – С. 45-49.

83. Макарычев, С. В. Влияние температуры и влажности на теплопроводность выщелоченного чернозема Алтайского Приобья / С. В. Макарычев, А. И. Лунин. – Текст: непосредственный // Труды Алтайского сельскохозяйственного института. – 1978. – Вып. 31. – С. 31-35.

84. Макарычев, С. В. Возможности повышения плодородия почв на основе регулирования их теплофизического состояния / С. В. Макарычев, И. Т. Трофимов. – Текст: непосредственный // Почвенно-агрономические проблемы Западной Сибири: сборник научных трудов / АГАУ. – Барнаул, 2006. – С. 36-40.

85. Макарычев, С. В. К вопросу о влиянии массопереноса на определение тепловых свойств влажных материалов / С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Физика твердого тела. – Барнаул, 1982. – С. 21-23.

86. Макарычев, С. В. Моделирование основной теплофизической характеристики постпирогенных дерново-подзолистых почв Северо-восточной части лентчатых боров Алтайского края / С. В. Макарычев, А. Г. Болотов, В. И. Пастухов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (126). – С. 27-30.

87. Макарычев, С. В. Объемный вес и теплофизические свойства почвы / С. В. Макарычев, А. И. Лунин. – Текст: непосредственный // Известия СО АН СССР. Серия: Биология. – 1978. – Вып. 3. – С. 10-12.

88. Макарычев, С. В. Основная гидрофизическая характеристика черноземов выщелоченных Алтайского Приобья в условиях сада / С. В. Макарычев, А. Г. Болотов, И. В. Гефке. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 12 (122). – С. 35-39.

89. Макарычев, С. В. Почвенно-физические факторы и структурно-функциональная концепция теплофизического состояния почв / С. В. Макарычев, М. А. Мазиров. – Текст: непосредственный // Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нечерноземье: сборник докладов Всероссий-

ской научно-практической конференции / Владимирский НИИСХ. – Суздаль, 2013. – Т. 1. – С. 237-245.

90. Макарычев, С. В. Приемы и методы управления теплофизическим состоянием почв в условиях Алтайского края / С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Почвенно-агрономические проблемы Западной Сибири: сборник научных трудов / АГАУ. – Барнаул, 2000. – С. 34-35.

91. Макарычев, С. В. Природно-климатическое районирование и теплофизические особенности почвенного покрова Алтайского края / С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: материалы II Международной конференции. – Барнаул, 2002. – С. 157-160.

92. Макарычев, С. В. Теплообеспеченность почвы плодового сада в условиях Алтайского Приобья / С. В. Макарычев, А. Г. Болотов, И. В. Гефке. – Текст: непосредственный // Тезисы докладов VII съезда общества почвоведов им. В. В. Докучаева (15-22.08.2016 г.). – Белгород: Изд-кий дом «Белгород», 2016. – Ч. 1. – С. 363-364.

93. Макарычев, С. В. Теплофизика почв: методы и свойства / С. В. Макарычев, М. А. Мазиров. – Суздаль, 1996. – Т. 1. – 232 с.

94. Макарычев, С. В. Теплофизическая характеристика генетических горизонтов черноземов выщелоченных / С. В. Макарычев, С. В. Величкина. – Текст: непосредственный // Проблемы рационального природопользования в Алтайском крае: сборник научных трудов. – Барнаул, 2005. – С. 95-104.

95. Макарычев, С. В. Теплофизическая характеристика черноземов предгорных равнин, предгорий и низкогорий Алтайского края / С. В. Макарычев. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (138). – С. 65-69.

96. Макарычев, С. В. Теплофизические коэффициенты почв и факторы, их определяющие / С. В. Макарычев, М. А. Мазиров. – Текст: непосредственный // Физика твердого тела. – Барнаул, 1994. – С. 36-38.

97. Макарычев, С. В. Теплофизические основы мелиорации почв: учебное пособие / С. В. Макарычев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2005. – 280 с. – Текст: непосредственный.

98. Макарычев, С. В. Теплофизическое состояние почв Алтая в условиях антропогенеза / С. В. Макарычев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 326 с. – Текст: непосредственный.

99. Макарычев, С. В. Теплофизическое состояние почв Алтая в условиях антропогенеза / С. В. Макарычев. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2006. – 326 с. – Текст: непосредственный.

100. Макарычев, С. В. Моделирование теплофизических функций почв Алтайского края / С. В. Макарычев, А. Г. Болотов. – Текст: непосредственный // Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 7. – С. 26-32.

101. Макарычев, С. В. Формирование теплового режима чернозема под облепи-хой в условиях Алтайского Приобья / С. В. Макарычев, А. В. Шишкин. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 6 (104). – С. 28-32.

102. Мамихин, С. В. Воспроизведение температурного и гидрологического режимов почвы в математических моделях сухопутных экосистем // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 1997. – № 3. – С. 7-10, 49.
103. Мелехов, И. С. Лесоведение / И. С. Мелехов. – Москва: Изд-во МГУ, 1999. – 398 с. – Текст: непосредственный.
104. Моделирование основной гидрофизической характеристики черноземов Алтайского края / А. Г. Болотов, С. Н. Дубский, А. Н. Шаталов [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 31-35.
105. Омельянов, В. П. Теплофизические свойства автоморфных почв северной лесостепи и подтайги Алтайского края / В. П. Омельянов. – Текст: непосредственный // Агроклиматология Сибири. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 84-90.
106. Онищенко, В. Г. К вопросу обобщенного описания теплопроводности почв / В. Г. Онищенко, И. С. Лискер, А. Г. Георгиади // Почвоведение. – 1999. – № 2. – С. 210-214.
107. Орлов, А. Д. Эрозия и эрозионноопасные земли Западной Сибири / А. Д. Орлов. – Новосибирск: Наука, 1983. – 230 с. – Текст: непосредственный.
108. О совершенствовании импульсного метода определения теплофизических характеристик почвы / С. В. Макарычев, И. Т. Турапов, М. А. Мазиров, И. Е. Сазонов. – Текст: непосредственный // Тезисы к 1-му съезду почвоведов Узбекистана. – Ташкент, 1990. – С. 54-55.
109. Павлов, А. В. Итоги и перспективы стационарных исследований теплового баланса и гидротермического режима почвы в криолитозоне / А. В. Павлов. – Текст: непосредственный // Климат почв: сборник научных трудов. – Пущино, 1985. – С. 127-131.
110. Павлов, А. В. Теплофизика ландшафтов / А. В. Павлов. – Новосибирск: Наука СО, 1979. – С. 283.
111. Панфилов, В. П. Агрофизическая характеристика почв Западной Сибири / В. П. Панфилов. – Новосибирск: Наука, 1976. – 544 с. – Текст: непосредственный.
112. Панфилов, В. П. Вопросы физики почв Западной Сибири / В. П. Панфилов. – Текст: непосредственный // Генетические особенности и вопросы плодородия почв западной Сибири. – Новосибирск: Наука СО, 1972. – С. 107-115.
113. Панфилов, В. П. Особенности поведения влаги в супесчаных и суглинистых автоморфных почвах в связи с их порозностью / В. П. Панфилов, Н. И. Чащина. – Текст: непосредственный // Известия Сибирского отделения АН СССР. Серия: Биология. – 1975. – Вып. 1. – С. 3-7.
114. Панфилов, В. П. Теплофизические свойства и режимы черноземов Приобья / В. П. Панфилов, С. В. Макарычев, А. И. Лунин. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 118.
115. Панфилов, В. П. Теплофизические свойства серых лесных почв Западной Сибири / В. П. Панфилов, И. С. Харламов. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1984. – № 11. – С. 42-48.
116. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв / Е. В. Шеин, Т. А. Архангельская, В. М. Гончаров [и др.]. – Москва: Изд-во МГУ, 2001. – 198 с. – Текст: непосредственный.

117. Почвенно-физические факторы и объемная теплоемкость выщелоченного чернозема / С. В. Макарычев, И. В. Шорина, И. В. Гефке, Л. В. Лебедева. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей X Международной научно-практической конференции. – Барнаул, 2015. – С. 325-327.

118. Пузаченко, Ю. Г. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности / Ю. Г. Пузаченко, Л. О. Карпачевский, Н. А. Взнуздаев. – Текст: непосредственный // Закономерности пространственного варьирования свойств почвы и информационно-статистические методы их изучения. – Москва: Наука, 1970. – С. 103-121.

119. Роде, А. А. Основные учения о почвенной влаге. Т. 1. Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1965. – 663 с. – Текст: непосредственный.

120. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 2. Методы изучения водного режима почв. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – 287 с. – Текст: непосредственный.

121. Рычева, Т. А. Моделирование температурного режима дерново-подзолистой почвы: определяющая роль условий на поверхности / Т. А. Рычева. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1999. – № 6. – С. 697-703.

122. Саранцев, А. Ю. Анализ модели тепловлагодобаланса почвы по экспериментальным результатам / А. Ю. Саранцев. – Текст: непосредственный // Тезисы докладов 44-й научной конференции профессорско-преподавательского состава, сотрудников и аспирантов Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – Самара, 1997. – С. 9.

123. Сборник задач и упражнений по методике опытного дела / В. А. Рассыпнов – Барнаул, 1987. – 61 с. – Текст: непосредственный.

124. Серова, Н. В. О картировании теплофизических характеристик почв. Климат почв / Н. В. Серова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. – С. 80-86.

125. Сляднев, А. П. Методы оценки агротехнических ресурсов на примере Алтайского края / А. П. Сляднев. – Текст: непосредственный // Почвенная климатология Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – С. 179-214.

126. Смагин, А. В. Определение основной гидрофизической характеристики почв методом центрифугирования / А. В. Смагин, Н. Б. Садовникова, Бен-Али. Мизури. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1998. – № 11. – С. 1362-1370.

127. Сметник, А. А. Миграция пестицидов в почвах / А. А. Сметник, Е. В. Шеин, Ю. А. Спиридонов. – Москва: РАСХН-ВНИИФ, 2005. – 239 с. – Текст: непосредственный.

128. Справочник по климату СССР. Ветер. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1966. – Вып. 20. – Ч. 3. – 575 с. – Текст: непосредственный.

129. Справочник по климату СССР. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – Ленинград: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. – Вып. 20. – Ч. 4. – 331 с. – Текст: непосредственный.

130. 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.

131. Судницын, И. И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений / И. И. Судницын. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 255 с. – Текст: непосредственный.

132. Судницын, И. И. Закономерности передвижения почвенной влаги / И. И. Судницын. – Москва: Наука, 1964. – Текст: непосредственный.

133. Сысуев, В. В. Моделирование процессов в ландшафтно-геохимических системах / В. В. Сысуев. – Москва: Наука, 1986. – 301 с. – Текст: непосредственный.

134. Татаринцев, Л. М. Агрофизические свойства почв Алтайского Приобья, их изменение при антропологическом воздействии / Л. М. Татаринцев. – Текст: непосредственный // Тезисы к VIII съезду почвоведов. – Новосибирск, 1989. – С. 76.

135. Тепло и влага в почвенном профиле под древесными породами в условиях дендрария / С. В. Макарычев, И. В. Гэфке, Л. В. Лебедева, И. В. Шорина. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 7 (153). – С. 64-68.

136. Теплофизические свойства черноземов выщелоченных Алтайского Приобья и их математические модели / С. В. Макарычев, А. Г. Болотов, И. В. Гэфке, А. Н. Шаталов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайской науки. – 2010. – № 1. – С. 95-100.

137. Терлеев, В. В. Оценка основной гидрофизической характеристики с использованием агрофизических показателей почвы и эмпирических зависимостей / В. В. Терлеев, В. Миршель, И. Ю. Крылова. – Текст: непосредственный // Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы: материалы Всероссийской конференции. – Санкт-Петербург: Агрофизич. науч.-ис. ин-т. Рос. академ. с.-х. наук, 2010. – С. 146-149.

138. Тихонравова, П. И. Оценка теплофизических свойств почв солонцового комплекса Заволжья / П. И. Тихонравова. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1991. – № 5. – С. 50-61.

139. Транкевич, Н. Н. Тепловой режим гребневой и ровной поверхности / Н. Н. Транкевич. – Текст: непосредственный // Метрология и гидрология. – 1936. – № 6. – С. 47-50.

140. Трофимов, И. Т. Исследование структуры некоторых почв Алтайского края: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Трофимов Иван Тимофеевич. – Новосибирск, 1967. – 23 с. – Текст: непосредственный.

141. Умарова, А. Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Умарова Аминат Батальбиевна. – Москва, 2008. – 50 с. – Текст: непосредственный.

142. Физические основы мелиорации почв / Н. Ф. Бондаренко. – Ленинград: Колос, 1975. – 258 с. – Текст: непосредственный.

143. Фукс, Л. Г. Метод комплексного определения теплофизических свойств / Л. Г. Фукс, В. Н. Шмандина. – Текст: непосредственный // Известия вузов. – 1970. – № 2. – С. 124-127.

144. Харламов, И. С. Теплофизические свойства серых лесных почв подтаежной зоны Западной Сибири: автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук / Харламов Иван Семенович. – Новосибирск, 1985. – 21 с. – Текст: непосредственный.

145. Чеботарев, Ю. А. Расчет распределения влаги осадков в почве / Ю. А. Чеботарев. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1987. – № 6. – С. 112-115.

146. Чичулин, А. В. Структурно-генетическая концепция физических свойств почв / А. В. Чичулин. – Текст: непосредственный // Тезисы докладов VIII съезда почвоведов. – Новосибирск, 1988. – С. 83.

147. Чудновский, А. Ф. Основы агрофизики / А. Ф. Чудновский. – Москва, 1959. – Ч. III. – С. 405-634.

148. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв / А. Ф. Чудновский. – Москва, 1976. – 352 с. – Текст: непосредственный.

149. Чудновский, А. Ф. Физика теплообмена в почве / А. Ф. Чудновский. – Москва; – Ленинград: Гостехиздат, 1948. – 220 с. – Текст: непосредственный.

150. Чудновский, А. Ф. Цилиндрический зонд для измерения термических характеристик почвы / А. Ф. Чудновский. – Текст: непосредственный // Сборник по агрофизике. – Ленинград, 1952. – Вып. 5. – С. 86-90.

151. Шеин, Е. В. Курс физики почв / Е.В. Шеин. – Москва: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с. – Текст: непосредственный.

152. Шеин, Е. В. Перенос воды и веществ по макропорам в дерново-подзолистой почве / Е. В. Шеин, А. К. Губер, Н. С. Кухарук. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 1995. – № 2. – С. 22-32.

153. Шеин, Е. В. Преимущественные пути миграции влаги / Е. В. Шеин, К. А. Марченко. – Текст: непосредственный // Почвоведение. – 2002. – № 1. – С. 45-49.

154. Шишкин, А. В. Теплофизическое состояние выщелоченных черноземов Алтайского Приобья под облепиховыми насаждениями: диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Шишкин Александр Викторович. – Барнаул, 2008. – 137 с. – Текст: непосредственный.

155. Шульгин, А. М. Климат почвы и его регулирование / А. М. Шульгин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. – 298 с. – Текст: непосредственный.

156. Шульгин, А. М. Температурный режим почв / А. М. Шульгин. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1957. – 298 с. – Текст: непосредственный.

157. Щербаков, Р. А. Сравнение методов расчета одномерного влагопереноса в почвах / Р. А. Щербаков, Я. А. Пачепский, М. Я. Кузнецов. – Текст: непосредственный // Водные ресурсы. – 1986. – № 1. – С. 9-14.

158. Щукин, И. С. Общая геоморфология / И. С. Щукин. – Москва, 1974. – 285 с. – Текст: непосредственный.

159. Bristow, Keith L. Comparison of techniques for extracting soil thermal properties from dual-probe heat-pulse data / Keith L. Bristow, Jim R. Bilskie, Gerard J. Kluitenberg // Soil Sci. – 1995. – № 1 – P. 1-7.

160. Chau, H. W. Relationship between the severity, persistence of soil water repellency and the critical soil water content in water repellent soils / H. W. Chau, A. Biswas, V. Vujanovic, B. Ch. Si // Geoderma. – 2014. – June. – V. 221-222. – P. 113-120.

161. Hinzman, Larry D. A distributed thermal model for calculating soil temperature profiles and depth of thaw in permafrost regions / Larry D. Hinzman, Douglas J. Goering, Douglas L. Kane // Geophys. Res. D. – 1998. – № 22. – P. 103.

162. Humberto Blanco-Canquia, R. Lal. Axle-load impacts on hydraulic properties and corn yield in no-till clay and silt loam / R. Lal. Humberto Blanco-Canquia // *Courtesy of Soil Science Society of America* Nov. 7. – 2008.
163. Kennedy, Ian. Model comparisons to simulate soil frost depth / Ian Kennedy, Brenton Sharratt // *Soil Sci.* – 1998. – № 8. – P. 636-645.
164. Kersten, M. S. Thermal properties of soils / M. S. Kersten // *Minneapolis.* – 1949. – 227 p.
165. Kersten, M. S. Thermal properties of soils. Engineering experiments station bull / M. S. Kersten // *Minneapolis.* – 1948. – № 28.
166. Liu, Sh. Physically based closed-form expression for the bimodal unsaturated hydraulic conductivity function / Sh. Liu, N. Yasufuku, Q. Liu, H. Hemanta // *Courtesy of Water Science & Technology.* – 2013. – Jul. 19.
167. Makarychev, S. V. Structural-functional concept of thermophysical condition of the soils of Altai Region Eurasian / S. V. Makarychev, A. G. Bolotov // *J. Soil Sci.* – 2016. – 5 (4). – P. 279-284. – DDI 10.18393/ejss. 2016.4.279-284.
168. Makarychev, S. V. Conductive and steam-diffuse constituents of thermotransfer in different soil moisture contents: case study of the Altai Region's soils / S. V. Makarychev, A. G. Bolotov // *Eurasian Journal of Soil Science.* – 2017. – 6 (1). – P. 44-50.
169. Mowjood, M. I. Mohammed, Ishiguro Kenji, KasubuchiTatsuaki. Effect of convection in ponded water on the thermal regime of a paddy field / M. I. Mowjood // *Soil Sci.* – 1997. – 162, № 8. – P. 583-587.
170. Nassar, I. N. Simultaneous heat and mass transfer in soil columns exposed to freezing/ thawing conditions / I. N. Nassar, Robert Horton, G. N. Flerchinger // *Soil Sci.* – 2000. – № 3. – P. 208-216.
171. Noborio, K. Measurements of soil water content, heat capacity, and thermal conductivity with a single TDR probe / K. Noborio, K. J. McInnes, J. L. Heilman // *Soil Sci.* – 1996. – № 1. – P. 22-28.
172. Parikh, P. J. Thermal diffusivity and conductivity of moist porous media / P. J. Parikh, J. A. Havens, H. D. Scott // *Ibid.* – 1979. – V. 43. – P. 1050-1052.
173. Rao, E.V. M.M. Influence of the thermal characteristics of a moist clay loam soil on the temperature regime at the surface / E.V. Rao // *Agric. Meteorol.* – 1975. – V. 31, № 3. – P. 203-205.
174. Sepaskhan, A. R. Thermal conductivity of soil as function of temperature and water content / A. R. Sepaskhan, L. Boersma // *Amer. Geophys. Union Trans.* – 1957. – V. 38. – P. 222-231.
175. Teng, J. Analytical solution for soil water redistribution during evaporation process / J. Teng, N. Yasufuku, Q. Liu, Sh. Liu // *Courtesy of Water Science & Technology.* – 2013. – Dec, 19.
176. van Genuchten, M. Th. Non-equilibrium transport parameters from miscible displacement experiments. Research Report № 119 / M. Th. van Genuchten // *U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California.* – 1981. – 88 p.
177. van Genuchten, M.T.H., Leij F.J., Yates S.R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils / M.T.H. van Genuchten, F.J. Leij, S.R. Yates // *USDA, US Salinity Laboratory, Riverside, CA.* – 1991. – 216 p.
178. Vries, D. A. de. Some remarks on heat transfer by vapor movement in soil. – *Trans of the iv intern. Congr / D. A. Vries // Soil Sci.* – Amsterdam, 1950.

Научное издание

***Макарычев Сергей Владимирович
Лебедева Людмила Васильевна***

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
И ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ПОЧВ
ПОД ДРЕВЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ДЕНДРАРИЯ**

Монография

Редактор О.А. Самтынова
Технический редактор Н.С. Тяпина

Подписано в печать 24.05.2021 г. Формат 60*84/16
Бумага для множительных аппаратов. Печать ризографная.
Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. 7,4. Уч.-изд. л. 4,8.
Тираж 100 экз. Заказ № 9.

РИО Алтайского ГАУ
656049, г. Барнаул, пр. Красноармейский, 98,
тел. 203-299