

*На правах рукописи*

Гончаров Илья Александрович

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

Специальность 06.01.02 – мелиорация, рекультивация и охрана земель

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Барнаул 2015



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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

Закономерности формирования режима влажности почвы в значительной мере определяются ее гидрофизическими свойствами, которые, в свою очередь, зависят от гранулометрического состава, плотности, температуры, порозности, содержания органического вещества. Это предопределяет, с одной стороны, неоднородность почв по гидрофизическим параметрам, а с другой – большие практические возможности для моделирования и прогнозирования гидромелиоративных эффектов, различных агромероприятий и обоснования наиболее рациональных мелиоративных технологий.

Ягодное садоводство в Алтайском крае ведется в богарных условиях и на сегодняшний день отсутствуют сведения о процессах формирования гидрофизического состояния почв, как одного из основных факторов определяющих продуктивность культур. Поэтому комплексные исследования гидрофизических свойств и гидротермических режимов почв под ягодными культурами с целью обоснования необходимости проведения оросительных мелиораций весьма актуальны.

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

### **Задачи исследований:**

- 1) Изучить общие физические и физико-химические свойства исследуемых почв
- 2) Определить гидрофизические характеристики черноземов выщелоченных под многолетними ягодными насаждениями
- 3) Изучить сезонные режимы влажности генетических горизонтов черноземов выщелоченных в садах Алтайского Приобья в зависимости от культуры
- 4) Исследовать динамику коэффициента влагопроводности и капиллярного давления почвенной влаги в течение вегетационного периода для различных ягодных культур
- 5) Провести оценку продуктивности ягодных культур в зависимости от гидротермических условий среды.

**Объекты и методы исследований:** Объектами исследований являются черноземы выщелоченные сортоиспытательных участков НИИСС им. М. А. Лисавенко, расположенных в пригороде г. Барнаула, на левом берегу реки Оби Высокого Приобского плато. Образцы почвы анализировались стандартными в почвоведении и агрофизике методами. При обработке данных полевых и

лабораторных исследований использовалась статистическая обработка. Гидрофизические свойства почв определяли методом центрифугирования.

**Предмет исследований:** Гидрофизическое состояние черноземов под ягодными культурами.

**Научная новизна:** Впервые экспериментально определены гидрофизические свойства чернозема выщелоченного в условиях ягодного сада в условиях Алтайского Приобья. Установлены особенности формирования гидрофизического состояния генетических горизонтов почвенного профиля. Проведена оценка влияния ягодных культур на режим влажности в черноземе выщелоченном. Обоснована необходимость проведения оросительных мелиораций ягодных культур в условиях Алтайского Приобья.

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

**Достоверность полученных результатов:** Исследования проводились в соответствии с методикой полевого опыта, варианты опытов закладывались в 3-кратной повторности. Химические и физические анализы почвенных образцов выполнены согласно ГОСТов на современном поверенном оборудовании и приборах.

**Основные положения, представляемые к защите:**

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

– получены гидрофизические параметры ван Генухтена-Муалема, которые использованы в динамическом моделировании режима влажности черноземов под ягодными культурами

– выявлены особенности влияния культуры на режим влажности в течение вегетации

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

**Апробация работы и публикации:** Основные положения диссертации доложены на Международной научно-практической конференции, посвященной 126-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ «Вавиловские чтения» (Саратов, 2013); VII Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: инновации и опыт» (г. Екатеринбург, 2014); X Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству Алтая» (г. Барнаул, 2015 г.). Материалы диссертации опубликованы в 8 статьях, в том числе 4 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Объем публикаций составляет 2 п.л., в том числе доля автора 0,66 п.л.

**Личный вклад:** Полевые и лабораторные измерения гидротермических свойств почв и режимов проведены автором лично. Также автором проведена обработка исходной информации, подготовка исходных данных для

моделирования продуктивности ягодных культур. Проведены необходимые расчеты, обобщены итоговые результаты с оценкой достоверности полученных данных.

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

## 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Приводится краткое описание основных подходов, с помощью которых описывают движение влаги в почвах. Проанализирован опыт изучения гидрофизических свойств и режимов почв. Рассмотрены режимы орошения плодово-ягодных культур в различных природно-климатических условиях.

## 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись черноземы выщелоченные сортоиспытательных участков НИИ садоводства им. М. А. Лисавенко, расположенных в пригороде г. Барнаула, на левом берегу реки Оби Высокого Приобского плато в подзоне черноземов обыкновенных умеренно-засушливой колючей степи. Согласно почвенно-географическому районированию Алтайского края в данной подзоне выделяется несколько почвенных районов различающихся определенными сочетаниями и комплексами почв.

В полевой период проведено изучение почв методом заложения почвенно-геоморфологического профиля, измерение температуры и влажности почвы под облепихой и жимолостью в течение вегетационного периода.

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

Определение гидрофизических функций, основной гидрофизической характеристики (ОГХ) и функции влагопроводности (ФВ), проведено методом равновесного центрифугирования (Смагин и др., 1998, 1999, 2003), при использовании лабораторной центрифуги *TG16WS* с максимальной частотой вращения 12000 оборотов в минуту. Образец насыщался водой до полной влагоемкости, устанавливался на поверхность крупнопористой подкладки и центрифугировался, начиная с малых оборотов. Остаточная влажность в образцах оценивалась взвешиванием, на электронных аналитических весах *Pioneer PA64*. Общее число анализируемых одновременно образцов соответствует емкости ротора и не превышает 12 для используемой центрифуги.

Среднедекадная температура почвы измерялась на глубинах 20 и 50 см от поверхности почвы с интервалами времени согласно Руководству по

градиентным наблюдениям. Влажность почвы определена термостатно-весовым способом подекадно на глубине 1,0 м через 10 см в трехкратной повторности.

При расчете зависимости продуктивности растения от факторов внешней среды использована модель В.В. Шабанова (2003). Статистическая обработка полученных данных проведена по Б.А. Доспехову (1985) и Е.А. Дмитриеву (2009) с помощью программного пакета *Excel*.

### **3. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

В главе рассмотрены климатические особенности района исследований, внесшие определенные различия в рост и развитие ягодных культур, а также существенно отразившихся на процессах аккумуляции и распространения тепла и влаги в почве. Также рассмотрены биологические особенности облепихи и жимолости, имеющие широкое распространение в садах Алтая и Сибири.

### **4. ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ САДА**

Исследуемая почва: чернозем выщелоченный среднесуглинистый малогумусный среднесуглинистый. Содержание глинистых частиц в верхнем горизонте составляет 39%, песчаной фракции 23%. Довольно значительна доля крупной пыли (37%), что говорит о преобладании данной фракции над остальными. Это связано с тем, что почвообразующие породы представлены лессовидными суглинками, для которых характерно высокое содержание данной фракции. Максимальное ее количество отмечается в горизонте *B* (44%), что определяет слабую водопроницаемость чернозема на опытном участке. Почвообразующая порода несколько отличается от других почвенных горизонтов и относится к тяжелосуглинистой по гранулометрическому составу, в основном за счет меньшего содержания фракции мелкого песка и повышенного – мелкой пыли.

Результаты микроагрегатного анализа показали высокую степень агрегирования изучаемого чернозема выщелоченного. Так, основная доля представлена наиболее ценными в агрономическом отношении микроагрегатами, при этом большее содержание зафиксировано для размеров 0,05-0,01 мм. С глубиной наблюдается перераспределение этих фракций, так в горизонте *AB* отмечено увеличение фракций 0,05-0,01 мм в сравнение с пахотным горизонтом. Количество менее ценных частиц в черноземах незначительно (от 4 до 8 %) и они представлены размером 0,010-0,001 мм.

Величина фактора дисперсности (по Н.А. Качинскому) в гумусовом горизонте чернозема выщелоченного составляет 6-8 %, что указывает на его высокую микрооструктуренность, в то время как горизонт *C<sub>к</sub>* менее агрегирован (микроструктура менее прочная), при этом коэффициент дисперсности достигает 10 %.

Плотность сложения чернозема с глубиной постепенно возрастает с 1 г/см<sup>3</sup> в пахотном горизонте до 1,4 г/см<sup>3</sup> в почвообразующей породе (рис.1А). По содержанию гумуса в верхнем гумусо-аккумулятивном горизонте

исследуемый чернозем относится к малогумусным. Гумусовый горизонт (A+AB) простирается до глубины 50 см. Содержание гумуса в гумусо-аккумулятивном горизонте находится в пределах 5%, затем убывает до 1,9% в иллювиальном горизонте, с дальнейшим уменьшением до 0,6% (рис.1Б).

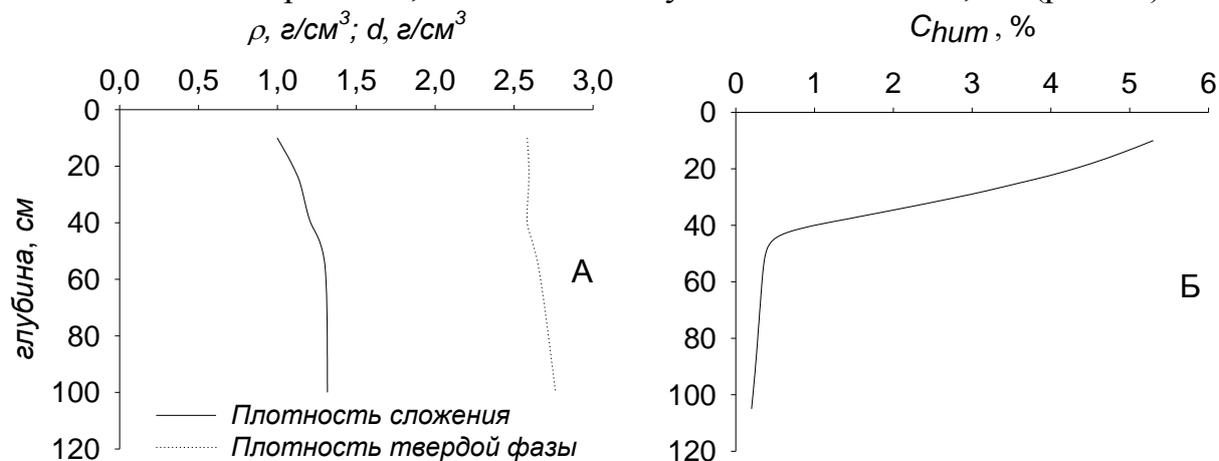


Рисунок 1 - Профильное распределение плотности сложения и плотности твердой фазы (А), а также содержания гумуса (Б) в черноземе выщелоченном.

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

В данной работе определены ветви иссушения гистерезисной петли ОГХ, т.к. в естественных условиях в почвах обычно быстро протекающий процесс их увлажнения (при осадках или поливах) сменяется сравнительно длинным периодом иссушения (Воронин, 1986). Рисунок 2 позволяет провести сравнение гидрофизических свойств отдельных почвенных горизонтов. Полученные экспериментальные ОГХ (кривые водоудерживания)  $P(\text{кПа}) = f(\theta)$  для основных диагностических горизонтов чернозема выщелоченного под ягодными культурами в условиях Алтайского Приобья аппроксимированы функцией ван-Генухтена (сплошная линия) и представлены в полулогарифмическом масштабе (рис.2). Аппроксимация проведена в программном пакете RETC (van Genuchten et al., 1991).

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

совокупности с изменением содержания гранулометрических фракций по профилю.

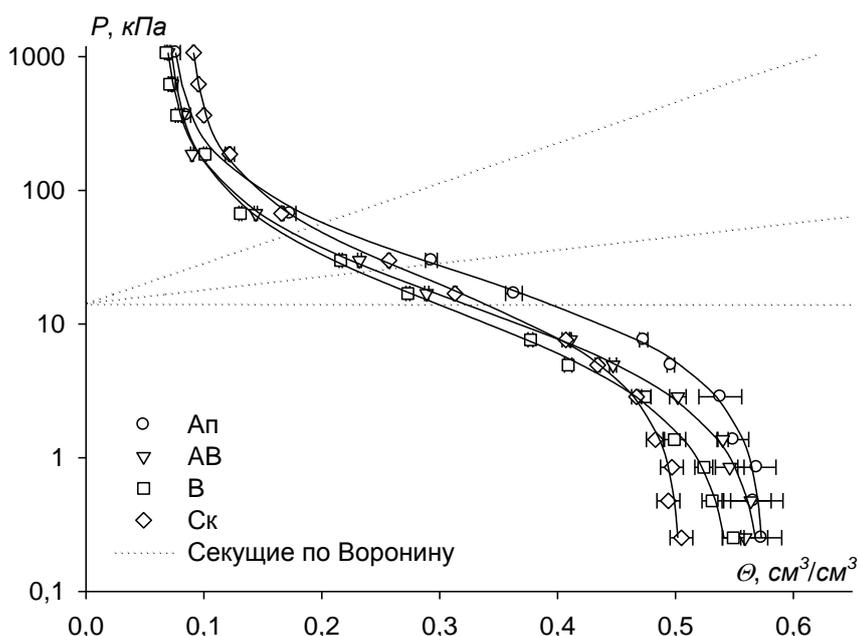


Рисунок 2 - Основная гидрофизическая характеристика чернозема выщелоченного под ягодными культурами.

На рисунке видно, что максимальная водоудерживающая способность характерна для верхнего горизонта, а его кривая водоудерживания в области капиллярной и пленочно-капиллярной влаги расположена на некотором расстоянии от переходного к иллювиальному горизонту. Однако в области гравитационной влаги кривые водоудерживания горизонтов  $A_n$  и  $AB$  расположены достаточно близко и имеют практически одинаковые значения давления почвенной влаги. Анализ данного факта позволяет сделать практически важный вывод о физической деградации пахотного горизонта междурядий в условиях сада. Вниз по профилю почвы кривые ОГХ, кроме ОГХ гор.  $C_k$ , смещаются в сторону меньших влажностей, не пересекаясь друг с другом вплоть до перехода пленочно-капиллярной малоподвижной влаги в пленочную. В целом кривые водоудерживания чернозема выщелоченного в условиях ягодного сада имеют выраженную S-образность с дифференциацией по профилю вплоть до верхнего предела иссушения (1000  $кПа$ ) с перегибом в области давления барботирования, имеющей довольно широкий диапазон (1-10  $кПа$ ) по сравнению с более легкими почвами Алтайского края (Болотов с соавт., 2014).

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

гидрологической константе – наименьшей влагоемкости; максимальной молекулярной влагоемкости (ММВ, нижний предел пластичности)  $P_{ММВ}$ , соответствующей влажности разрыва капиллярной связи значения которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Критические состояния влаги чернозема выщелоченного под ягодными культурами

Гор	КВ		МКСВ		ММВ	
	$P_{КВ}, \text{кПа}$	$\theta_{КВ}, \text{см}^3/\text{см}^3$	$P_{МКСВ}, \text{кПа}$	$\theta_{МКСВ}, \text{см}^3/\text{см}^3$	$P_{ММВ}, \text{кПа}$	$\theta_{ММВ}, \text{см}^3/\text{см}^3$
$A_n$	14,7	0,393	29,3	0,288	57,5	0,198
$AB$	14,7	0,338	26,8	0,265	54,3	0,190
$B$	14,7	0,322	25,8	0,244	48,5	0,174
$C_K$	14,7	0,297	24,7	0,231	46,6	0,168

Максимальные значения критических состояний влаги чернозема выщелоченного свойственны гор.  $A_n$  и  $AB$ , далее по профилю эти значения уменьшаются.

Аппроксимационные параметры ван Генухтена ( $\theta_r$  – остаточная влажность,  $\theta_s$  – влажность насыщения,  $\alpha$  – величина, обратная давлению входа воздуха,  $n$  – индекс распределения пор по размерам,  $K_s$  – коэффициент фильтрации) чернозема выщелоченного под ягодными насаждениями приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Гидрофизические параметры ван Генухтена чернозема выщелоченного под ягодными насаждениями.

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

Полученные гидрофизические функции использованы в динамическом моделировании режима влажности черноземов под ягодными культурами, а также в аналитических расчетах при обосновании необходимости проведения оросительных мелиораций.

## 5. ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД ЯГОДНЫМИ КУЛЬТУРАМИ

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

Наблюдения за динамикой влаги в период с 2012 по 2014 годы нами проводились в НИИСС им. М. А. Лисавенко на вариантах: жимолость, облепиха и пар. Подекадно измерялось массовое содержание влаги с пересчетом в % от наименьшей влагоемкости.

В пахотном слое происходит наиболее интенсивный тепловлагообмен, что зачастую приводит к его иссушению. Это может привести к угнетению растений и снижению их продуктивности. Лето 2012 г. было аномально жарким и сухим, ему предшествовали малоснежная зима и с малопродуктивными осадками весна. Поэтому в апреле-мае данного года весеннее влагосодержание в толще чернозема оказалось незначительным и составило 40-60% от  $HВ$  под различными культурами. Как показали исследования, влажность верхнего горизонта не превышала оптимальный уровень увлажнения, соответствующий  $0,7HВ$  в течение всего периода вегетации 2012 года, несмотря на ливневые дожди в июле. В первой половине вегетации в наибольшей степени была подвержена иссушению парующая почва, что связано с особенностями снегонакопления в зимний период 2011-12гг., когда на открытых участках, продуваемых ветрами, высота снежного покрова была незначительна. В гор.  $АВ$  нехватка влаги наблюдалась под облепихой, а во второй половине вегетации и под жимолостью, когда влажность в почве в отдельные периоды составляла всего 25-30% от наименьшей влагоемкости. Гидротермические условия в период созревания жимолости существенно влияют на вкусовые качества и химический состав плодов. Так созревание, происходящее в сухую жаркую погоду, ухудшает вкусовые достоинства жимолости, что выражается в появлении в ней горечи. В иллювиальном горизонте только в пару содержание влаги превышало оптимальный уровень увлажнения и составляло в весенний период вегетации 80-100% от  $HВ$ . Под ягодными культурами практически на протяжении всего вегетационного периода, за исключением весны, наблюдался дефицит влаги, особенно под жимолостью (около 30% от  $HВ$  в конце июня). В засушливый 2012 год растения активно потребляли влагу из этого горизонта, в то время как в пару, выполняющую влагоаккумулирующую роль, происходило сохранение и перераспределение капиллярной влаги из других почвенных горизонтов. В почвообразующей породе также во второй половине вегетации влагосодержание стало ниже уровня  $0,7HВ$  и достигало 50% от наименьшей влагоемкости.

В 2013 году на момент начала вегетации в почве было накоплено значительное количество влаги за счет обильного выпадения твердых осадков в зимний период 2012-13гг. В итоге было накоплено снега в 2,5-3 раза больше среднемноголетней нормы, а высота снежного покрова равнялась 60 см, достигая 1 метра под кустарниковыми насаждениями. Содержание влаги в гумусово-аккумулятивном горизонте ( $A_n+AB$ ) под ягодными культурами превышало оптимальный уровень увлажнения и достигало 110-140% от наименьшей влагоемкости на момент начала вегетации. Однако уже на момент цветения и завязи плодов влагосодержание в гор.  $A_n$  было ниже уровня  $0,7HВ$  (30%  $HВ$ ), а в гор.  $АВ$  соответствовало ему. В течение всего вегетационного

периода 2013 г., влагосодержание иллювиального горизонта на всех вариантах было выше оптимального уровня увлажнения (80-100% *НВ*), однако под жимолостью в июне-июле отмечен незначительный дефицит влаги. В почвообразующей породе недостаток влаги наблюдался во второй период вегетации только под жимолостью. Несмотря на то, что гор.С напрямую не участвует в питании влагой корней ягодных культур, он является важным влагоаккумулирующим слоем, капиллярно подпитывающим вышележащие почвенные горизонты, участвующие во влагообмене.

В апреле 2014 года влажность в пахотном горизонте была несколько выше оптимальной, с некоторым снижением её на момент начала вегетации. Несмотря на незначительные весенние влагозапасы влажность в этом слое в течение весны была оптимальной за счет майских осадков, превысивших среднегодовую норму на 11 мм. Но, несмотря на увеличенные значения осадков в июле, превысившие среднегодовую норму на 44 мм влагосодержание в гор.  $A_n$  под всеми культурами летом было очень низким (до 20% от *НВ*). В переходном к иллювиальному горизонту недостаток влаги был отмечен во второй половине вегетации под жимолостью и облепихой. В иллювиальном горизонте и почвообразующей породе динамика влагонакопления была практически одинакова.

Таким образом, погодные условия в годы проведения исследований внесли определенные различия в рост и развитие ягодных культур, а также существенно отразились на процессах аккумуляции и распространения влаги в почве. В острозасушливые годы больше всего ощущалась нехватка почвенной влаги под жимолостью, а во влажные практически одинаковое влагосодержание почвы под жимолостью и облепихой.

Изучение динамики коэффициента влагопроводности почвенного профиля в естественных условиях под ягодными культурами необходимо для оценки воздействия той или иной культуры на влагоперенос в почве. Поэтому, с апреля 2012 года нами проводились исследования по выявлению особенностей сезонной динамики коэффициента влагопроводности генетических горизонтов выщелоченного чернозема в НИИСС им. М.А. Лисавенко под различными ягодными культурами. Коэффициент влагопроводности получали из функции влагопроводности для определенной влажности почвы.

Так в течение вегетационного периода 2012 г. значения коэффициента влагопроводности чернозема под ягодными культурами находились в диапазоне 0,1-1 см/сут. В мае-июне иссушение почвы, не занятой растительностью, привело к снижению коэффициента влагопроводности к экстремально низким значениям (до  $10^{-5}$  см/сут), при этом капиллярный водоток полностью отсутствовал, и влага находилась преимущественно в виде пленок. В горизонтах *AB*, *B* и  $C_k$  значения коэффициента влагопроводности в течение первой половины вегетационного периода находились в диапазоне 1-10 см/сут, что обеспечивало снабжение культур легкодоступной влагой. Дальнейшее снижение коэффициента влагопроводности указывает на то, что даже при возможных поливах или атмосферных осадках сухая почва будет

проводить воду хуже, чем влажная, т.к. влагопроводность сухой почвы ниже влажной.

В 2013 году в горизонтах  $A_n$ ,  $AB$  и  $B$  на момент возобновления вегетации значения коэффициента влагопроводности превышали 10 см/сут на всех вариантах, кроме пара, и на протяжении всего вегетационного периода оставались диапазоне 1-10 см/сут. Исключение составил пахотный горизонт, где происходило снижение коэффициента влагопроводности ниже 1 см/сут. В почвообразующей породе во втором периоде вегетации наиболее низкие значения коэффициента влагопроводности отмечены также под жимолостью.

В пахотном горизонте в конце июня 2014г. снижение влажности почвы с 60 до 20% от  $HV$  привело к резкому снижению коэффициента влагопроводности на несколько порядков под жимолостью и облепихой (до  $10^2$ – $10^4$  см/сут), а под паром до  $10^5$  см/сут. При таком снижении коэффициента влагопроводности капиллярный водоток полностью отсутствует и снабжение растения влагой корнями в данном горизонте прекращается. В июне в переходном горизонте коэффициент влагопроводности снижался ниже 0,1 см/сут под облепихой, что связано с меньшими значениями влажности под этой культурой на начало вегетации, чем под жимолостью, а весенне-летние осадки не смогли восполнить необходимый влагозапас. В иллювиальном горизонте и подстиляющей породе динамика коэффициентов влагопроводности в 2014 году под различными культурами была сходной. В первой половине вегетации значения влагопроводности обеспечивали оптимальный режим увлажнения на всех вариантах, а во второй только в пару.

В результате анализа проведенных исследований можно отметить, что динамика коэффициента влагопроводности генетических горизонтов чернозема в большой степени зависит от сезонной динамики их влажности, при этом отмечаются различия во влиянии той или иной культуры.

Поскольку водообеспеченность растений, в конечном счете, зависит от давления влаги в почве, то становится актуальным вопрос об изучении динамики давления почвенной влаги в течение вегетационного периода под различными ягодными культурами в условиях сада. Для этого можно использовать не полное давление влаги, а капиллярно-сорбционное, так как именно от него зависят влагопроводность почвы и подток влаги к корням.

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

Рассмотрим особенности сезонной динамики капиллярно-сорбционного давления влаги в черноземе под ягодными культурами в течение вегетации

2012-2014гг. Капиллярно-сорбционное давление влаги получали из основной гидрофизической характеристики для определенной влажности почвы.  $P_{кр}$  определили как среднее из диапазона 30-60  $кПа$  по Е.В. Шеину (2005).

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

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

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

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

## **6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ СРЕДЫ**

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

Для установления зависимости продуктивности растения от факторов внешней среды нами использована модель В.В. Шабанова (2003). Расчет проведен для всего периода вегетации облепихи и жимолости, при использовании следующих входных данных: среднемноголетние значения температуры почвы ( $t$ ) на глубине 20  $см$ , ( $^{\circ}C$ ); среднеквадратические отклонения значений температуры почвы ( $\sigma_t$ ), ( $^{\circ}C$ ); среднемноголетние значения продуктивных влагозапасов ( $W$ ) в слое почвы 0-100  $см$ , ( $мм$ ); среднеквадратические отклонения значений продуктивных влагозапасов ( $\sigma_w$ ), ( $мм$ ); водно-физические свойства почвы. Значения  $t$ ,  $\sigma_t$ ,  $W$ ,  $\sigma_w$  для вегетационного периода рассчитаны на основе подекадных инструментальных значений влажности и температуры почвы в условиях ягодного сада в условиях Алтайского Приобья за 2012-2014 гг.

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

Проанализируем зависимость средней продуктивности облепихи и жимолости при изменении температуры и влажности чернозема выщелоченного (рис.3). Результаты представлены в трехмерном виде.

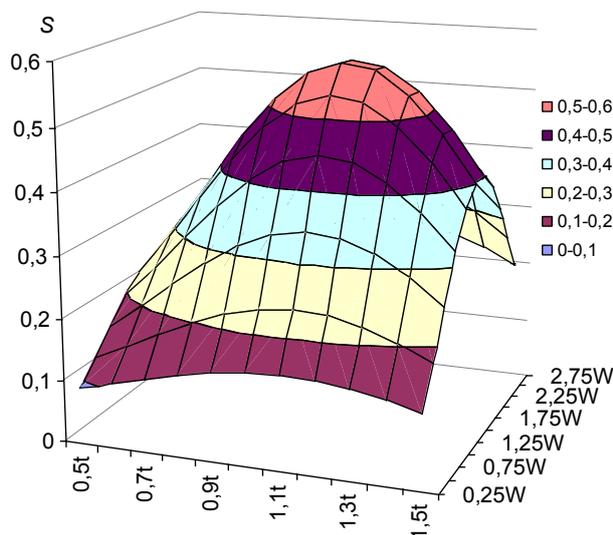


Рисунок 3 - Зависимость средней продуктивности облепихи при изменении температуры и влажности почвы в естественных условиях

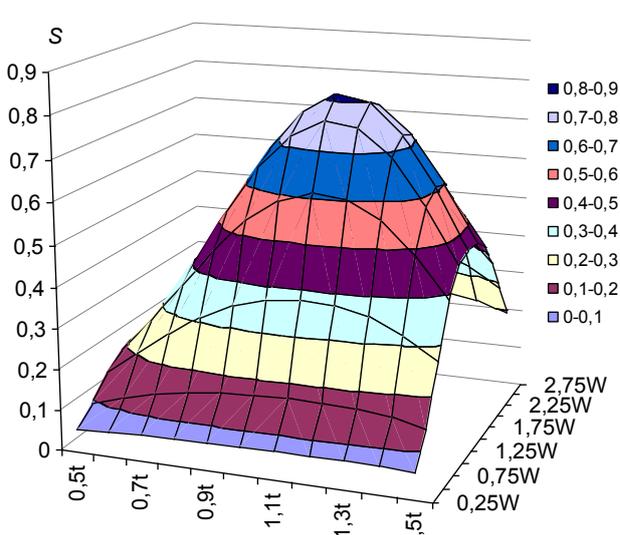


Рисунок 4 - Зависимость средней продуктивности облепихи при изменении температуры и влажности почвы при мелиоративном воздействии,  $\sigma_w = 0,2W_{opt}$ ,  $\sigma_t = 0,2t_{opt}$

На рисунке 3 видно, что средняя за 3 года продуктивность облепихи в естественных условиях Алтайского Приобья составляет около 45% от максимально возможной. В данном случае лимитирующим фактором продуктивности облепихи являются продуктивные влагозапасы, а среднеголетние температуры почвы оптимальны. При увеличении продуктивных запасов в черноземе на 50% продуктивность облепихи увеличится до 50-60% от максимальной, что не совсем достаточно для полного использования облепиховых культур в условиях Алтайского Приобья. Поэтому нами были проведены дополнительное вычислительное моделирование продуктивности облепихи при уменьшении среднеквадратических отклонений

продуктивных влагозапасов и температур почвы, что является одной из задач орошения – поддержания постоянного влагосодержания в почве.

Для этого провели дополнительный вычислительный эксперимент с уменьшением среднеквадратичного отклонения колебания влажности почвы ( $\sigma_w$ ) относительно  $W_{opt}$  до величины  $\pm 20\%$ , что соответствует крайним значениям влагозапасов диапазона легкодоступной влаги относительно  $W_{opt}$ . При регулировании водного режима данный подход позволит повысить урожайность культуры, т.к. растение будет подвержено водному стрессу в меньшей мере, чем при значительных (естественных) величинах  $\sigma_w$ , что позволит выработать практические рекомендации регулирования гидротермического режима под ягодными насаждениями в данной почвенно-климатической зоне. Рассмотрим изменение относительной продуктивности облепихи в условиях Алтайского Приобья при  $\sigma_w = \sigma_t = \pm 20\%$  от  $W_{opt}$  и  $t_{opt}$ . (рис.4)

На рисунке 4 видно, что при мелиоративном воздействии на посадки облепихи путем уменьшения колебаний температуры почвы и содержания почвенной влаги ( $\sigma_w = 0,2W_{opt}$ ,  $\sigma_t = 0,2t_{opt}$ ) возможно увеличение относительной продуктивности данной культуры до величины 0,8. При этом абсолютные значения продуктивных влагозапасов должны быть увеличены на 50%, а значения почвенных температур на 10%. Также видно, что выращивание облепихи в условиях Алтайского Приобья возможно без привлечения дополнительной оросительной воды. Для этого нужно предусмотреть равномерное распределение атмосферной влаги в течение вегетационного периода с отклонением величин продуктивных влагозапасов от оптимального  $W_{opt}$  не более  $\pm 20\%$ . При этом продуктивность облепихи будет составлять 60% от максимально возможной. Мероприятия по накоплению и распределению влаги в условиях сада были разработаны и подробно изучены С.Н Хабаровым (1991, 1999, 2009).

Для жимолости наблюдается несколько иной вид зависимости продуктивности от гидротермических факторов, чем для облепихи (рис.5). Изометрическая плоскость продуктивных влагозапасов представляет собой несимметричную плоскость с отсутствующим максимумом, что говорит о не полностью раскрытом потенциале увеличения влагозапасов в рассматриваемом диапазоне их изменения.

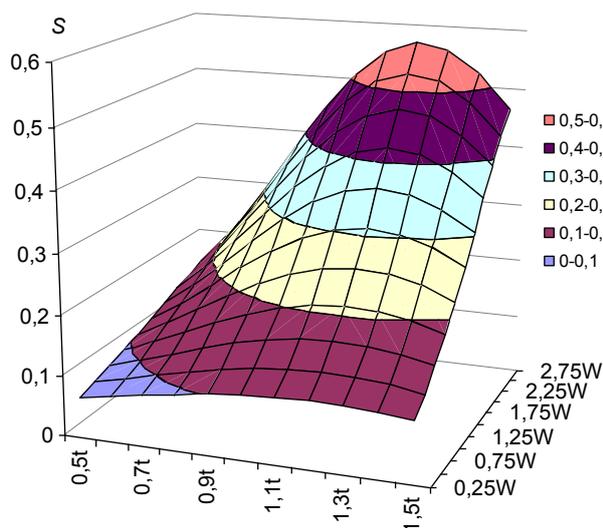


Рисунок 5 - Зависимость средней продуктивности жимолости при изменении температуры и влажности почвы в естественных условиях

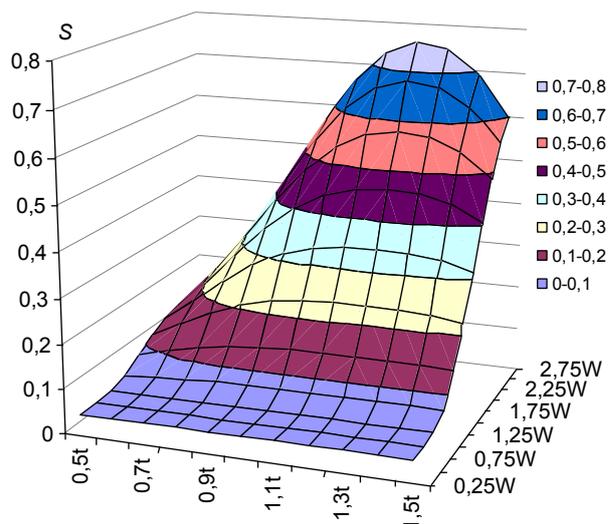


Рисунок 6 - Зависимость средней продуктивности жимолости при изменении температуры и влажности почвы при мелиоративном воздействии,  $\sigma_w = 0,2W_{opt}$ ,  $\sigma_t = 0,2t_{opt}$

В естественных климатических условиях Алтайского Приобья относительная продуктивность жимолости составляет 10-20% от максимально возможной. При увеличении продуктивных запасов в метровом слое почвы в 2,8 раза и температуры почвы в 1,2 раза продуктивность жимолости увеличится до 55% от максимальной. Уменьшение диапазона колебаний при одновременном увеличении абсолютных значений гидротермических факторов до величин не более  $\pm 20\%$  от  $W_{opt}$  также как и для облепихи позволит значительно повысить продуктивность (рис.6).

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

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

## ВЫВОДЫ

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

2. В целом кривые водоудерживания чернозема выщелоченного в условиях ягодного сада имеют выраженную S-образность с дифференциацией по профилю вплоть до верхнего предела иссушения с перегибом в области

давления барботирования, имеющей довольно широкий диапазон по сравнению с более легкими почвами Алтайского края.

3. Максимальные значения критических состояний влаги чернозема выщелоченного свойственны гор.  $A_n$  и  $AB$ , далее по профилю они уменьшаются.

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

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

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

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

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

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

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

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

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

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ:*

1. Макарычев С.В., Болотов А.Г., Гефке И.В., **Гончаров И.А.**, Гончаров Н.А. Основная гидрофизическая характеристика черноземов выщелоченных Алтайского Приобья в условиях сада // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 12. – С. 35-39.
2. Болотов А.Г., Дубский С.Н., Шаталов А.Н., Шаталов А.Н., Бутырин И.Н., Кузнецов Е.Н., **Гончаров И.А.**, Гончаров Н.А. Моделирование основной гидрофизической характеристики черноземов Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2. – С. 31-35.
3. Болотов А.Г., Гончаров Н.А., **Гончаров И.А.** Функции влагопроводности черноземов выщелоченных Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4. – С. 30-34.
4. Макарычев С.В., Болотов А.Г., **Гончаров И.А.** Сезонная динамика коэффициента влагопроводности чернозема выщелоченного в садах Алтайского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5. – С. 47-52.

### *Публикации в других изданиях:*

5. Гефке И.В., **Гончаров И.А.** Влагозапасы чернозема в садах лесостепной зоны Алтайского края // Вавиловские чтения – 2013: сб. стат. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 126-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова и 100-летию Саратовского ГАУ. – Саратов, Буква, 2013. – С. 227-228.
6. Болотов А.Г., Шаталов А.Н., Бутырин И.Н., **Гончаров И.А.**, Гончаров Н.А. Моделирование режима влажности почв // Современные научные исследования: инновации и опыт: сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф. (27-30 декабря 2014 г.): – Екатеринбург: Изд-во «Наука и образование», 2014. – С. 20-22.
7. **Гончаров И.А.** Гидрофизические функции черноземов Алтайского Приобья в условиях сада // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. статей X Междунар. науч.-практ. конф. (4-5 февраля 2015 г.): в 3 кн. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2015. – Кн. 2. – С. 357-358.
8. Болотов А.Г., Гончаров Н.А., **Гончаров И.А.** Водоудерживающая способность чернозема выщелоченного под ягодными насаждениями в условиях Алтайского Приобья // Инновационная наука. – Уфа: ООО «Аэтерна», 2015. – № 6. – С. 100-101.