

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»

На правах рукописи

ДАНИЛОВА ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА

**ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ
УВЕЛИЧЕНИЯ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ И
ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОСЕВОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
КУЛЬТУР**

Специальность 4.1.5 – мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Научный консультант:
доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН
Усков И.Б.

Санкт-Петербург

2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛИ.....	15
1.1. История исследований по структурообразованию почв, современное состояние и перспективы применения гидрогелей в земледелии, растениеводстве и мелиорации	15
1.2. Основы теории «конструирования» полимеров	21
1.3. Физико-химические свойства водопоглощающих полимеров	24
1.4. Физико-механические свойства гидрогелей	27
1.5. Устойчивость гидрогелей к изменчивости внешних условий по температурному и влажностному режимам	29
1.6. Влияние внешних нагрузок (глубина закладки, давление и др.) на динамику водоудерживания, набухания и водоотдачи	31
1.7. Влияние минерализации поливных, грунтовых вод и почвенных растворов на водопоглощение полимеров	35
1.8. Основные методы производства полимерных гидрогелей	38
ГЛАВА 2. ПОЧВЕННО – КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ	41
2.1. Аридная и полуаридная климатические зоны	43
2.2. Зона избыточного увлажнения	46
2.3. Зона неустойчивого увлажнения	47
2.4. Основные типы и виды почв для применения агротехнологий внесения полимерных гелей	58
2.5. Агроклиматические ресурсы Северо-Западной зоны РФ	66
2.5.1. Природно - климатические условия в годы проведения исследований (Меньковский филиал ФГБНУ АФИ)	71
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	83
3.1. Почвы и их агрохимическая характеристика	84
3.2. Гидрогели и их свойства	87

3.3. Характеристики сортов культур севооборота	89
3.4. Методы лабораторных исследований	96
3.4.1. Определение водоудерживающей способности почв при внесении гидрогелей	96
3.4.2. Методика моделирования водоудерживающего экрана гидрогеля в почвенных растворах различной минерализации	97
3.4.3 Методика определения трансформации ионов Na ⁺ и K ⁺ в дерново-подзолистой супесчаной почве, мелиорированной гидрогелями	98
3.4.4. Методы определения микробиологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей калиевого и натриевого типов.....	98
3.4.5. Методика исследования воздействия полимерных гелей на развитие корневых систем зерновых культур в условиях ризотрона	100
3.5. Методики проведения полевых и вегетационных исследований	101
3.5.1. Методика проведения полевых исследований	101
3.5.2. Методика проведения вегетационных исследований «засушник» ...	104
3.6. Оценка влияния гидрогеля на водообеспечение сельскохозяйственных культур по методике FAO - 56	106
ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ	113
4.1. Водоудерживающая способность почв легкого гранулометрического состава под действием полимерных гелей	113
4.2. Зависимость водопоглощающей способности полимеров от концентрации и состава растворов солей	122
4.2.1. Влияние типов засоления и циклов «замораживания-оттаивания» на физические характеристики водоудерживающих экранов гидрогелей	133
4.3. Корреляция динамики физических свойств гидрогелей и физических и физико-химических свойств почв	137
4.4. Динамика трансформации ионов натрия и калия в дерново-подзолистой	

супесчаной почве, мелиорированной гидрогелями	144
4.5. Гидрофизические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении водопоглощающих гидрогелей	149
4.5.1. Динамика изменения влажности дерново-подзолистой супесчаной почвы в полевом севообороте	149
4.5.2. Динамика изменения плотности дерново-подзолистой супесчаной почвы в полевом севообороте	155
4.6. Влияние водопоглощающих полимеров разной химической структурной основы на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы	157
4.7. Влияние гидрогелей на гидрофизические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы в полевых условиях и в условиях модельной почвенной засухи («засушник»)	166
4.8. Влияние гидрогелей на биологическую активность почвы в полевых условиях и в условиях модельной почвенной засухи («засушник»)	172
ГЛАВА 5. РОСТ И РАЗВИТИЕ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕЛЕЙ	184
5.1. Исследование воздействия гидрогелей на развитие корней в условиях миниризотрона	184
5.2. Изучение действия полимерных гелей на развитие корневых систем в автоматизированной вегетационной светоустановке - ризотроне	188
5.3. Развитие корневых систем растений под действием гидрогелей в полевых условиях	193
5.4. Исследование действия полимерных гелей на развитие корневой системы зерновых культур в условиях модельной почвенной засухи	198
ГЛАВА 6. РОСТ, РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ГИДРОГЕЛЕЙ	202
6.1. Воздействие геля на водообеспечение яровой пшеницы в зависимости	

от способа внесения	202
6.2. Водообеспечение яровой пшеницы под действием геля на фоне азотных удобрений	211
6.3. Урожайность овощных и пропашных культур под действием полимерных гелей	218
6.4. Оценка доступности для растений влаги, удержанной гидрогелем в период вегетации и относительные показатели эффективности применения гидрогеля в полевом севообороте	224
6.5. Продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях модельной почвенной засухи «засушник» при использовании гидрогелей	259
ГЛАВА 7. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ В ЗВЕНЕ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА	287
7.1. Агрономическая эффективность применения гидрогелей	287
7.2. Экономическая эффективность применения гидрогелей	289
7.3. Энергетическая эффективность применения гидрогелей	298
ГЛАВА 8. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ	302
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	306
ВЫВОДЫ	307
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	312
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК	313
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	314
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	316
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	317
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	318
ПРИЛОЖЕНИЯ	345

ВВЕДЕНИЕ

Одно из первых мест среди «экологического кризиса в современном мире занимает проблема происходящих и прогнозируемых в будущем изменений климата Земли» (Усков, Усков, 2014, с.7). Глобальные изменения климата происходят «за счет планетарного развития Земли, влияния солнечных факторов и антропогенного воздействия на функционирование геосистем на местном, региональном и глобальном уровнях» (Усков, Усков, 2014, с.7). По мнению Ускова И.Б и Ускова А.О. (2014, с.27), «на продуктивность посевов и функционирование системы «почва-посев-деятельный слой атмосферы» в изменяющихся климатических условиях влияют тепло- и влагообеспеченность».

В последние годы в связи с резкими изменениями климата все большее значение приобретают экспрессные методы регулирования гидрофизических свойств почв и создание полимерных материалов, позволяющих технологически их реализовывать (Данилова, 2007). Гидрофизические свойства легких почв и песка не всегда оптимальны для роста и развития растений и поэтому очень часто становятся фактором, влияющим на урожайность в засушливых районах с недостаточным увлажнением. Для улучшения агрофизических свойств этих почв предлагается использовать гидрогели (Агафонов, Катичева, 1991). Водопоглощающие полимерные гели, относятся к числу перспективных агрохимических средств для управления водно-минеральным балансом почв (Кротов, 1996). Улучшение физического состояния почв с применением полимерных материалов является одной из определяющих задач физики почв и мелиорации.

Гидрогель «представляет собой сшитый полиакриламидный сополимер, который не растворяется в воде и специально разработан для увеличения влаги в почве» (Данилова, 2020, с.18). Гранулы полимерных гелей быстро набухают в присутствии воды, при этом количество содержащейся в них воды и питательных веществ сохраняется в сотни раз (Данилова и др., 2018). Способность образовывать гели свойственна длинноцепным полимерам, у которых

разветвленные молекулы сшиты в определенных местах. Всасывание воды в молекулу полимера происходит в результате осмоса. Влага удерживается в молекуле полимера за счет быстрой миграции. После высыхания полимер может отдать в почву до 95% поглощенной им воды. Под действием полимерного геля происходит улучшение агрофизических свойств почвы, основанное на том, что насыщенные влагой полимерные гранулы окружаются отдельными почвенными фракциями, слипаются с ними и становятся более инертными. Наличие прочных связей между агрегатами способствует тому, что новообразованные элементы становятся прочнее, тяжелее и более устойчивы к сильным ветрам и агрессивным водным течениям (Данилова и др., 2018, Данилова, 2020).

Весьма перспективно использование гидрогелей в качестве влагопоглотителей для повышения влагоемкости песчаных почв, а также в качестве вспомогательного средства в некоторых перспективных агротехнологиях — покрытии семян гидрофильной оболочкой, «жидкостном» посеве проросших семян, гидропонике и др (Казанский, 1990). Полимерные гели могут применяться в нефтяной промышленности - для повышения нефтеотдачи пластов, буровых растворов, электронике (датчики, сенсоры) и др. С помощью полимерных гидрогелей решаются многие экологические проблемы, связанные с очисткой промышленных сточных вод (при использовании гидрогелей в качестве сорбентов) до реабилитации зон экологических катастроф, а также в сельском хозяйстве - до регулирования водного режима почв в аридных зонах или зонах рискованного земледелия. При этом используется способность гелей накапливать в своем объеме колоссальные объемы воды. Такие сильно набухающие гели сорбируют талую или дождевую воду, а при засухе они медленно десорбируют влагу (т. е. используют конденсат внутрипочвенного водяного пара), питая растения (Данилова, Табынбаева, 2022).

Актуальность исследования

Управление физическими свойствами корнеобитаемого слоя почв с использованием химических и физико-химических средств является одной из

определяющих задач физики почв (Колясев, Вершинин, 1935; Колясев, Мельникова, 1949; Вершинин, Константинова, 1935; Вершинин, 1958). Улучшение гидрофизического состояния почв использованием синтетических полимерных материалов является эффективным инновационным приемом удержания почвенной влаги и мелиорации водного режима сельскохозяйственных полей. «Актуальность исследования обусловлена тем, что в наблюдаемых условиях современных и прогнозируемых изменений климата» (Данилова, 2021, с.8) в ряде регионов РФ уменьшается количество атмосферных осадков (Национальный доклад, 2021) и как следствие ухудшается водообеспеченность сельскохозяйственных культур, поэтому использование влагонасыщаемых полимерных гелей, способных продлевать благоприятные условия жизнедеятельности растений в период вегетации, является перспективным средством превентивного управления водообеспеченностью и рисками продуктивности по фактору засух.

Применение водопоглощающих полимерных гелей – «один из инновационных нетрадиционных подходов в современных агротехнологиях» (Данилова, Табынбаева, 2019, с.76). В перспективе влагопоглощающие полимеры могут способствовать «повышению устойчивости земледелия и растениеводства, стать основой для разработки новых влагосберегающих технологий» (Данилова, Оленченко, 2016, с. 22), более рационального использования минеральных удобрений и средств защиты растений, а также для значительного повышения экологической чистоты сельскохозяйственного производства.

С экономической точки зрения эффективность применения полимерных гелей может быть получена от внесения «минимального количества влагоабсорбента, в зависимости от типа и вида почвы, прогнозируемыми климатическими изменениями, видом сельскохозяйственной культуры, стоимости полимера и технологии его внесения, и цены от реализации производимого продукта» (Данилова, 2013, с.39; Гидрогель – Труды отечественных ученых <https://www.tdsinger.ru/the-science/trudy-otchestvennyh-uchyonyh/>).

Цель и задачи исследования – разработать и апробировать методику применения водопоглощающих полимерных гелей в полевых условиях, оценить эффективность использования гидрогелей отечественного производства для управления водообеспеченностью и продуктивностью сельскохозяйственных культур в почвенно – климатических условиях Северо – Западной зоны РФ.

В связи с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

- определить водоудерживающую способность гидрогелей отечественного производства;
- исследовать влияние различных типов засоления и циклов «замораживание – оттаивание» на гидрофизические характеристики водоудерживающего экрана гидрогеля;
- выявить действие полимерных гелей на развитие корневой системы зерновых культур (ячменя, пшеницы) в условиях ризотрона и в полевых условиях;
- исследовать возможности воздействия гидрогелей на натриевой и калиевой основах на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур;
- выявить продолжительность действия и последствий гидрогеля в конкретных почвенных условиях;
- установить последствие различных доз и способов внесения гидрогелей на продуктивность культур севооборота;
- исследовать фактор влияния полимерных гелей на развитие зерновых культур в условиях модельной почвенной засухи («засушник»);
- определить влияние гидрогелей на микробиологическую активность почвенных бактерий;
- определить экономическую эффективность применения гидрогелей в полевом севообороте.

Научная новизна

Научная новизна работы в том, что в ней:

- исследована водоудерживающая способность влагонабухающих полимерных гелей отечественного производства и определены диапазоны продуктивной влаги;
- изучено влияние типов засоления и циклов «замораживание – оттаивание» на физические характеристики водоудерживающих экранов из гидрогелей
- установлен характер действия гидрогеля на изменение агрофизических свойств почвы и пространственное распределение корневой системы зерновых культур в условиях ризотрона и в полевых условиях;
- определены оптимальные дозы и способы внесения гидрогелей;
- изучено действие и последствие полимерных гелей на водообеспечение и продуктивность зерновых культур в полевом севообороте и в условиях модельной почвенной засухи ("засушник");
- изучено влияние гидрогелей на микрофлору почвы;
- дана оценка экономической эффективности применения гидрогелей в звене полевого севооборота.

Практическая значимость работы

В результате проведенных исследований были выявлены гидрогели, отвечающие агротехническим и экологическим требованиям, а также апробированы технологические способы внесения полимеров в почву и на семена (инкрустация семян). Это создаст основу для новых нетрадиционных методов сохранения и восстановления плодородия почв, предотвратит экологически неблагоприятные последствия применения минеральных удобрений и пестицидов, снизит проявление эрозионных процессов.

Повышение влагоемкости корнеобитаемого слоя почв для влагообеспечения растений в условиях дефицита влаги может быть достигнуто с применением влагонабухающих гидрогелей. В результате проведенных лабораторных и полевых экспериментов появляется предпосылка для описания термодинамики и динамики воды в системе гидрогель-почва-растение. Результаты исследования

водоудерживающей способности отечественных полимерных гелей по определению сорбционного потенциала воды в геле, предоставят возможность оценить количество воды в геле, доступное растениям.

В условиях исследуемого региона в зернопропашном севообороте для дерново-подзолистых почв легкого и суглинистого состава предложена оптимальная доза геля (300 кг / га на 5 лет), которая при совместном внесении минеральных удобрений независимо от климатических условий обеспечивает повышение продуктивности культур в звене полевого севооборота (Кротов, 1996). Последствие гидрогелей хорошо влияет на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах во второй и третий годы при размещении в корнеобитаемый слой (Данилова, Оленченко, 2016). Увеличение урожайности культур севооборота соизмеряется с контролем, прослеживается зависимость от дозы и типа гидрогеля.

Экспериментально установленные оптимальные нормы внесения гидрогелей, коэффициенты корреляционной зависимости гидрофизических свойств полимерных гелей от физических и физико-химических свойств почвы могут быть применены при планировании урожайности сельскохозяйственных культур с использованием гидрогелей на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Подтверждена эффективность предлагаемых водопоглощающих гидрогелей отечественного производства в качестве водоудерживающей почвенной добавки в природно – климатических условиях Северо – Западной зоны РФ.

Личный вклад автора

Автор работы принимала личное участие в разработке методических программ исследований, проведении лабораторных экспериментов, закладке и проведении полевых и вегетационных опытов в период с 2010 - 2017 гг. в качестве ответственного исполнителя и руководителя. Доля личного участия в получении и обработке результатов исследований составляет не менее 80 %.

Результаты исследований и соответствующие выводы проанализированы и интерпретированы при участии научного консультанта.

Автор выражает искреннюю благодарность за оказанную помощь и поддержку при написании диссертации научному консультанту член-корреспонденту РАН Ускову И.Б., за сотрудничество члену – корреспонденту РАН Иванову А.И, докторам с.-х. наук Осипову А.И., Литвиновичу А.В., доктору биологических наук Лекомцеву П.В., кандидатам с.-х. наук Воропаеву В.В., Моисееву К.Г., Коневу А.В., Оленченко Е.А., кандидатам технических наук Янко Ю.Г., Петрушину А.Ф., кандидатам биологических наук Пановой Г.Г., Хомякову Ю.В., Балашову Е.В., Бучкиной Н.П., Рижия Е.Я., ведущему инженеру Старцеву А.С., сотрудникам химической лаборатории Агрофизического НИИ.

Апробация работы

Диссертация выполнена в рамках, проводимых Агрофизическим научно-исследовательским институтом (АФИ) исследований по базовым научно-техническим программам Россельхозакадемии, по заданию 02.05.03 «Разработать новые методы оценки и прогноза агроклиматических показателей в агроландшафтах и мобильные информационно-измерительные средства оценки состояния посевов в системе почва-растение» (2010 г), по заданию 02.05.03 «Усовершенствовать теоретические основы и разработать методы прогноза агроклиматических рисков в земледелии при глобальном и региональном изменениях климата» (2011 - 2015 гг) и государственному заданию РАН «Разработать теоретические и методические основы оценки рисков по факторам продуктивности сельскохозяйственных земель и разработать методы управления агроклиматическими рисками в земледелии в условиях изменения климата (№ 0667-2014-0004)» (2016 – 2017 гг). Полученные результаты исследований рассматривались на заседаниях Ученого Совета Агрофизического института, обсуждались на семинарах, отчетных сессиях АФИ. Материалы диссертационной работы были представлены на международных, всероссийских конференциях, конгрессах, форумах и симпозиумах: Международной конференции "Современная

агрофизика – высоким технологиям" (Санкт-Петербург, 2007 г.); Международном форуме " Земля и урожай" (Санкт – Петербург, 2007 г.); Международной научной конференции «Экология, генетика, селекция на службе человечества» (ГНУ Ульяновский НИИСХ, 2011г.); Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Методы оценки сельскохозяйственных рисков и технологии смягчения последствий изменений климата в земледелии» (Санкт-Петербург, 2011 г.); Международном агроэкологическом форуме ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, СПб - Пушкин, 2013г.); Научной сессии по итогам 2012 года Агрофизического института (Санкт-Петербург, АФИ, 2013г.); Научной сессии по итогам 2013 года Агрофизического института (Санкт-Петербург, ФГБНУ АФИ, 2014); Всероссийской с зарубежным участием научной конференции "Почвоведение-продовольственной и экологической безопасности страны" (Москва - Белгород, 2016 г.); Всероссийской с международным участием научной конференции «Почвы России: вчера, сегодня, завтра» (Киров: ВятГУ, 2017 г.); Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» (Санкт-Петербург, ФГБНУ АФИ, 2017 г.); Международном агропромышленном конгрессе «Повышение конкурентоспособности российской сельскохозяйственной продукции на внутренних и внешних рынках». «Агрорусь 2017», (Санкт-Петербург, 2017 г.); Международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» (Санкт-Петербург, ФГБНУ АФИ, 2019 г.); Всероссийской научной конференции с Международным участием «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы», (Москва, МГУ, 2019 г.); Международной научной экологической конференции «Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития» (Краснодар, ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, 2020 г.); Всероссийской научной конференции с международным участием «Вклад агрофизики в решение фундаментальных задач сельскохозяйственной науки» (Санкт-Петербург, ФГБНУ АФИ, 2020); Национальном докладе «Глобальный

климат и почвенный покров России: проявление засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия» (сельское и лесное хозяйство), (Москва, МБА, 2021).

Достоверность научных положений и выводов, приведенных в диссертационной работе, обеспечена применением современных общепринятых апробированных методов постановки, проведения и анализа полевых и лабораторных экспериментов, а также использованием математико-статистических методов обработки результатов. Пакеты программ Microsoft Excel 2010 и Statistics 5.0 («StatSoft, Inc.», США) применяли для статистической обработки данных, которая включала вычисления значения средних (M) и стандартных отклонений ($\pm SD$). Достоверность различий оценивали с помощью однофакторного и двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA), различия считали статистически значимыми при $p \leq 0.05$.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 33 работы, включая тезисы докладов на конференциях и симпозиумах, форумов, научных трудах институтов, а также в журналах: «Агрофизика», «Мелиорация и водное хозяйство», «Плодородие», «Сельскохозяйственная биология», «Известия СПбГАУ», «Вестник защиты растений», в том числе 12 статей в журналах, рекомендуемых ВАК, 2 статьи в базе цитирования Scopus. Получен патент на изобретение «Способ улучшения водно-физических свойств почв» RU 2527215 C1, 27.08.2014. Заявка № 2013116932/05 от 15.04.2013 (Приложение 1).

Структура и объем работы

Диссертационная работа включает введение, восемь глав с библиографическим обзором, экспериментальную часть и результаты, основные выводы, список литературы из 257 наименований, из них 63 на иностранном языке, 30 приложений. Диссертация состоит из 400 страниц и содержит 83 рисунка и 103 таблицы в основном тексте и 10 рисунков и 31 таблицу в приложениях.

ГЛАВА 1. ПОЛИМЕРНЫЕ ГЕЛИ

1.1. История исследований по структурообразованию почв, современное состояние и перспективы применения гидрогелей в земледелии, в растениеводстве и мелиорации.

Улучшение гидрофизического состояния почв с применением полимерных материалов является одной из определяющих задач физики почв и мелиорации (Садовникова, 2008). Российские и зарубежные почвоведы еще в конце XIX начале XX веков изучали влияние органических коллоидов на минеральные компоненты почв и грунтов (Садовникова, 2008). В Агрофизическом институте в 30 - 40-х годах прошлого века искусственным оструктуриванием почв занимались под руководством академика А.Ф. Иоффе ведущие специалисты – П.В. Вершинин, Д.И. Талмуда, Ф.Е. Колясев и другие (Смагин, 2012). В работе (Романов И.А., Агафонов О.А. и др., 1985) показано, что большое значение приобретают различные полимерные материалы, позволяющие экспрессно регулировать агрофизические свойства почвы. Для улучшения структуры и гидрофизических свойств почв в 50-60 – х годах были разработаны «крилиумы»- полимерные производные акриловой ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$), метакриловой ($\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{COOH}$) и малеиновой ($\text{COOH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COOH}$) кислот.

Испытания крилиумов (полиакриламид, полиакрилонитрил и др.), проведенные советскими учеными (Вершинин, 1960; Абросимова, 1960; Романов, 1960; Масленкова, 1961; Гуссак, 1961; Качинский и др., 1967; Габай, 1965; Мосолова, Уткаева, 1977) показали положительное влияние этих препаратов на физические свойства почвы – водопроницаемость, плотность, пористость, микроструктуру. Водопрочность почв можно повысить внесением в почву полимеров – структурообразователей (Ревут и др., 1973). Многие ученые (Вершинин, 1958; Масленкова, 1960; Ревут и др., 1969; Ревут и др., 1973) занимались изучением механизма взаимодействия полимеров с почвенными частицами. Процесс взаимодействия полимеров с почвенными частицами очень сложный, сопровождается такими явлениями как коагуляция, адсорбция,

образование водородных связей. В результате такого взаимодействия образуется водопрочная макроструктура.

Экспериментально установлено, что в зависимости от физико-химической природы препарата наблюдаются два принципиально различных типа структурообразования: возникновение прочных связей между частицами и микроагрегатами в макроагрегате (водородные связи) и возникновение гидрофобности (водоотталкивающие силы на поверхности агрегатов) (Ревут и др., 1969). Исследование процесса взаимодействия структурообразующих полимеров (полиакриламид, сополимер VIII, гидролизированный полиакрилонитрил) с почвенными частицами (каолинит) проведенное Г. Л. Масленковой (1960) с помощью инфракрасной спектроскопии, показало, что в результате взаимодействия полимера с каолинитом образуются связи – OH...O и OH...N. При образовании водородной связи со стороны каолинита участвуют гидроксильные группы. Выяснилось, что больше всего водородных связей образуется у каолинита с полиакрилонитрилом, сополимер – VIII – промежуточное положение и совсем мало – с полиакриламидом. Почти все структурообразующие полимеры являются коагуляторами. Самый хороший коагулятор – полиакриламид, чем больше молекулярный вес, тем лучше способность к коагуляции у полимера, и соответственно более крупные частицы образуются в растворе. Эффект структурообразования полимеров зависит от размеров и формы макромолекул, степени разветвленности, от количества и сорта активных функциональных групп, а также от числа этих групп на единицу полимера и от распределения их в полимере.

В водном растворе полимера карбоксильные группы слабо диссоциированы, при их нейтрализации щелочью образуется сильно диссоциированная соль $\text{COO}^- + \text{Na}^+$. Если полиакриламид не гидролизован, то он содержит группы $(-\text{CONH}_3^+)$, которые взаимодействуют с отрицательно заряженными частицами глины. Молекулы полиакриламида свертываются в клубок и между цепями самой молекулы образуются водородные связи, которые препятствуют структурообразованию. Наличие диссоциированных карбоксильных групп

способствует адсорбции полимера и образованию водородных связей между полимером и частицами почвы. Карбоксильных групп должно быть достаточно для того, чтобы молекула полимера развернулась и смогла прореагировать с почвой. Молекулы полимера закрепляются на глинистых частицах почвы в результате адсорбции, происходящей в виде ионного обмена. Адсорбция повышается с уменьшением рН и с увеличением засоленности каолинита (Ревут и др., 1973).

Опыты по искусственному оструктурированию почв проводили в Агрофизическом институте Абросимова Л.Н, Романов И.А., Агафонов О.А. и другие. В работе Романова И.А (1960) показано, что внесение 500 кг/га ПАА в дерново – подзолистую глинистую бесструктурную почву привело к превращению этой почвы в хорошо оструктуренную, состоящую более чем наполовину из водопрочных агрегатов. В опытах Абросимовой Л.Н. (1960) проведенных на суглинистой слабоподзолистой почве, установлено, что при дозе сополимера - VIII 300-400 кг/га количество водопрочных агрегатов увеличилось до 65 % при содержании их в контрольном варианте не выше 40 %.

Эксперименты по закреплению песчаных почв растворами крилиумов проводились Агрофизическим институтом в Чечено-Ингушетии. Эффективность почвозакрепителей применительно к песчаным землям спланированных площадей Чечено-Ингушетии исследовали с использованием аэродинамической установки. Закрепляющее действие химических препаратов настолько высокое, что при скоростях ветрового потока до 25-30 м/с не наблюдалось выдувание при дозах 40-46 кг/га в условиях полевого опыта на Павлодарской станции защиты почв от эрозии. Оценить почвозащитную эффективность различных препаратов и их доз возможно было только путём подачи образивного материала в канал аэродинамической трубы. Для закрепления песчаных земель синтезирован более эффективный закрепитель на основе акрилатов (метил или бутилакрилаты) и ТЛС-А в соотношении 1:1 по массе. Этот препарат АЛС (акрилатно-лигносульфонатный сополимер) обладает комплексом преимуществ в сравнении с латексом СКС-65 ГП. Растворы АЛС обладают высокой агрегативной

устойчивостью, а плёнки из него погодоустойчивы и не уступают таковым из поликомплексов. Исследования, проведенные в аэродинамической трубе, показали, что АЛС по эффективности закрепления песков существенно превосходит латекс СКС-65 ГП (Козырева, 1987). В работе Грудининой Е.Ю. (1983) исследованы возможности гидрогелей К-У2 (на основе крахмала и акриловых кислот), ВМ-65 и ВМ-66 для повышения влагоемкости песка. Показано, что гидрогели улучшили водно-физические показатели песка. При внесении К-У2 КВ увеличилась на 5,9% (с 23,8 до 29,7%), ПВ - на 3,6% (с 25,4 до 29,0%), НВ - на 4,7% (с 21,0 до 25,7%). В пересчете на гидрогель влагоемкость увеличилась по сравнению с вносимой дозой в 58, 35 и 48 раз соответственно. Внесение ВМ-65 повысило КВ на 2%, ПВ - на 2,9%, НВ - на 1,4%, эти показатели несколько повышаются при использовании раствора Кнопа. Расчет показывает, что увеличение влагоемкости слоя песка (20 см) на 1% при дозе внесения гидрогеля 0,1% (3 т/га) к весу субстрата и объемной массе субстрата 1,5 г/см³ составляет 3 мм, при повышении на 5% - 15 мм. Если принять среднесуточную эвапотранспирацию равной 5 мм, то этого запаса влаги хватит на 3 суток.

В работе (Казанский и др, 1988) при исследовании двух типов сильнонабухающих полимерных геля (СПГ) — привитых полимеров акриловой кислоты на крахмале (набухание в воде от 300 до 1000 мл/г) и сшитого полиакриламида (700—10 000 мл/г) на водно-физические характеристики песков, показано, что влага, содержащаяся в СПГ полностью доступна для растений.

Водоудерживающая способность гидрофильных полимеров зависит от их химической структуры. В исследованиях (Al-Omran A.M. et al., 1987; Abedi-Kouprai et al., 2008) установлено, что «внесение гидрогеля повысило содержание влаги в 1,8 раз на глине, в 2,2 раза на суглинке, и в 3,2 раза на песчано-суглинистой почве, в сравнении с контролем» (Данилова, Табынбаева, 2018, с.3).

Применение влагоудерживающих полимеров поддерживает достаточную влажность в корнеобитаемом (10-12 см) слое песчаных почв (Al-Omran et al., 1987; Hayat et al., 2004). В работах (Aslam, Shahid, 1992; Banedjschafie, Dumer, 2015; Давыдов, Гуменный, 2011; Данилова, 2020) установлено, что

водопоглощающий полимерный гель сохраняет дополнительный запас влаги в почве, при этом сокращаются потери на гравитационный сток и физическое испарение. Под воздействием гидрогеля улучшаются агрофизические свойства почвы (Taban et al., 2006; Liao et al., 2016; Данилова, 2020).

Важным моментом в сельском хозяйстве является удовлетворение потребностей растений в питательных веществах, которые варьируются от макроэлементов, таких как N, P, K, Ca, Mg и S, до микроэлементов, таких как B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni и Zn. Однако эти питательные вещества часто недоступны в окружающей среде в достаточном количестве для хорошего роста растений. Таким образом, использование агрохимикатов имеет важное значение в сельском хозяйстве в качестве удобрений, гербицидов и пестицидов. С другой стороны, становится актуальным беспокойство по поводу нежелательных воздействий агрохимикатов на окружающую среду, включая процессы биоаккумуляции в пищевой цепи и потенциальное загрязнение соседних экосистем. Разработка и использование агрохимикатов в сочетании с полимерными материалами является альтернативой этой проблеме, чтобы доставлять агрохимикаты в почву для непосредственного удовлетворения потребностей растений в питании, не вызывая загрязнения (Puosi et al., 2008; Mohammad et al., 2008; Milani et al., 2017).

Работы в области использования полимерных гелей за рубежом развиваются более быстрыми темпами, чем в России. Многие фирмы промышленно развитых стран (Япония, США, Германия) освоили коммерческое производство полимерных материалов. В этих странах ежегодно запатентовываются новые лекарственные средства, технологии применения и средства механизации для внесения полимеров. Химическая промышленность во многих капиталистических странах работает по безотходной технологии. Высокое качество промышленно производимых полимеров позволяет удовлетворить потребности сельскохозяйственного производства и получить экологически чистую продукцию. Преимущество предлагаемого подхода заключается в использовании большого объема отходов нефтеперерабатывающей

промышленности и применения новых методов физического моделирования для создания оптимальных свойств водопоглощающих полимеров (Смагин, 2012).

По состоянию на август 2013 года производственные мощности 7 ведущих мировых производителей SAP (шесть из них - Nippon Shokubai, BASF, Evonik, Sumitomo, Seika, San-Dia Polymers, LG Chemical формируют 97% спроса) в мире достигли 2,2 млн. тонн. Причина роста спроса - технический прогресс во всем мире. По оценкам экспертов, к 2020 году темпы роста мирового производства SAP составят 7,6 %. При этом удельные доли рынка таковы: 44 % приходится на Азию, 31% - на США и 25% - на Европу (Смагин, 2012).

В настоящее время традиционные полимеры из нефтепродуктов активно вытесняются с рынка инновационными биополимерами, несмотря на то, что в силу своей технологичности и механических свойств они не отвечают требованиям некоторых направлений производства. Однако биополимеры обладают такими свойствами, как биodeградируемость, что делает их очень привлекательными для сельского хозяйства и биомедицины (Montesano et al., 2015).

Были проведены экспертные исследования следующих биополимеров: полигидроксиалканоата (ПГА), полимолочной кислоты (ПЛА), полибутиленсукцината (ПБС) и проведено сравнение с характеристиками полиэтилена и полиэтилентерефталата. Полигидроалканоат очень перспективен для биомедицины, однако в чистом виде это вещество имеет такой недостаток, как низкая структурная прочность. Его нетоксичные и естественно разлагаемые свойства делают его пригодным для фармацевтического и медицинского применения. Полигидроалканоат используется в качестве материала для изготовления костных пластин, швов и различных типов имплантатов.

Полимолочная кислота используется в сельском хозяйстве, например, для мульчирования почвы, упаковки пищевых продуктов. В свою очередь, полибутиленсукцинат обладает свойствами, аналогичными свойствам традиционного полипропилена. Однако стоимость полибутиленсукцината в два

раза выше, чем полипропилен. Однако, благодаря своей низкой токсичности, он может быть использован в производстве медицинских материалов.

Сегодня биополимеры выступают хорошим дополнением и даже альтернативой традиционным материалам. А их использование - важнейший шаг в успешном развитии экологически чистого полимерного производства. В то время как традиционные полимеры получают из нефтепродуктов, биополимеры изготавливаются из безопасных растительных материалов, что делает их пригодными для нетоксичного естественного разложения в компосте. Чтобы расщепить их, необходимы специальные бактерии, которые вырабатывают ферменты, способные превращать биополимеры в воду, углекислый газ, метан и биомассу (Montesano et al., Demitri et al., 2018).

В странах Евросоюза компостируемыми называются только те полимеры, которые разлагаются на 90% и более в течение 12 недель, при этом образующиеся фрагменты не превышают 2 мм. Это обеспечивает стабильную и экономичную работу компостирующих агрегатов. Важно также, чтобы обработанный продукт не оказывал токсического воздействия на почву. Сегодня существуют технологии получения биополимеров из нефтепродуктов с использованием специальных добавок, обеспечивающих быстрое и малотоксичное разложение в естественных условиях.

1.2 Основы теории «конструирования» растворов полимеров.

Теория растворов полимеров Флори – Хаггинса

В земледелии и мелиорации большое практическое значение имеет устойчивость полимеров к действию растворителей, которую можно прогнозировать на основе свойств систем "ВМС-НМЖ". Для решения этих задач необходим знать теорию полимерных растворов.

Первая термодинамическая теория полимерных растворов была разработана Флори и Хаггинсом в 40-50-е годы (Семчиков, Зайцев, 2007). По теории Флори-Хаггинса (Теория Флори-Хаггинса: https://studopedia.ru/14_25293_teoriya-flori-

hagginsa.html) предполагается, что раствор является регулярным. Обычный раствор, в отличие от идеального, не является атермическим, но имеет такое же случайное распределение молекул растворенного вещества и растворителя, а звенья цепи равномерно распределены по всему объему. Теория Флори-Хаггинса применима только к умеренно концентрированным или полуразбавленным растворам, которые характеризуются заметным перекрытием клубков (Теория Флори-Хаггинса: https://studopedia.ru/14_25293_teoriya-flori-hagginsa.html).

В работе (Семчиков, Зайцев, 2007) показано, что в теории Флори-Хаггинса расчет энтропии и энтальпии смешения осуществляется на основе модели квазикристаллической решетки. Двухмерное изображение заполненной решетки приведено на рис. 1.2.1.

Термодинамическая теория смешения Флори-Хаггинса позволяет определить пределы взаимной растворимости и термодинамической совместимости компонентов.

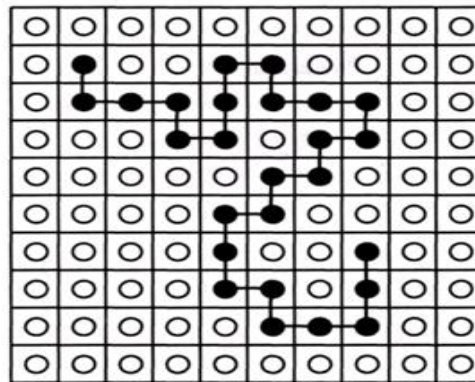


Рис.1.2.1- Решеточная модель раствора полимера.

Однофазная смесь образуется при условии $\Delta G_m < 0$, где ΔG_m - изменение энергии Гиббса при смешении. $\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m$. Величина ΔS_m определяется количеством молекул компонентов смеси.

$$\Delta S_{см} = -R(x_1 \ln \varphi_1 + x_2 \varphi_2) \quad (1.2.1)$$

где φ_1 и φ_2 - объемные доли растворителя и полимера соответственно, а χ_1 и χ_2 - число моль растворителя и полимера, R - универсальная газовая постоянная.

$$\Delta H_{см} = RT \varphi_1 \varphi_2 \chi \quad (1.2.2)$$

Согласно этой теории, энергия Гиббса смешения полимеров выражается формулой:

$$\Delta G_m = \frac{RTV}{V_s} \left(\frac{\varphi_1}{x_1 \ln \varphi_1} + \frac{\varphi_2}{x_2 \ln \varphi_2} + \chi_{12} \varphi_1 \varphi_2 \right) \quad (1.2.3)$$

где V – общий объем смеси; V_s – мольный объем мономерного звена; φ_1 и φ_2 – объемные доли полимеров 1 и 2 в смеси; χ_1 и χ_2 – степени полимеризации мономеров; χ_{12} – параметр взаимодействия полимеров.

Параметр χ характеризует разность энергии взаимодействия в результате условного перемещения одной молекулы низкомолекулярной жидкости из среды аналогичных в среду полимерных фрагментов. На параметр взаимодействия влияет не только концентрация, но и химическая структура растворителя.

Изменение химического потенциала растворителя в растворе полимера было получено Флори и Хаггинсом в терминах парциальной энтальпии и энтропии смешивания и так как

$\Delta \mu_1 = \Delta H_1 - T \Delta S_1$ конечный результат имеет вид:

$$\Delta \mu_1 = RT \left[\ln(1 - \varphi_2) + \left(1 - \frac{1}{x} \right) \varphi_2 + \chi_1 \varphi_2 \right] \quad (1.2.4)$$

Термодинамическая теория смешения полимеров позволяет приближенно оценить их способность к взаимному растворению. М.Л. Хаггинс показал, что энтропийная составляющая: $\chi_s \approx \frac{1}{v}$. Экспериментальные значения χ находятся в диапазоне 0,3...0,4.

Для энтальпийной составляющей Хаггинс получил:

$$\chi_n = \frac{V_{01}}{RT} (\delta_1 - \delta_2)^2 \quad (1.2.5)$$

где δ_1 и δ_2 – параметры растворимости полимера и растворителя, которые здесь имеют такой же смысл, как в теории регулярных растворов низкомолекулярных соединений Гильдебрандта - Скэтчарда.

Для энтальпии смешения компонентов в этой теории получено выражение:

$$\Delta H_{см} = V \left[\left(\frac{W_1}{V_{01}} \right)^{0.5} - \left(\frac{W_2}{V_{01}} \right)^{0.5} \right]^2 \varphi_1 \varphi_2 \quad (1.2.6)$$

где W_i — энергия испарения моля растворителя; V - общий объем смеси; V_{oi} - парциальные молярные объемы компонентов; $\varphi_1 \varphi_2$ - объемные доли полимеров 1 и 2 в смеси.

$$\delta_i = \left(\frac{W_i}{V_{oi}} \right)^{0.5} \quad (1.2.7)$$

δ_i - параметр растворимости Гильдебранта

Таким образом, принимая для χ_n выражение $\left(\chi_n = \frac{V_{01}}{RT} (\delta_1 - \delta_2)^2 \right)$, а для χ_s - среднее экспериментальное, получают:

$$x_1 = x_s + x_n = 0,34 + \frac{V_{01}}{RT} (\delta_1 - \delta_2)^2 \quad (1.2.8)$$

Из (1.2.8) следует, что наилучшую растворимость проявляют компоненты с аналогичными параметрами растворимости.

Основное уравнение теории Флори-Хаггинса (Теория Флори- Хаггинса: https://studopedia.ru/14_25293_teoriya-flori-hagginsa.html) показывает, что при смешении полимера с растворителем изменение энтальпии всегда положительно. Поэтому теория Флори-Хаггинса не в состоянии обосновать два довольно распространенных явления: экспериментально наблюдаемое отрицательное значение теплоты смешения полимеров с растворителями и тот факт, что для одной и той же системы полимер – растворитель разделение фаз может происходить не только при низких, но и при высоких температурах (Тагер, 2007).

1.3 Физико-химические свойства водопоглощающих полимеров

Гидрогели представляют собой сшитые гидрофильные полимерные сетки, способные к набуханию в воде. В работе (Спиридонова, 2012) показано, что набухание полимерного геля зависит от его химической структуры, а не от плотности поперечных сшивок. Филипповой О.Е. (2005) установлено, что одноименно заряженные звенья полимерной сетки отталкиваются друг от друга

при этом образец геля, набухает. На рисунке 1.3.1 представлена схема строения трех форм полимерного геля.



Рис. 1.3.1 - Схема строения трех форм полимерного геля

Вода - основной компонент гидрогелей (более 90% их набухшей массы).
Внутри матриц гидрогеля (рис. 1.3.2) вода может быть следующих типов:

- вода во внешнем слое, называется свободной водой, и может быть легко удалена в мягких условиях
- внутрипоровая вода, которая не присоединена к гидрогелевой сетке, но физически захвачена между полимерными цепями
- связанная вода, которая связана с полимерной цепью через гидрофильные группы или через водородные связи, может быть отделена только при очень высоких температурах
- полусвязанная вода, с промежуточными свойствами между связанной и свободной водой

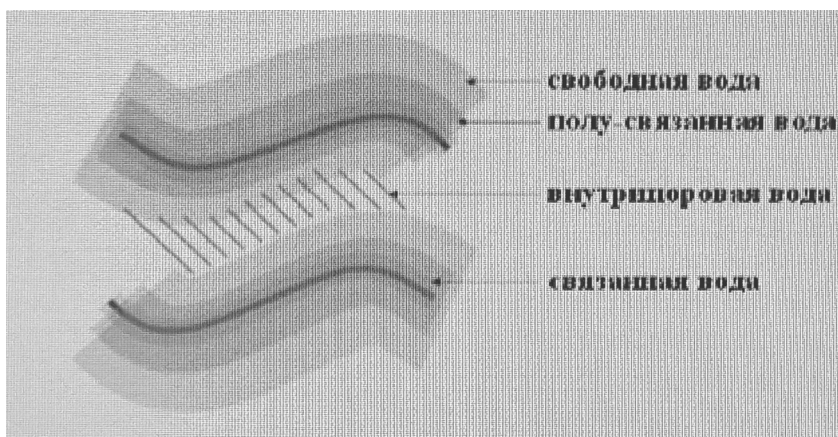


Рис. 1.3.2 - Различные типы воды в гидрогелях

Сшивание макромолекул может осуществляться за счет образования ковалентных, ионных и водородных связей, и Ван-дер-Вальсовых взаимодействий.

Физические свойства полимеров определяются их химической структурой, а именно: типом и природой атомов и групп, составляющих повторяющиеся звенья цепи соединения, а также способом соединения этих звеньев. Наличие длинноцепных макромолекул обуславливает появление у полимеров ряда особых физических свойств, отсутствующих у низкомолекулярных веществ, таких как способность претерпевать большие обратимые деформации. Полимеры не имеют газообразного состояния - испарение макромолекул невозможно из-за большой энергии, необходимой для их разрушения. Эта энергия на много порядков превышает энергию химических связей в цепочках макромолекул. Поэтому попытки испарить полимеры путем нагревания приводят к разрушению макромолекул, т.е. их химической деградации. Полимеры разлагаются при нагревании, причем температуры их разложения всегда намного ниже их температур кипения. Поэтому полимерные тела не могут перейти в газообразное состояние, они могут существовать только в конденсированном состоянии: жидком или твердом (Сутягин, Бондалетова, 2003).

В работе Успенской М.В. (2008), отмечено, что скорость полимеризации минимальна при $\text{pH} = 6-7$. Ускорение процесса образования полимера вызывают ионы Na^+ и K^+ при значения $\text{pH} > 7$ (Успенская, 2008).

Успенской М.В (2008), установлено, что набухание акриловых гелей в водных растворах уменьшается в следующем порядке: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ \approx \text{Li}^+ > \text{NH}_4^+$. Таким образом, изменяя pH раствора и природу реакционной среды, можно варьировать содержание полимерных частиц, различающихся реакционной способностью и, соответственно, свойствами получаемого материала (Успенская, 2012).

1.4 Физико-механические свойства гидрогелей

Гидрогели - гидрофильные сшитые полимеры. Результатом сшивания

полимеров является нерастворимая структура и объемное строение. Плотность сшивок влияет на степень набухания, механическую прочность, эластичность и проницаемость. Нерастворимая объемная сетка остается в равновесии с водной средой, при этом сохраняется баланс упругих сил сшитых полимеров с осмотическими силами раствора (Спиридонова, 2012). Важная особенность, характеризующая физико - механические свойства гидрогелей - плотность сшивки (Шур, 1981; Успенская, 2012). Именно сшивка определяет характеристики гидрогелей как твердого вещества, а не раствора (Каргин, 1972). На рисунке 1.4.1 показан переход жидкого геля в гидрогель путем фотополимеризации.

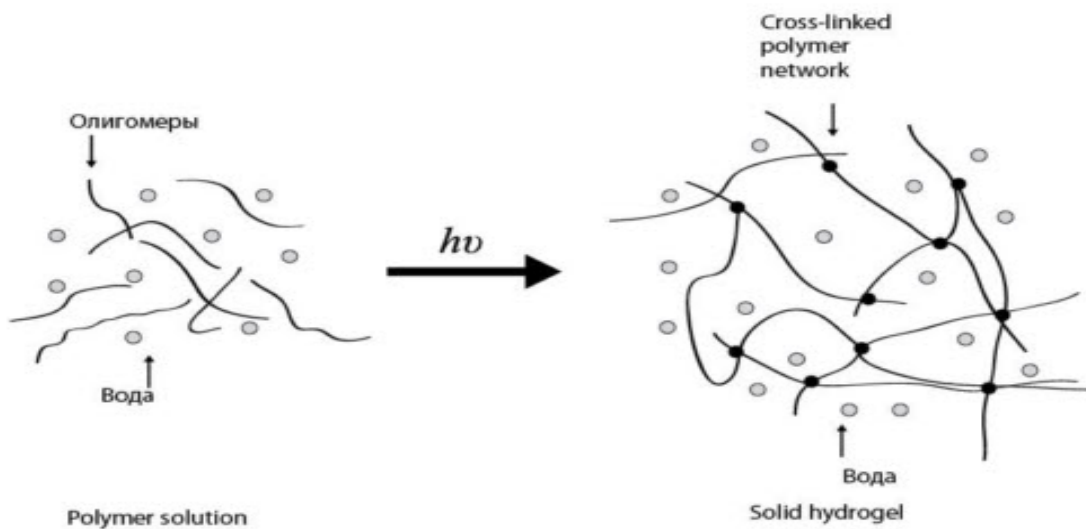


Рис.1.4.1 - Переход жидкого геля в гидрогель путем фотополимеризации

По мнению Спиридоновой В.М. (2012), пористость гидрогеля (размер ячеек) определяется расстоянием между соседними поперечными связями.

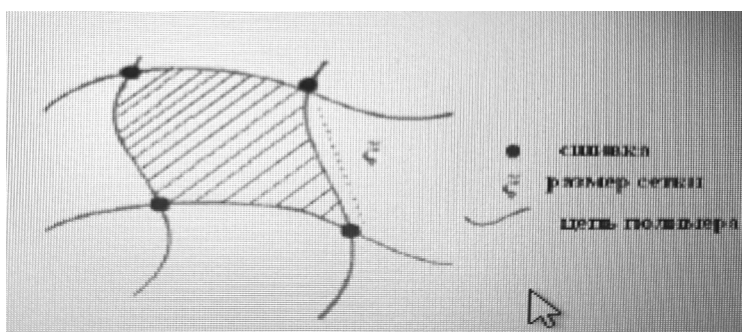


Рис. 1.4.2 - Размер пор геля в набухшем состоянии.

Поскольку влагопоглощающие суперабсорбенты обладают плохими физико-механическими свойствами, поиск компромисса между этими двумя «антибатными» аспектами крайне важен в технологиях, в которых необходимо получить изделия заданной геометрической формы и материалы с предсказуемыми физико-механическими и абсорбционными характеристиками (Самченко и др., 2007; Тураев, 2011).

Различные мономеры, в зависимости от их природы, могут увеличивать или уменьшать плотность сшивки, тем самым, непосредственно влияя на физико-механические свойства абсорбентов. Улучшить механические характеристики полимера можно введением в состав геля гидрофобного звена (рис. 1.4.2).



Рис.1.4.3 - Химический состав гидрофобно – модифицированного полиакрилатного геля.

В работе Успенской М.В. (2012) отмечено, что набухание акриловых гелей эндотермически и энергетически не выгодный процесс. Природа мономеров сильно влияет на физико-химические свойства материалов, получаемых на их основе. Метилметакрилат, полиэтиленгликоль, НИПАА, акрилонитрил и др. часто используются для получения материалов с улучшенными прочностными характеристиками.

1.5 Устойчивость гидрогелей к изменчивости внешних условий по температурному и влажностному режимам

Акриловые гидрогели способны менять физико-химические свойства в зависимости от изменений pH, температуры, состава внешнего раствора,

электрического поля (Успенская, 2008), светового воздействия и др (Bowman et al., 1990, Barvenik, 1994). Эти изменения сопровождаются либо резким набуханием, либо сжатием геля. (рисунок 1.5). Такие гидрогели называют “чувствительными” (Филиппова, 2005).

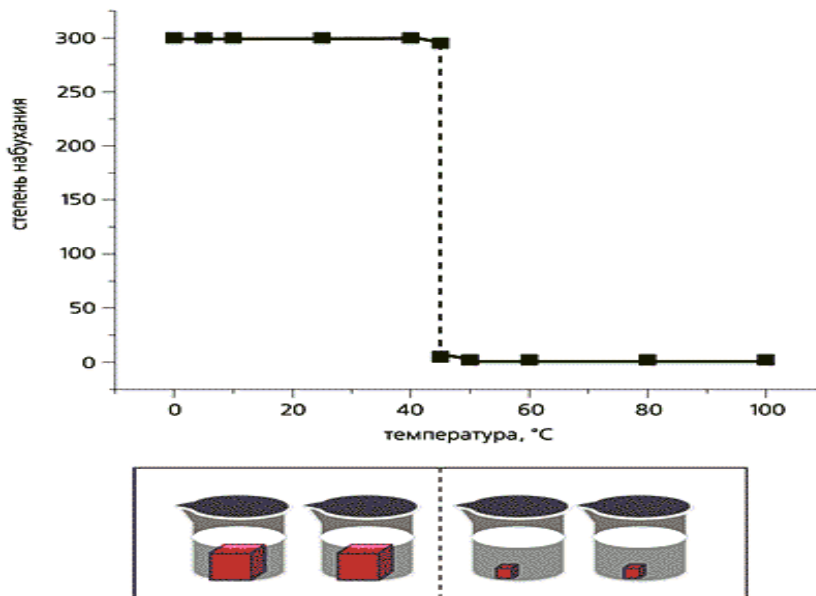


Рис. 1.5 - Коллапс полимерного геля при нагревании (по Успенской, 2012)

В работе Успенской М.В. (2008), показано, что акриловые гидрогели - термочувствительные системы. В зависимости от этого гидрогели могут увеличиваться или уменьшаться, вплоть до распада образца полимера. Такие полимеры называют положительно или отрицательно термочувствительными. Гели, являющиеся положительно термочувствительными системами, имеют высокую критическую температуру раствора и разрушаются ниже ВКТР; гидрогели с отрицательной термочувствительностью имеют более низкую критическую температуру растворения и сжимаются до температур выше НКТР.

В работе В.И. Кленына (1995) представлены основные принципы и методы термодинамики систем с гибкоцепными полимерами. Важный раздел термодинамики – фазовые равновесия и фазовые переходы систем. Полную информацию о взаимной растворимости компонентов с широким диапазоном составов и температур можно получить с помощью фазовых диаграмм.

Для варьирования температуры фазового перехода и характеристик

поглощения используют сомомеры с различными функциональными группами. При введении гидрофобных мономеров в состав отрицательно термочувствительных гидрогелей температура фазового перехода уменьшается, а введение гидрофильных мономеров ее увеличивает.

При изучении водоудерживающей способности гидрогеля К-У2 наблюдался незначительный отклик при температурах от 15 до 20°C и значительный эффект при повышении температуры. При 30°C гранулы геля набухают в 1,5 раза быстрее и лучше удерживают влагу до давления -1,5 атм, чем при 20°C. Однако с увеличением абсолютных значений отрицательного давления происходит его снижение при 30 °С. Изучение влияния модифицирования гидрогеля Ку раствором ПКБ показало, что при 15°C водоудерживающая способность гидрогеля снижается незначительно. При 30°C происходит значительное снижение водоудерживающей способности модифицированных гелей, но они не разрушаются при $P = -3$ атм. Обработка КУ раствором Акромедона в течение 1 часа увеличивала водоудерживающую способность, а в течение 3 часов уменьшала скорость набухания и задержку воды в диапазоне гравитационного потенциала (Грудинина, 1983).

В работе (Ярулин и др., 2011) проведены исследования поверхностных свойств гидрогеля Аквасин и влияние температуры на них. Обнаружено, что после термического воздействия (отжиг при температуре 700°C в течение часа), частицы гидрогеля заметно уменьшаются в размерах и образуют пленку на поверхности подложки, т.е гидрогель обволакивает гидрофобную поверхность и перекрывает доступ кислорода. Применение таких свойств гидрогеля – создание самоорганизующихся кислородно-непроницаемых пленок для пожаротушения.

1.6 Влияние внешних нагрузок (глубина закладки, давление и др.) на динамику водоудерживания, набухания и водоотдачи

В работе (Дубровский, Казанский, 1993), показано, что на набухание гидрогелей влияют ионный состав и рН почвенного раствора, давление слоя и

структура капилляров. Показано (Смагин, 2012), что использование СПГ (сильнонабухающий полимерный гель) размером частиц 0,1-0,2 мм, увеличивает в 2-4 раза полную (до 30-50%) и капиллярную (25-40%) влагоемкости и в 2-2,5 раза НВ (до 4-6%). В работах (Дубровский, 2008; Смагин, 2012) установлено, что гель с большим размером зерен (0,25–1 мм), давал большую влагоемкость (в 1,5–2 раза), чем тонко помолотый гель с размером (0,1-0,2 мм). Отмечено, что мелкие частицы геля в поровом пространстве набухают каждая отдельно, так как ограничены стенками пор. Крупные частицы геля при набухании расширяли пространство вокруг себя, при этом повышалась капиллярная влагоемкость почвы. То же самое произошло и при максимальной дозе гидрогеля 0,2%. Это означает, что на практике не имеет смысла использовать специальные мелкодисперсные частицы гидрогеля, что позволяет удешевить изготовление геля за счет измельчения стекловидной массы, продукта, который получается в результате радиационной сшивки полимера (Садовникова, Смагин, Сидорова, 2014). В работе Смагиным А.В и Садовниковой Н.Б. (2009) также отмечено, что при внесении геля в дозе 0,2 % в грубодисперсном субстрате с крупными макропорами (> 0,25 мм), капиллярная связь разрывается, и поливная влага может «приостановиться», сводя к минимуму непроизводительные гравитационные потери (дренаж). «Для предотвращения потерь осадков, поливных вод, удобрений на инфильтрацию ниже корнеобитаемого слоя возможно создание саморемонтирующихся экранов из гидрогелей. Такие экраны могут быть использованы для накопления сезонных осадков, гидроизоляции» (Усков, Данилова, Старцев, 2018, с.18). Укладка гидрогеля в виде порошка на глубину от 15 до 70 см может производиться глубокорыхлителем 2 КПГ -2,2 или ГУН -4. Влага набухшего экрана доступна для растений и может быть использована ими в засушливый период. В Агрофизическом институте, в лабораторных условиях исследована способность экранов, полученных из гидрогелей: КУ (на основе крахмала и акриловых кислот), ОЭЦ (на основе оксиэтилцеллюлозы и полиакриламида), ПАА (полиакриламид), Марс, Аквасорб противостоять давлению, создавая разряжение под экраном от 0,2 до 0,9 атм. Для создания

экранов использовали фракцию $<0,25$ мм размолотых образцов гидрогелей, которую ровным слоем наносили на слой песка в дозах 1 и 2 т/га, сверху насыпали защитный слой песка и наливали воду. Емкостью служил фильтр Шотта. При дозе 1 т/га наблюдалась протечка экранов в момент залива системы водой, что, однако связано не со свойствами самих экранов, а с неравномерным распределением порошка гидрогеля. Поэтому для испытаний действия разряжения была выбрана доза 2 т/га – в этом варианте при подаче воды сверху и достижения ее слоя гидрогеля начинается набухание геля, а нижний слой песка остается сухим. После полного набухания экраны из всех исследуемых гидрогелей оказались способны противостоять действию разряжения до 0,9 атм в течение трех суток. Также были изучены гидросорбционные свойства гидрогелей различной химической природы (Аква, ОЭЦ, КУ и ПАА). В качестве метода исследований использовали адсорбционно-статистический метод (пассивный вариант) измерений сорбции водяного пара в зависимости от относительного давления (P/P_0) водяного пара в интервале от 0,05 до 0,98. Измерения проводились с учетом направленности процесса сорбции: адсорбционная и десорбционная ветви.

Для исследованных гелей получены значения условной влажности монослоя (W_m) и энергетической константы (C), которые являются важными диагностическими показателями для характеристики процессов на границе раздела фаз. Выявлена экспериментальная зависимость адсорбции водяного пара W (P/P_0) при $t = 25^\circ \text{C}$ в интервале P/P_0 от 0,1 до 0,92 для всех исследованных типов гидрогелей (фракции: > 5 мм, $>0,25$ мм, $<0,25$ мм), а также для механических смесей гидрогеля с песком в разных соотношениях. Данная функция имеет S – образную форму разной степени выраженности, наиболее контрастно - для гидрогелей Аква и ОЭЦ. Область капиллярной конденсации ($P/P_0 > 0,6$) считается началом процесса свободного набухания гелей. Кривые смесей песка и ОЭЦ (дозы – 12,5, 25 и 50 % к массе песка) пропорциональны содержанию ОЭЦ, наблюдается сдвиг в сторону увеличения сорбции по мере увеличения дозы ОЭЦ. На основании зависимости W (P/P_0) определена степень сорбции водяного пара препаратами по величине W_m (Аква $>$ ОЭЦ $>$ КУ $>$ ПАА) и степень энергетической

неоднородности поверхности по величине энергетической константы (наиболее сильно она проявляется для ОЭЦ). Расчеты петли гистерезиса для начальной области P/P_0 имеют аномальный (по сравнению с почвенными объектами) характер и отражают элементы необратимости процесса удержания влаги в зависимости от направленности процесса, максимально выраженные в области от 0,1 до 0,15 P/P_0 . В интервале P/P_0 0,07 – 0,33 степень необратимости наиболее выражена для препаратов Аква и ОЭЦ. Величина гистерезисной петли для ОЭЦ и его смеси с песком свидетельствует об отсутствии пропорциональности между дозой этого геля и ходом процесса сорбции. Расчеты $W(P/P_0)$ в области капиллярной конденсации по линейной модели вида $W = a + B P/P_0$ показали хорошую линейризацию в простых координатах: P колеблется от 0,92 до 0,96. Коэффициент, равный tg угла наклона расчетной прямой $W(P/P_0)$, характеризует интенсивность процесса поглощения уже не парообразной воды – идет процесс капиллярной конденсации 1 рода, наиболее интенсивно выраженный у гидрогелей Аква, ОЭЦ и ПАА, чем у геля КУ. Степень дисперсности образцов в исследуемых пределах, практически не влияет на интенсивность этого процесса. Расчеты парного коэффициента корреляции между параметром «в» и « W_m » свидетельствуют об определенном сопряжении ($R = 0,91$) процесса сорбции водяного пара и капиллярной конденсации.

Полевые исследования (Кротов, 1996) показали, что внесение гидрогеля в слой 8-10 см изменяет водно-физические свойства почвы. Плотность почвы в контроле составила 1,51 г/см³, а в вариантах с гидрогелем она снизилась до 1,35-1,40 г/см³, при этом влагоемкость почвы увеличилась на 4-10%.

В Ставропольском крае изучено влияние гидрогеля Ритин-10 (исследования этого гидрогеля также приведены в данной работе) под озимую пшеницу (Годунова, 2015; Годунова и др., 2017). При внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ на фоне гидрогеля запасы продуктивной влаги в метровом слое были выше, чем в контроле ($N_{60}P_{60}K_{60}$ без геля), для отвальной вспашки (20-22 см), в зависимости от дозы полимера, на 20,2 - 41,6 мм, или 46,1 - 95%, после мелкой (10-12 см) обработки - на 19,3 - 39,6 мм, или 48,2 - 99,0%. Увеличение дозы гидрогеля способствовало

увеличению прироста влаги, максимальный эффект наблюдался при применении Ритина в дозе 300 кг/га. Установлено, что размещение гидрогеля на глубине 20-22см было значительным в более засушливом вегетационном периоде 2012 г., тогда как в более благоприятных условиях 2013 г. влияние гидрогеля было незначительным. Внесение гидрогеля в дозах 200 и 300 кг/га в условиях Центрального Кавказа положительно влияет на накопление продуктивной влаги в почве. В работе (Mustafa et.al., 1988) показано, что внесение 0,2; 0,4; 0,8 и 1,6 % полимерного геля Jalma в образцы супесчаной карбонатной почвы снизило пенетрацию на 19; 55; 83 и 98 % соответственно, а диффузивность на 38; 76; 96 и 100 %. Наивысшая доза полностью делает почву непроницаемой, в зависимости от структуры почвы, диффузивность уменьшается почти до нуля. Установлено, что 0,4 % геля Jalma является оптимальной дозой для сохранения почвенной влаги. Авторы (Mustafa et.al., 1988) считают, что внесение полимерного геля Jalma вызывает набухание почвы, уменьшает эффективный радиус пор и значительно снижает пенетрацию и диффузивность.

1.7 Влияние минерализации поливных, грунтовых вод и почвенных растворов на водопоглощение полимеров

В работе Успенской М.В. (2008), отмечено, что акриловые суперабсорбенты слабо набухают в водных растворах электролитов. При использовании гидрогелей в реальных природных условиях наблюдается подавление электролитного набухания почвенных растворов, особенно в засоленных почвах (Johnson, 1984 b; Казанский и др., 1993). В работе Успенской М.В. (2008) показано, что «молекулы растворителя и растворенного вещества диффундируют в полимерную сеть до полного выравнивания химических потенциалов в обеих фазах». В работе (Ферапонтов и др., 2014,) отмечено, что в набувшем геле различают: фазу полимерного раствора (ПР) и фазу внешнего раствора (ВР). Схема гетерофазной модели набухшего полимера представлена на рис. 1.7.1.

Успенская М.В. (2008) изучала набухание акриловых гидрогелей в водных растворах полиненасыщенных солей и показала, что он состоит из двух

процессов: набухания (диффузии воды в гидрогель) и контракции (снижение внутреннего давления).

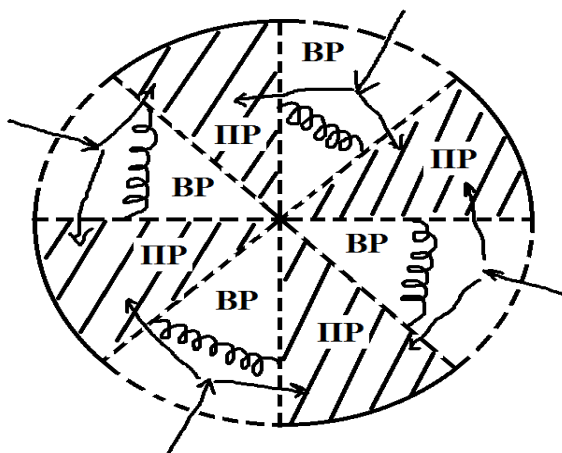


Рис.1.7.1 - Кинетическая схема двухфазного строения набухшего полимерного геля(по Ферапонтову и др., 2014).

ПР – фаза полимерного раствора, состоящая из полимера и «связанной» воды. Объем этой фазы изменяется в зависимости от активности воды в растворе снаружи; **ВР** – фаза внешнего раствора или «свободной» воды (Ферапонтов и др., 2014).

В работе (Филиппова, 2005) показано, что гидрогели с кислотными группами набухают в щелочной среде и коллапсируют в кислой, а полимеры, содержащие основные группы, набухают в кислой среде и разрушаются при повышении рН (рис. 1.7.2).

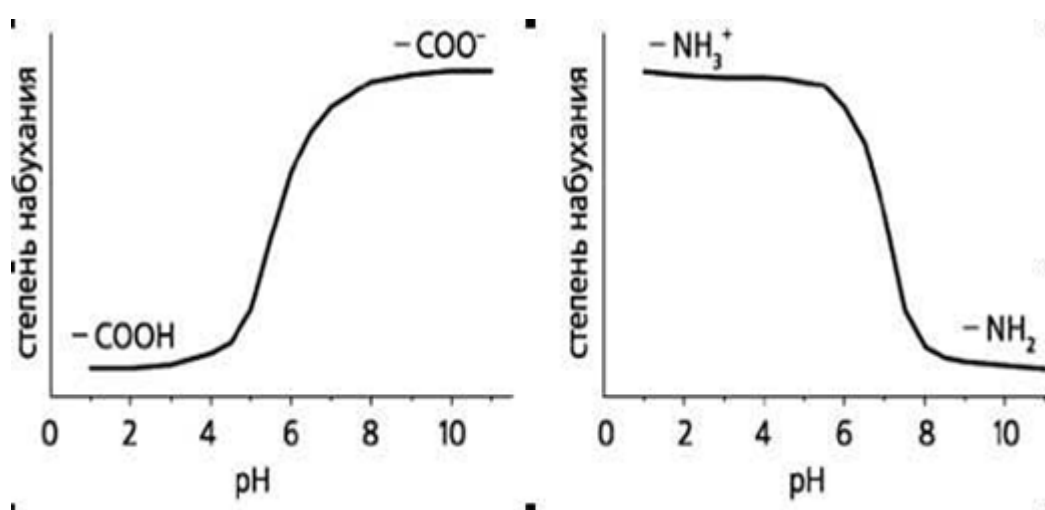


Рис. 1.7.2 - Влияние рН на набухание геля с группами слабой кислоты (слева) и с группами слабого основания (по Филипповой, 2005; Успенской, 2008).

При $\text{pH} > 9$ водопоглощение акриловых гидрогелей снижается, а при $\text{pH} < 5$ гель полностью разрушается (Успенская, 2008). При $\text{pH} = \text{pK}_a$ полимерных групп наблюдается резкое увеличение набухания, что связано с разделением цепей полимерной сети в результате отталкивания вследствие электростатического взаимодействия кислотных, например, карбоксилат-ионов, связанных в полимерной матрице. При этом объем гидрогеля увеличивается. Когда разрушенный гель подщелачивается, он регенерируется и вновь способен поглощать воду в больших количествах. Способность гидрогелей к регенерации позволяет использовать их в качестве селективных растворителей при выделении высокомолекулярных соединений из сильно разбавленных растворов» (Успенская, 2012). На рисунке 1.7.3 показана зависимость степени набухания гелей от pH внешнего раствора.

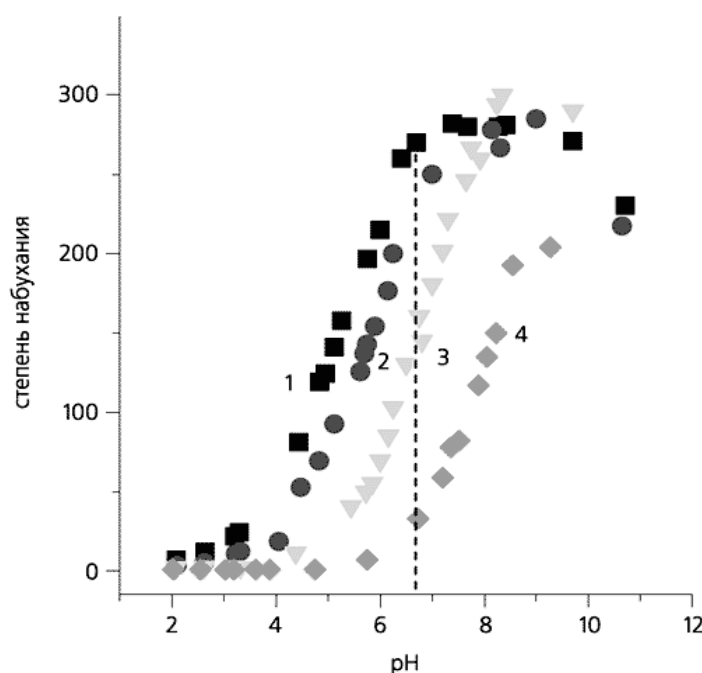


Рис. 1.7.3 - Зависимость степени набухания гелей от pH внешнего раствора (по Филипповой, 2005)

Из рисунка 1.7.3. видно, что при $\text{pH} < 5$, все гели находятся в стадии коллапса. При повышении pH , сначала набухает полиакриловый гель (1), затем гели, содержащие 2.5% (2), 10% (3) и 20% (4) гидрофобных *n*-октилакрилатных звеньев (Филиппова, 2005).

В исследованиях (Wu, Liu, 2007; Teodorescu et al., 2009; Singh et al., 2011) показано, что «лучше всего вводить питательные вещества в полимер в виде не ионных соединений, в виде комплексных соединений (хелатов), которые трудно разлагаются на ионы и не могут повлиять на снижение водопоглощающей способности полиакриламидного сополимера» (Данилова, Табынбаева, 2022, с. 461). В работе Кузнецова А.Ю. (2003) исследовано влияние состава и концентрации солей (NH_4NO_3 ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; NH_4Cl ; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; NaNO_3 ; KCl и мочевины - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ на водопоглощающую способность полиакриламидного полимера марки В-415К. Установлено, что растворы электролитов значительно снижают водопоглощающую способность полиакриламидного полимера. Почти все соли, построенные по ионному типу, снижают поглощение воды полимером, независимо от типа и заряда катиона и аниона.

1.8 Основные методы производства полимерных гидрогелей

Технологии производства полимеров постоянно совершенствуются в соответствии с современным уровнем техники. Однако существуют принципиальные технологические схемы получения полимеров. Основными способами получения полимеров являются полимеризация, поликонденсация и химические превращения полимеров (Софьина, 2018). Способность к набуханию у каждого полимера различна. В результате набухания объем геля может увеличиться на 1000-1500 % (Gilbert et al., 2014; Данилова, 2020).

Основные способы получения гидрогелей

- **радикальная полимеризация** гидрофильных мономеров (например, акриламида, гидроксиалкилметакрилатов, акриловой кислоты и ее солей, N-винилпирролидона) в присутствии сшивающих агентов (диметакрилат этиленгликоля, метиловый эфир и др.).
- **сшивка гидрофильных олигомеров** (например, олигоэтиленгликолей) или полимеров (полиакриламид, полиэтиленоксид, поливиниловый спирт, поликислоты, полиамины и т. д.) традиционными методами синтеза сшитых полимеров (Тураев, 2011).

- **прививка** вышеуказанных мономеров в природные полимеры (крахмал, целлюлоза и ее эфиры, декстран, желатин), обеспечивающая образование сети.
- **химические реакции полимеров**, например, гидролиз сшитого и (или) модифицированного полиакрилонитрила (Тураев, 2011).
- **радиационный метод**. Метод основан на облучении растворов полимеров или мономеров электронами с различной энергией. В качестве источника используется изотоп ^{60}Co . В этом случае из растворимых линейных полимеров получают сшитые нерастворимые. На свойства гелей влияют доза облучения и концентрация мономера в исходном растворе. К недостаткам этого метода можно отнести сложность управления свойствами получаемых полимеров. Гели, полученные методом радиационного сшивания, как правило, имеют большой набор макромолекул с различной молекулярной массой и обычно растворяются в большом количестве воды;
- **суспензионная полимеризация**. Процесс заключается в том, что все компоненты окислительно-восстановительной системы, необходимые для полимеризации, сшиваются друг с другом в присутствии двух несмешивающихся растворителей, например, воды и гексана, воды и гептана, воды и бензола. Суспензионную полимеризацию иногда проводят в присутствии эмульгаторов (стеариновой кислоты, глицерина). Таким образом, гели получают в виде мелкодисперсных частиц в виде гранул или мелких частиц;
- **способ получения гелей в присутствии окислительно - восстановительных систем:**
 - в присутствии соединений, которые могут окисляться и восстанавливаться;
 - в присутствии ионов переходных металлов или соединений переходных металлов, или, например, хлоропорфирина железа.

На рисунке 1.8.1 представлен механизм радиационной сшивки. На рис.1.8.2 представлена схема производства гидрогеля «Ритин – 10».

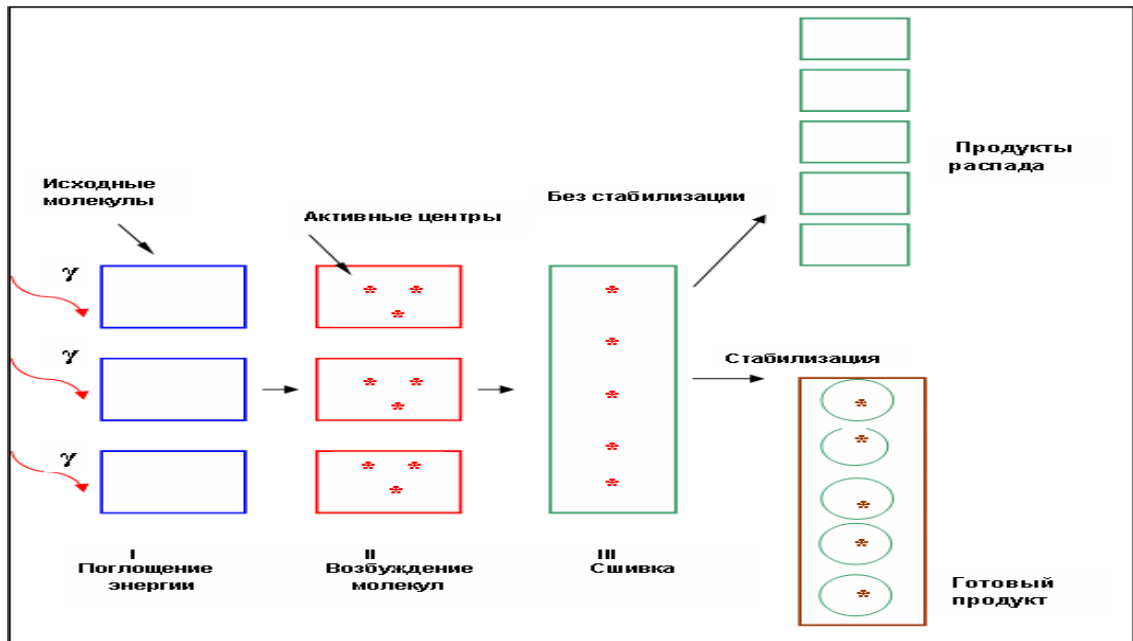


Рис. 1.8.1 - Механизм радиационной сшивки и стабилизации

Таким образом, в результате проведенного литературного обзора по физико-химическим и физико-механическим свойствам полимерных гелей, было выбрано основное направление в исследованиях, представленных в данной работе.

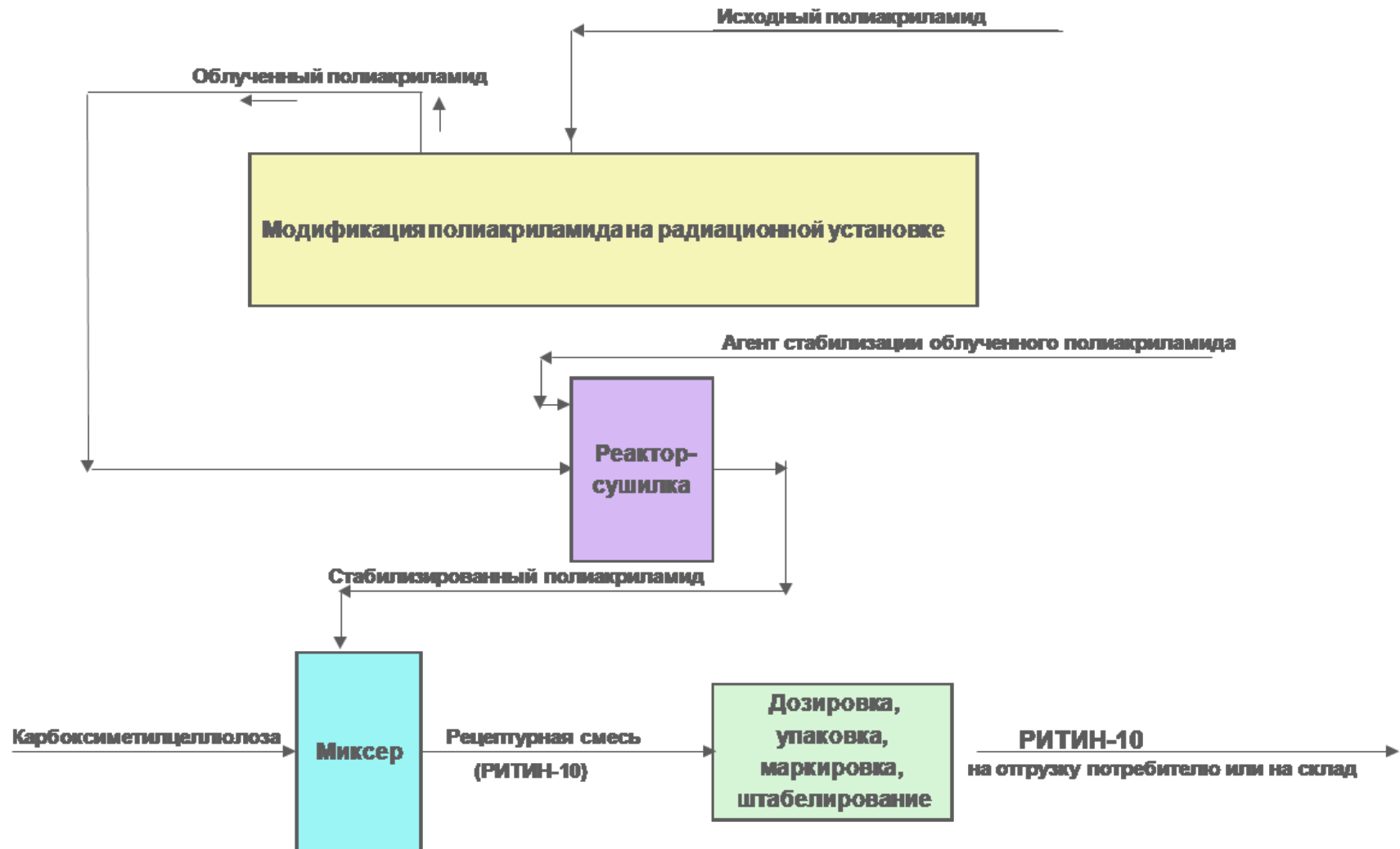


Рис.1.8.2 - Схема производства полимерного реагента Ритин -10

ГЛАВА 2. ПОЧВЕННО — КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ

В условиях изменения климата, наблюдаемого во многих регионах Российской Федерации, участились периоды устойчивых погодных условий с необычно высокими для данного региона температурами воздуха и экстремально малым количеством осадков, что привело к уменьшению запасов влаги в почве и угнетению сельскохозяйственных растений. Возможность засухи может быть определена заранее только отдельными факторами. Например, осенние запасы влаги в одном метре почвы ниже 50 % от среднеголетних свидетельствуют о недостатке влаги в почве. Если количество снега и запасы влаги в нем не превышают половины среднеголетней, то риск засухи следующей весной также очень высок (Национальный доклад, 2021).

Существует три типа засухи: атмосферная, почвенная и общая (или атмосферно-почвенная). Основным признаком атмосферной засухи считается антициклональная сухая погода с длительными периодами без дождей (или с крайне малым количеством осадков) и сильной засушливостью воздуха. В последние годы, особенно после сильной засухи 2010 г., большое внимание уделяется анализу трендов исключения атмосферных образований, объясняющих стабильность и устойчивость таких областей высокого давления. В гидрометеорологической системе мониторинга природной опасности согласно Росгидромета РД № 52.88.699-2008 опасной атмосферной засухой является следующее определение: «В период вегетации растений - отсутствие эффективных осадков (более 5 мм в сутки)» для не менее 30 дней подряд при максимальной температуре воздуха выше (для южных районов РФ - выше 30°C). В отдельные дни (не более 25% сезона) максимальные температуры воздуха возможны ниже установленных пределов. Почвенная засуха - опасное агрометеорологическое явление: в начале засухи запасы продуктивной влаги в слое 0–100 см были менее 50 мм слоя, быстро сокращались и становились недостаточными для роста и развития растений.

Существует большой разрыв между потребностями растений во влаге и тем, что они получают из почвы, что значительно снижает их продуктивность. При совместном наблюдении двух видов засухи возникает наиболее опасная общая (атмосферно-почвенная) засуха, нарушающая нормальные процессы в тканях растений и вызывающая тяжелые повреждения или гибель растений. В зависимости от сроков наступления засухи сезоны делят на: весенний, летний, осенний или двухсезонный, например, весенне-летний, который во многих районах является наиболее опасным, потому что совпадает со временем формирования генеративных органов сельскохозяйственных культур (Национальный доклад, 2019). Территории недостаточного увлажнения существенно различаются по степени аридности и засушливости климата, и подразделяются на экстра-засушливые, засушливые и полузасушливые. Экстра-аридные - районы, где вероятность климатически обусловленных засух составляет 75-100%, засушливые - 50-75%, полузасушливые - 20-40% (саваны, пампы, пушты, прерии). В степной зоне наблюдаются редкие засухи с вероятностью 10-15%. Таким образом, участки суши, где органическая жизнь в значительной степени находится под влиянием засухи в течение длительного времени, относятся к засушливой зоне (Воронина, 2009). В 1977 году ЮНЕСКО составила единую новую картину в масштабе 1: 25 000 000, чтобы уточнить и установить границы засушливых регионов мира. На карте обозначены четыре биоклиматические зоны.

Экстра-аридная зона. Осадков выпадает менее 100 мм; отсутствует растительный покров, за исключением эфемерных растений и кустарников вдоль русла ручьев. В этой зоне невозможно вести земледелие и животноводство (за исключением оазисов). Экстра-аридная зона представляет собой ярко выраженную пустыню с вероятными засухами в течение одного или нескольких лет подряд (Бедрицкий, т.2, 2009; Воронина, 2009).

Засушливая зона. Количество осадков составляет 100-200 мм. Растительность в основном разреженная, представлена многолетними и однолетними суккулентами. Земледелие невозможно без орошения. В этой зоне развито кочевое скотоводство.

Полузасушливая зона. Осадков выпадает 200-400 мм. Растительность представлена кустарниковыми сообществами с прерывистым травянистым покровом. Зона возделывания богарных сельскохозяйственных культур (“сухое” земледелие) и животноводства (Бедрицкий, т.2, 2009; Воронина, 2009).

Зона недостаточного увлажнения (субгумидная). Количество осадков составляет 400-800 мм. В эту зону входят тропические саванны, средиземноморские сообщества, такие как маки и чапараль, черноземные степи. Субгумидная зона - традиционное богарное земледелие. Для высокопродуктивного использования земель необходимо орошение (Воронина, 2009).

2.1 Аридная и полуаридная климатические зоны

Аридный климат (засушливый климат), тип климата, характеризующийся недостаточным атмосферным увлажнением и высокими температурами воздуха. В зоне аридного климата потенциальное испарение всегда превышает количество осадков. Характерен для зон субтропических пустынь и полупустынь, которые летом находятся под воздействием разреженных областей пониженного атмосферного давления без фронтов - тропических депрессий. Погода летом малооблачная, сухая и жаркая, но при этом с сильными суточными колебаниями температуры воздуха. Среднемесячная температура летом около 30°C, в некоторых регионах до 39°C. Горные породы разрушаются и превращаются в песок, возможны песчаные бури. Зимой во многих областях с аридным климатом развивается циклоническая деятельность, которая способствует формированию неустойчивой погоды с резкими колебаниями температуры и осадков. Количество осадков от 100 до 200 мм в год. Реки, протекающие из соседних районов, мелеют и заканчиваются бессточными котловинами с солоноватыми озерами. В условиях аридного климата формируется аридный рельеф. Земледелие в этом климате возможно только при искусственном орошении. Особую разновидность аридного климата представляет резко континентальный климат высоких субтропических горных образований Азии (Тибет и Памир), с относительно прохладным летом, холодной зимой и относительно небольшим количеством осадков. Примерно одна

треть территории поверхности суши на земном шаре относится к аридным и полуаридным зонам. В этих районах проблема водных ресурсов является решающей для земледелия. Проблема эффективного использования дождевой и поливной воды в сельских районах имеет большое значение в полусухих и засухоустойчивых районах, где недостаточный расход воды часто является ограничивающим фактором, определяющим рост и развитие растительности (Shahid et al., 2012; Cannazza et al., 2014). Растения, как в естественных, так и в сельскохозяйственных условиях, часто подвергаются экологическому стрессу (Tue et al., 1985; Volkamar, Chang, 1995; Orikiriza et al., 2009; Yang et al., 2017). Исследования, проведенные в Ираке (Salem et al., 1991), показали, что водоудерживающая способность (WHC) супесчаной почвы, обработанной 0,2, 0,4 и 0,6% - ным гелем, увеличивается с увеличением дозы. Для оценки эффективности гидрогеля (Sky Gel) в улучшении водно-физических свойств супесчаной почвы образцы почвы подвергали циклам увлажнения - сушки (0-14 циклов). При 0 циклах увлажнения - сушки почва сохраняет 63,2, 181,7 и 302,8% воды, что на 4,8 и 12% больше по сравнению с необработанной почвой. После 14 циклов смачивания и сушки соответствующие значения WHC этих концентраций составили 54,4; 135,3 и 242,0%, то есть снижение на 7,9; 18,0 и 19,0% по сравнению с циклом 0. При 0 цикле смачивания и сушки снижение объемной плотности относительно контроля составило 47,9; 62,8 и 74,3%. Эти значения для соответствующих концентраций после 14 циклов сушки составили 43,9; 62,8 и 66,9%. «Исследования влияния полимерного геля Sky Gel (Imec®, SkyGel®, Mebiol Gel®, «Mebiol, Inc.», Япония) на рост, урожайность и водоотдачу растений пшеницы, проведенные в Ираке, показали, что добавление в почву Sky Gel в дозах 4, 8 и 12 % приводило к увеличению числа зерен в колосе с 45,26 в контроле соответственно до 48,94; 50,03 и 51,93. Масса 1000 зерен повышалась при увеличении количества геля: наибольший показатель (4,11 г) получили при 12 % геля, наименьший (3,43 г) — в контрольном варианте» (Данилова, Табынбаева, 2022, с.462).

Высокий процент удержания влаги при использовании гидрогеля в период активного роста (Данилова, Табынбаева, 2022), особенно в стадии выход в трубку - колошение, приводит к высокой интенсивности фотосинтеза в этот период (Choudhry et al., 1994; Akhter et al., 2004). В работе Khadem et. al (2010) показано, что добавление влагоудерживающего полимера может линейно увеличить массу 1000 зерен семян кукурузы и сои. Nayat and Ali (2004) обнаружили, что на продуктивность культуры влияет количество воды, поглощенной полимером. Об увеличении урожайности кукурузы с помощью полимера сообщили Khadem et.al (2010), Табынбаева (2018). Кроме того, (Johnson and Leah, 1990) показали, что использование полимеров, благодаря снижению водного стресса в течение всего цикла выращивания, может улучшить качество урожая. Исследования (Choudhary et al., 1995; Ekebafе et al., 2011; Cheruiyot et al., 2014) подтвердили, что «полимеры способствуют поддержанию влажности почвы за счет изменения распределения почвенных частиц, жидкой и газовой фаз при добавлении воды, что увеличивает долю жидкости по сравнению с газом» (Данилова, Табынбаева, 2022, с.461). Ученые (Fallahi et.al., 2015) исследовали влияние суперпоглощающего полимера (SAP) на водоудерживающую способность (дистиллированная вода и растворы 0,25, 0,5, 0,75, 1 и 1,25% NaCl) и урожайность хлопчатника (дозы геля: 0, 30, 60 и 90 кг/га). Результаты показали, что, умеренный водный стресс (интервалы полива около 15 дней) наряду с внесением 60 кг /га (SAP) был лучшими с точки зрения показателей роста и урожайности хлопчатника. Эффективность использования воды (WUE) с умеренным водным стрессом при дозе полимера 60 или 90 кг/ га была на 26% выше, чем в контроле. Кроме того, водоудерживающая способность (SAP) с дистиллированной воды была в 7 раз выше, чем в случае 1,25% раствора NaCl. В работе (Ejaz et. al., 2022) проведено сравнение влияния различных органических и неорганических материалов на водоудерживающую способность почвы в условиях водного стресса. Основные участки состояли из ирригационных обработок: (контрольный полив), (засуха, вызванная пропуском полива на стадии 4-го листа) и (засуха, вызванная пропуском полива на стадии цветения). Полевые исследования включали контрольную обработку и обработку почвы различными

кондиционерами, такими как полиакриламид калия (КРАМ, 30 кг/га), навоз (FYM, 4 тонны/га) и биоуголь (10 тонн/га); их тщательно перемешивают с почвой перед посевом. Результаты показали значительное снижение влияния водного стресса на следующие параметры: водный потенциал до 35,77% и относительная влажность до 21%, показателей газообмена (скорость ассимиляции CO₂ до 28,85%, транспирация до 43,18%), а также показателей урожайности (биологическая урожайность до 8,45 % и урожайность зерна до 32,22 %) в условиях засухи. Кроме того, водный стресс также индуцировал увеличение синтеза осмопротекторов (пролина (аминокислота) до 77,74%, общего количества растворимых сахаров до 27,43% и общего количества свободных аминокислот до 11,73%). Среди всех используемых почвенных кондиционеров КПАМ (полиакриламид калия) значительно снижал негативное воздействие засухи на растения пшеницы.

Управление и применение передовых технологий для поддержания и удержания почвенной влаги имеют решающее значение для повышения влагоудерживающей способности почвы, эффективности орошения и увеличения урожайности и продуктивности (Данилова, 2019).

2.2 Зона избыточного увлажнения

Зона избыточного увлажнения-это территория земного шара, где количество атмосферных осадков, выпадающих в год, в среднем за длительный период, превышает количество испарения (Бедрицкий, т.1, 2009). При выпадении на поверхность земли, осадки не полностью используются почвой и растениями, какое – то количество испаряется, часть стекает вниз. Без учета расхода влаги на испарение и сток невозможно оценить влагообеспеченность территории. Запас влаги - отношение количества осадков за определенный период времени к количеству влаги, потребленной за тот же период в результате стока и испарения. В районах, где поступление влаги в почву в виде осадков превышает ее расход за счет испарения, имеются большие площади болот и заболоченных земель. В России - территория тундры, тайги, широколиственных лесов и влажных субтропических лесов (Кобышева и др., 1980). В зоне избыточного увлажнения

(лесная зона) необходимо удалять избыток влаги путем интенсификации испарения и стока. Увеличение испарения может быть достигнуто за счет увеличения площади под растениями с высокой испарительной способностью. Осушение чрезмерно увлажненных территорий осуществляется инженерными мероприятиями (осушение и т. д.). Осушенные болота и заболоченные почвы требуют ряда специфических приемов возделывания сельскохозяйственных растений, которые объединяются под термином "болотные культуры" и характерны для рассматриваемой зоны.

2.3 Зона неустойчивого увлажнения

Зона неустойчивого увлажнения - расположена между зонами избыточного и недостаточного увлажнения, здесь наблюдается относительное равенство средних годовых величин испаряемости и осадков (Бедрицкий, 2009; Усков, Усков, 2014.) Здесь в среднем выпадает около 480-500 мм осадков в год, в северной и центральной его частях выпадает менее 450 мм осадков от 30 до 37% лет, в южной и восточной частях таких засушливых лет-от 41 до 55%. В зонах неустойчивого увлажнения, из агроулучшающих мероприятий, первое место следует отдать способам обработки, обеспечивающим удержание и поглощение влаги, а также способам удержания снега. Исследования Гундырина В.Н., Годуновой Е.И., Шкабарбы С.Н. (2014), проведенные в условиях Центрального Предкавказья, в зоне неустойчивого увлажнения, на черноземе обыкновенном показали положительное действие гидрогеля в полевом севообороте. В условиях Краснодарского края проведено исследование влияния полимерного гидрогеля Штокосорб на урожайность сельскохозяйственных культур (Агафонов и др., 2017). Исследование проводилось в течение двух лет. В 2016 году гидрогель вносили в почву, перед посевом сои, на глубину 9-10 см, в дозе 400 кг / га, и сравнивали урожайность сои в разных вариантах опытов. В 2017 году на этом же участке была проведена оценка влияния последствия укладки полимерного гидрогеля в почву на вегетационный период и урожайность озимой пшеницы. Было выявлено, что в первый год закладки полевых опытов урожайность сои на участках с полимерным

абсорбентом превышала контрольные показатели на 8,8%. Последствие гидрогеля было еще более эффективным. Урожайность озимой пшеницы увеличилась на 30,0% по сравнению с контрольным вариантом (Агафонов, 2017). В исследованиях гидрогеля Штокосорб, проведенных в средней полосе России при недостаточном увлажнении, установлено, что посев свеклы инкрустированными семенами увеличил вегетативную массу растений на 29 %, а урожай корнеплодов на 52 %, стандартность корнеплодов увеличилась на 1-8 % (Давыдов, Гуменный, 2011). Исследования суперабсорбента Аквасин, проведенные в фермерских хозяйствах Липецкой и Воронежской областей, показали положительное влияние геля на урожайность подсолнечника (прибавка урожая составила 22 ц/га – на 11% больше контроля) и кукурузы (прибавка урожая – 3,5 ц/га – 5,6 % в отличие от контроля). Производственные испытания ретарданта Аквасин, проведенные Татарским НИИСХ –ОСП «ФИЦ КазНЦ РАН» на посевах яровой мягкой пшеницы показали эффективность геля в повышении урожайности культуры. Абсорбент позволил в засушливый период июня-июля более рационально использовать накопленную влагу в почве за осенне-весенний период. Урожайность яровой пшеницы в опытах с гидрогелем была получена на 4,9 -5 ц/га (12 %) выше, чем на контрольном варианте.

Орошаемое земледелие

Орошаемое земледелие является одним из основных направлений интенсивного земледелия в регионах недостаточного и неустойчивого естественного увлажнения. В России орошаемое земледелие развивается в пустынных, полузасушливых, засушливых и недостаточно обеспеченных влагой районах в определенные периоды года. Для аридной зоны орошаемое земледелие является одним из основных средств интенсификации сельскохозяйственного производства, гарантирующих высокие урожаи сельскохозяйственных культур. На орошаемых землях урожайность сельскохозяйственных культур в 3-4 раза выше, чем на богарных. Только с помощью орошения можно выращивать такие культуры, как рис и хлопок. Орошаемые земли производят 100% риса и хлопка,

75% овощей. Орошаемые земли засеваются в основном высокоценными культурами, а структура посева часто узкоспециализирована. Например, в Средней Азии при орошении выращивают хлопок, рис, виноград, овощи и плодовые культуры; на Северном Кавказе и в Закавказье - рис, пшеницу, кукурузу, овощи, фрукты, виноград; на Украине – пшеницу, кукурузу, сахарную свеклу. В Поволжье все культуры севооборота - пшеница, рис, подсолнечник, кормовые культуры, овощи, картофель, кукуруза - возделываются при орошении. Орошаемые земли на Дальнем Востоке в основном заняты рисом. Кроме того, в районах Нечерноземной и Центрально-Черноземной зон в засушливые годы поливают овощные, плодово-ягодные культуры, кормовые культуры, луга. Орошаемое земледелие развито и за рубежом. Во многих странах (США, Мексика, Италия, Румыния, Польша и др.) орошаемые земли составляют от 1 до 15% посевных площадей; в ряде стран (Афганистан, Вьетнам, Иран и др.) орошается половина или более пахотных земель; в некоторых странах (Саудовская Аравия, Оман и др.) сельское хозяйство возможно только при орошении.

Предгорно-степная зона юго-востока Казахстана относится к зоне орошаемого земледелия. В этих условиях в последние годы наблюдается дефицит водных ресурсов, что требует разработки новых технологических приемов с целью улучшения влагообеспеченности посевов орошаемых культур, в том числе кукурузы на зерно. Исследования влияния абсорбента "Аквасорб" на урожайность зерновых культур в предгорно-степной зоне юго-востока Казахстана проводились на озимой пшенице на полузасушливых землях и кукурузе на зерно при орошении (Табынбаева, 2018). В условиях предгорно-степной зоны юго-востока Казахстана, на светло-каштановых среднесуглинистых почвах, применение абсорбента "Аквасорб" способствовало рациональному использованию продуктивных запасов влаги на полуобеспеченной богаре. На посевах озимой пшеницы и кукурузы при улучшении влагообеспеченности почвы, за счет введения гидрогеля и уровня азотного питания (N_{45}), урожайность зерна повышалась, а величина коэффициента водопотребления снижалась. Так, применение абсорбента на посевах озимой пшеницы повышает урожайность зерна до 5,2 ц / га на фоне без азотных

удобрений и до 6,6 ц / га при подкормке. В опыте на кукурузе на зерно при сохранении влажности почвы 60% НВ, урожайность за 3 года колебалась от 66,6 до 85,0 ц / га. При этом прибавка от применения абсорбента составила от 7,2 до 16,0 ц / га, а от азотных удобрений от 7,6 до 14,8 ц/га. Таким образом, с целью улучшения агроメリоративного состояния светло-каштановой почвы в засушливых условиях и снижения испарения влаги при сельскохозяйственном использовании и повышения урожайности озимой пшеницы абсорбент "Аквасорб" следует применять в дозе 20 кг/га в умеренно влажные и влажные годы и в дозе 40 кг/га в умеренно засушливые в комплексе с ранневесенними подкормками азотными удобрениями (Данилова, Табынбаева, 2022). Для повышения урожайности кукурузы на зерно рекомендуется использовать абсорбент "Аквасорб" с нормой 10 кг/га - во влажные годы, а в умеренно влажные и средне-сухие годы 20 кг/га в сочетании с азотными удобрениями (Табынбаева, 2018; Данилова, Табынбаева, 2022).). В таблице 2.1 представлен технологический паспорт применения гидрогелей в прецизионных технологиях.

Таблица 2.1 - Технологический паспорт применения гидрогелей в прецизионных технологиях

Характеристики гидрогеля				Характеристики объекта		Технологические характеристики			Динамика водопро- прочности и водо- удерж.способность (%)			Эффект от приме- нения	Литерат ура
Назва- ние	Химическая формула	Проис- хожде- ние	Способ получе- ния	Тип почвы (агрегат ный состав)	Культу- ра	Назна- чение (водоуд острук турив.)	Способ примен ения (порош ок,жидк ость)	Концен трация (дозы) %	3	2	3		
									дня	неде ли	меся ца		
К- 4 Полиак рилнит рил	$\left[-CH_2 - \frac{CH}{COONa} - CH \right]$ $\left[-\frac{CH}{CN} - CH_2 - \frac{CH}{COONa} \right]$	на основе синтетиче ского полимера полиакри лонитрил а на основе природног о газа	в основе лежит реакция взаимодейс твия полиакрило нитрила и едкой щелочи (NaOH)	сероземы (УзССР)	хлоп чат - ник	водопр очность	1) раствор енный с переме шивани ем	контрол ь 0,05- 0,08 0,10- 0,20	1 43 65	3 49 66	4 53 66	ускоряет созревание на 2 неде ли уменьшает испарение влаги из почвы на 20%, увеличива ет урожай- ность до 20-30%	Ахмедов и др, 1962; Гуссак, 1961
							2)раств оренны й без переме шива - ния	контрол ь 0,05- 0,08 0,10- 0,20	1 43 65	3 49 66	4 53 60		

Продолжение таблицы 2.1

ПАА-полиакриламид	$\left[-CH_2 - \frac{CH}{CONH} \right]$	на основе акриловой кислоты	для получения ПАА акриловую кислоту нейтрализуют сухим аммиаком	дерново-подзолистая глинистая (Ленинградская обл.) >0,25 мм	-----	водопрочность	в жидком виде	контроль 0,03-0,04	май	сентябрь	---	повысило водопрочность агрегатов в 1,8-2,0 раза по сравнению с исходной	Ревут и др, 1973
									30,3	25,7			
				типичный тяжелосуглинистый чернозем			в сухом виде	контроль 1,5-3,0 ц/га	59,4	43,4		водопрочность увеличилась с 35% до 70%	
									37,6	36,5			
									63,9	63,9			

Продолжение таблицы 2.1

Jalma	-----	24,5% - гумус; 3,8% - полисахариды	-----	супесчаная карбонатная ближневосточная пустынная легкосуглинистая карбонатная ближневосточная пустынная среднесуглинистая карбонатная ближневосточная пустынная	-----	влагонакопление	в жидком виде	0,2 0,4 0,8 1,6	-----	-----	-----	Внесение геля в дозах 0,2; 0,4; 0,8 1,6 % в образцы супесчаной карбонатной почвы снизило пенетрацию на 19,0; 55,0; 83,0; и 98% соответственно, а диффузивность на 38,0; 76,0; 96,0 и 100%.	Mustafa et al, 1988
-------	-------	---------------------------------------	-------	---	-------	-----------------	---------------	--------------------------	-------	-------	-------	--	---------------------

Продолжение таблицы 2.1

СПГ ₁	-----	прививка акриловой кислоты на кукурузный крахмал	прививку проводили в водной среде под действием химических инициаторов или γ -облучения, набухание СПГ ₁ в интервале от 300 до 1000 мг/г	песок	яровая пшеница	аккумуляция большого объема воды и передача его растениям	в водном растворе набухание 420 мг/г в растворе Кноп набухание 35-40 мг/г	0,1 0,03	----	----	----	Устойчивое завядание на 20-30 суток позднее, чем на контроле	Казанский и др., 1988
СПГ ₂	-----	-----	радиационное сшивание(доза γ -облучения – 3Мрад. набухание 700-10000 мг/г	-----	яровая пшеница	-----	-----	-----	----	----	----	устойчивое завядание на 30-40 дней позднее, чем на контроле	Казанский и др., 1988

Продолжение таблицы 2.1

ОЭЦ	----- ----	на основе оксизтилцеллюлозы и полиакриламида	-----	песок	-----	водопоглощение (потенциал влаги в интервале 0-3 атм -69% около 0-137 кг/кг	в виде порошка	контроль ОЭЦ + песок	ПВ 28,0 31,0	КВ 25,0 25,0	НВ 14,0 17,5		Ревут и др., 1973
Марс 4	-----	редко-штитый полимер акриловой кислоты и акрилат натрия	-----	песок	-----	водопоглощение 0-3 атм = 52% около 0-246 кг/кг	в виде порошка	контроль Марс + песок	ПВ 28,0 34,0	КВ 25,0 31,0	НВ 14,0 17,5		Ревут и др., 1973
Aquasorb	-----	гель, производство Франции	-----	песок	-----	водопоглощение 0-3атм =58 % около 0=300 кг/кг	-----	контроль Аквасорб + песок	ПВ 28,0 40,0	КВ 25,0 36,0	НВ 14,0 25,0	-----	Ревут и др., 1973

Продолжение таблицы 2.1

Саморемонтирующийся водонепроницаемый экран	----- --	радиационноосшитый полимер	-----	песок	-----	1)служит для создания водоемов в песках; 2)влагонакопление сезонных осадков; 3) предотвращение вторичного засоления; 4) потерь удобрений; 5) для Гидроизоляции	в виде порошка на глубину 15-70 см. глубокорыхлитель удобрений ГУН - 4	около 2 т/га 0,25				Противостоит разрезанию в течение 3 суток; повышение доступной влаги от 23 до 43 %; набухание привело к созданию дополнительной пористости на 17-20 %.	Ревут и др., 1973 Романов и др., 1985
---	-------------	----------------------------	-------	-------	-------	--	--	--------------------------	--	--	--	--	--

Окончание таблицы 2.1

Ритин-10	-----	отходы нефтяной промышленности	----- --	-----	водоудер живание	в виде порошк а		0,1 атм.	0,33 атм.	0,5 атм.	0,1г геля удержива ет около 30 мл воды, 0,2г геля на 100г почвы - оптималь ная доза для сохранен ия почвен ной влаги	Данил ова, 2013
					песчаная (Pala S/W)			конт роль 0,1 0,2	32,63 35,63 32,48	30,73 33,88 30,88	29,16 32,48 29,81		
					дерново- подзолис -тая			конт роль 0,1 0,2	39,29 46,52 51,36	37,33 44,92 47,82	36,07 44,52 46,75		
					южный чернозем			конт роль 0,1 0,2	68,63 69,49 71,50	53,12 57,65 61,30	49,02 52,14 50,11		
					серая лесная			конт роль 0,1 0,2	49,20 49,54 52,41	43,15 46,15 48,06	38,22 42,61 45,96		

Примечание: ПВ- полная влагоемкость; КВ – капиллярная влагоемкость; НВ – наименьшая влагоемкость; 0,1 атм, 0,33атм, 0,5атм- давление пластинчатого пресса.

На основании этих характеристик далее рассматриваются основные типы почв, на которых внесение гидрогелей наиболее эффективно.

2.4 Основные типы и виды почв для применения агротехнологий внесения полимерных гелей

Рассмотрим основные типы грунтов, на которых применение гидрогелей дает положительный результат.

Дерново-подзолистые почвы

Дерново-подзолистые почвы-это подтип подзолистых почв, распространены в лесной зоне Восточно-Европейской и Западно - Сибирской равнин. Дерново-подзолистые почвы характерны для зоны лиственных лесов. В Беларуси эти почвы занимают почти половину территории, в России - около 15%, в Украине-около 10%. Они приурочены к водораздельным участкам с глубокими грунтовыми водами и развиваются под совместным действием процессов дернования и оподзоливания на породах различного гранулометрического состава.

В естественном состоянии дерново-подзолистые почвы имеют плодородный серый гумусовый горизонт толщиной всего 10-20 см, под которым залегает беловатая, малоплодородная подзолистая почва. Их агрономические свойства неудовлетворительны. Содержание гумуса низкое - 1-2 %, структура комковатая, реакция среды-кислая. По механическому составу дерново-подзолистые почвы можно разделить на три группы: первая-песчаная и супесчаная, вторая-легкая и средняя суглинистая и третья -тяжелосуглинистая и глинистая. Лучшими из них для большинства культур являются легкие и средние суглинки. Они имеют оптимальные условия увлажнения. На тяжелых суглинистых и глинистых растения страдают от избытка влаги, а на песчаных и супесчаных - от недостатка влаги (Подзолистые почвы: <https://ru.wikipedia.org/wiki>).

Плотность почвы - не главный, но достаточно важный показатель, характеризующий ее плодородие. От этого зависят водно-воздушные и тепловые свойства, развитие корневой системы растений, деятельность микрофлоры и урожайность сельскохозяйственных культур. Плотность верхних горизонтов

дерново-подзолистых почв составляет 1,2 - 1,4 г/см³, нижних - 1,6 - 1,8 г/см³. Пористость почвы в первую очередь определяется ее структурой, зависит от механического и минералогического состава. Водопроницаемость, воздухопроницаемость и воздухоемкость, газообмен между почвой и атмосферой связаны с общей пористостью. Агротомически важно, чтобы почвы имели пористость аэрации не менее 15% объема в минеральных почвах и 30-40% в торфяных почвах

Дерново-подзолистые почвы относятся к почвам со слабо выраженной структурой. Количество водостойких агрегатов размером более 0,25 мм в пахотном слое составляет не более 20-30%. Плотность почвы по профилю изменяется незначительно, составляя 2,60-2,65 г/см³ в верхних горизонтах и 2,70 г/см³ в нижних. Объемная масса значительно возрастает от 1,15-1,30 г/см³ в верхних горизонтах до 1,40-1,60 г/см³ к нижним. Величина общей пористости в пахотном слое только хорошо окультуренных почв достигает 50-58% и снижается до 40-45% по профилю почвы. Для суглинистых и глинистых дерново-подзолистых почв характерны периодическое и постоянное избыточное увлажнение, недостаток воздуха. На дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава наоборот - наблюдается недостаток влаги (Ковриго, 2008).

Серые лесные почвы

Серые лесные почвы встречаются на большей части территории России. Это лесостепные районы, граничащие с таежными районами на севере и степными районами на юге. Серые лесные угодья на территории России представляют собой сплошную полосу в европейской части страны. Они расположены на обширной территории от границы с Украиной до Уральских гор. Серые лесные почвы захватывают и территорию к востоку от Алтая. Это территория Западно - Сибирской равнины. Зона серых лесных почв составляет 3,5% от общей площади Российской Федерации (Серые лесные почвы: wikipedia.org). Лесостепь-переходная зона от влажного климата таежно-лесной зоны к засушливому климату степей. На севере осадки и испарение уравновешены ($KУ > 1$), на юге

испарение превышает осадки ($KU = 0,77$). Общей закономерностью лесостепного климата является уменьшение влагообеспеченности с севера на юг и увеличение похолодания и континентальности с запада на восток (Ганжара, 2001).

По характеру процессов оподзолирования в серых лесных почвах различают 3 основных типа: светло-серые, где процесс оподзолирования выражен сильнее; серые -подзолистый слой практически не наблюдается; и темно-серые почвы, содержащие гумус как в верхнем слое, так и в более глубоких горизонтах. Агрофизические свойства этих почв, неблагоприятны. Поэтому главными мероприятиями, направленными на повышение их сельскохозяйственной ценности, являются известкование, систематическое внесение органических и минеральных удобрений, углубление пахотного горизонта, травосеяние. После устранения дефицита азота в этих почвах хороший эффект дают фосфорные удобрения.

Серые лесные почвы - важнейший ресурс для развития всех отраслей растениеводства. Большие площади серых и темно-серых почв лесостепной зоны засеяны пшеницей или заняты картофелем, подсолнечником и сахарной свеклой. На этих почвах хорошо растут кукуруза, лен, огурцы и другие овощные культуры (Серые лесные почвы: https://studopedia.ru/24_49529_vopros--serie-lesnie-pochvi.html).

Каштановые почвы

Место происхождения-сухие степи с засушливым климатом, недостаточным количеством осадков и высоким уровнем испарения. Каштановые почвы распространены в сухих степях умеренного пояса; на территории Украины - в условиях сухих Черноморских и Сивашских степей; в России - в сухих степях Калмыкии, Волгоградской, восточнее Ростовской, Саратовской и южнее Оренбургской областей; в Казахстане – на юго-востоке и в западной части страны вблизи границы с Россией. Широко распространены в Турции, Монголии, Северном Китае, США, Аргентине.

Климатические условия зоны каштановых почв характеризуются резко континентальными и засушливыми условиями. Эти почвы характеризуются непромывным водным балансом, недостатком продуктивной влаги, щелочностью и сложностью почвенного покрова. Материнские породы каштановых почв представлены в основном карбонатными отложениями, среди которых преобладают лессовидные суглинки, лессы, карбонатные супеси, карбонатные пески и супеси, аллювий. Каштановые почвы содержат карбонаты и гипс в нижней части профиля; наличие легкорастворимых солей определяет солонцеватость каштановых почв. Верхний горизонт (гумусовый) каштановых почв бурового цвета (на глубине 13-25 см); структура его комковато-зернистая или комковато-илистая. Поглощающий комплекс в основном насыщен кальцием (70 - 80%), магнием (15 - 30%), водорастворимые соли в не щелочных почвах - до 0,2-0,3%, в солонцовых до 0,5%, на глубине 120-170 см - 0,5-2%. Каштановые почвы подразделяются на 3 подтипа: темно-каштановые почвы, каштановые, светло-каштановые. Это подразделение основано на различиях в солевом профиле, в содержании и составе гумуса, глубине залегания карбонатных отложений, гипса и легкорастворимых солей. Содержание гумуса зависит от механического состава; в темно - каштановых глинистых и суглинистых почвах - 3,5 - 4,5%, в легко - суглинистых и супесчаных - 2,5 - 3%, в светло - каштановых - 1,5-2,5. По механическому составу каштановые почвы подразделяются на глинистые, тяжелосуглинистые, среднесуглинистые, легкосуглинистые, супесчаные и супесчаные. Солонцеватые почвы имеют плохие физические свойства: быстро разрушающуюся структуру, низкую пористость и водопроницаемость, $pH = 7,0 - 7,5$. На темно-каштановых и каштановых почвах выращивают многие сельскохозяйственные культуры (пшеницу, ячмень, овес, просо, кукурузу, подсолнечник и др.). На светло-каштановых почвах земледелие возможно преимущественно при орошении. Они используются в основном для пастбищ и сенокосов (Каштановые почвы: https://studopedia.ru/11_127806_kashtanovie-pochvi.html)

Исследования (Романов, 1962), проведенные на светло-каштановых почвах, показали, что применение полиакриламида привело к снижению плотности почвы в 20-см пахотном слое до $1,23 \text{ г/см}^3$, а в контроле до $0,98 \text{ г/см}^3$. В Астраханской области на почвах легкого механического состава отмечено улучшение физических свойств под действием полимера (полиакриламида) в дозах 300, 600 и 1200 кг/га, применяемого в виде раствора: величина плотности снизилась с 1,40 до $1,1-1,20 \text{ г/см}^3$, запасы влаги увеличились на 20-40% в зависимости от дозы полимера. Скорость водопоглощения почвой при внесении 600 кг/га полиакриламида в первые 5 мин была в 5 и в конце первого часа в 3 раза выше, испарение влаги снизилось с $640 \text{ м}^3/\text{га}$ в контроле до $300-450 \text{ м}^3/\text{га}$. Под действием полиакриламида существенно изменился микроагрегатный состав почв. Структурный коэффициент увеличился с 1,3 в контроле до 3,0 (полимер, 300 кг/га), 3,3 (полимер, 600 кг/га) и 4,3 (полимер, 1200 кг/га). Увеличение структуры происходило в первую очередь за счет уменьшения количества частиц $<0,25 \text{ мм}$ и перехода их в более крупные агрегаты.

Чернозёмы

Черноземы - это тип почвы, формирующийся под степной и лесостепной растительностью суббореального пояса. Почвообразование на большей части территории происходит на лессах и лессовидных суглинках, реже на глинах. Почвообразующие породы содержат карбонаты, иногда легкорастворимые соли (солончаки Западной Сибири, Казахстана). Географически черноземы занимают большие площади. В Евразии к черноземной зоне относятся Венгрия, Болгария, Австрия, Чехия, Словакия, Балканы, Молдавия, Украина, Россия (центрально-черноземная область, Поволжье, Северный Кавказ, Южный Урал, Западная Сибирь), Монголия и Китай.

Химический состав черноземов характеризуется высоким содержанием гумуса (от 6 до 15 % и более), которое постепенно уменьшается с глубиной пропорционально снижению количества корней в почве. Реакция гумусово-аккумулятивных горизонтов – $\text{pH} = 6,5 - 7,5$, иллювиальных карбонатных

горизонтов - $pH = 7,5 - 8,5$. Обменная емкость колеблется от 35 до 55 мэкв /100 г почвы. В составе обменных оснований больше всего кальция -75 - 80% обменной емкости, и магний - 15 - 20% обменной емкости. Черноземы обладают хорошими водно-воздушными свойствами, характеризуются комковатой или зернистой структурой, содержанием в ППК 70 - 90% кальция. Реакция среды -нейтральная или почти нейтральная, обладают высоким естественным плодородием, в верхних слоях содержится около 15% гумуса.

В исследованиях Гундырина (2014), Годуновой (2015), проведенных на черноземных почвах, показано, что внесение гидрогеля в дозе 400 кг/га не только улучшает влагообеспеченность возделываемых культур и повышает величину их урожайности, но и способствует увеличению коэффициента структурности обыкновенного чернозема с 1,63-1,65 на контроле до 2,80 (отвальная обработка - 20-22 см) -2,95 (мелкая обработка - 10-12 см). Это связано со снижением доли глыбистой фракции (> 10 мм) при отвальной вспашке с 31,2 до 23,0%, мелкой обработке почвы - с 30,8 до 21,4%. В то же время доля мелких частиц ($<0,25$ мм) также уменьшается с 6,8-7,0 до 3,3-3,9%, или в 1,8-2,1 раза, в зависимости от обработки почвы. В то же время количество агрегатов агрономически ценного размера (0,25-10,0 мм) при внесении 400 кг/га полимера увеличилось, с 62,0-62,2 до 73,7-74,7% или на 11,7 - 12,5%. Стало на 5,7-7,2% больше агрегатов диаметром 0,5 - 5,0 мм, которые обеспечивают наиболее благоприятные условия для почвенной биоты. Их доля возросла с 33,6 - 35,2% до 40,8 - 40,9%.

Таким образом, черноземы обладают достаточно высоким плодородием, но эффективность плодородия этих почв определяется тепло-влажностнообеспеченностью и биологической активностью микрофлоры почвы.

Сероземы

Сероземы -это почвы субтропических пустынных степей и эфемерных полупустынь. Атмосферные осадки зимой и весной пропитывают почву на 1 - 2 м, а высыхание почвы летом снижает влажность почвы до максимальной гигроскопичности. Материнские породы - лессы, лессовидные суглинки

пролювиального происхождения, подстилаемые галькой. Согласно классификации 1977 года, серые почвы делятся на три подтипа: - светлые; - типичные; - темные.

Светлые - самый засушливый тип, темные - наименее засушливый. Содержание гумуса: в светлых почвах - 1-1,5%, в темно-серых почвах - 3,5-4,0%. ЕКО в светло - серых почвах около 10 мг × экв, в темных почвах-до 20 мг × экв / 100 г. В составе поглощенных катионов - Ca^{2+} , Mg^{2+} и 3-5% Na^{+} и K^{+} , калий в основном преобладает над натрием (Ганжара, 2001). Реакция среды нейтральная и слабощелочная. Водорастворимые соли и гипс залегают глубже 1,5 - 2 м. Сероземы характеризуются высокой пористостью, низкой плотностью и четко выраженной микроструктурой (Ганжара, 2001).

Сероземы обладают хорошими водно-физическими свойствами, отсутствие вредных солей определяет высокое потенциальное плодородие этих почв. Орошение - важнейшее условие земледелия на сероземах. При внесении минеральных и органических удобрений и соблюдении севооборотов, на сероземах получают высокие и устойчивые урожаи (Сероземы: <https://lektsiopedia.org/lek-23379.html>).

ПОЧВЫ ПУСТЫННО-СТЕПНЫХ И ПУСТЫННЫХ ЗОН

Обширная территория полупустынь и пустынь составляет около 8% площади России и простирается от Каспийского региона до границ с Монгольской Народной Республикой. Основными особенностями климата территории являются ее сухость и резкая континентальность. Годовое количество осадков составляет 150-200 мм на севере и 100 мм на юге; около трети осадков выпадает летом. Скорость испарения в 4-5 раз выше, чем выпадение осадков. Следует отметить, что существует большое разнообразие почвообразующих пород по механическому составу и солёности. Прикаспийская низменность характеризуется лессовидными суглинками, а также засоленными аллювиально-озерными и древними аллювиальными песчаными и песчано-глинистыми отложениями. Материнскими породами Субурального плато являются известняки

и глинистые сланцы. Лессовидные карбонатные суглинки, а также солончаковые третичные отложения широко распространены на Казахстанском мелкосопочнике. В пределах Тургайской возвышенности наряду с породами легкой текстуры распространены тяжелые суглинки на гальке, часто солончаковые. Древние аллювиальные песчаные отложения широко распространены в пустынной зоне. Кроме того, материнскими породами являются древние и современные аллювиальные и озерно-аллювиальные отложения (Туранская низменность), тонкие щебнистые покровные суглинки и супеси (плато Устюрт), элювий и делювий палеогеновых песчано-ледниковых пород (плато Бетпак-Дала), сланцы, мергелевые глины, часто гипсоносные, элювий и делювий магматических пород (плато Заунгуз). Материнские породы предгорно-пустынно-степной зоны более однородны. Это лессы и лессовидные суглинки, часто подстилаемые галькой, аллювиальные и делювиальные суглинки и глины (http://dipland.ru/География/Почвы_в_пустынной_зоне_108209)

Пески и песчаные почвы

Пески - это геологические образования, образовавшиеся в результате выветривания горных пород и повторного осаждения продуктов выветривания водой или ветром. Они слабо подвержены почвообразованию и занимают обширные территории на земном шаре. Пески и песчаные почвы встречаются во всех зонах Земли. На Украине известны Нижне-днепровские пески. Большие песчаные массивы находятся в полупустынях и пустынях Средней Азии: Каракумские, Кызылкумские, Прибалхашские, Приаральские, Большие и Малые Барсуки.

Песчаные почвы характеризуются преобладанием в их составе песка, незначительным содержанием гумуса и небольшой долей глинистых минеральных частиц. Их агротехническое определение как "легких почв" оправдано тем, что они легки в обработке, чему способствует их сыпучая зернистая структура, они поддаются эрозии, хорошо проводят воздух и влагу, хорошо прогреваются, но и быстро охлаждаются. Песчаная почва имеет

существенный недостаток - истощена биологическая жизнь, так как живущим в ней микроорганизмам не хватает питательных веществ и влаги. Растения, приходится чаще подкармливать удобрениями, т.к. они страдают от неудовлетворительного питания. Для улучшения структуры песчаной почвы необходимо регулярно добавлять вяжущие и уплотняющие компоненты, например, илистые образования, буровую и глинистую муку, которая заполняет поры между частицами песка, торф, а также большое количество перегноя и компоста, которые создают благоприятную биологическую среду для почвенных микроорганизмов. Из-за быстрого выщелачивания удобрения следует вносить довольно часто, небольшими порциями и выбирать те, которые действуют достаточно быстро.

Таким образом, в результате обзора основных типов почв, на которых применение полимерных гелей является наиболее оправданным и эффективным средством, можно разрабатывать современные агротехнологии в растениеводстве, земледелии и мелиорации применительно к конкретным климатическим зонам.

2.5 Агроклиматические ресурсы Северо-Западной зоны РФ

Происходящие климатические изменения занимают одно из первых мест среди экологических проблем в современном мире (Усков, Усков, 2014). Главным фактором глобальных изменений является прогрессирующее потепление климата. Скорость потепления в последней четверти XX века составляет $0,02^{\circ}\text{C}$ в год. На рисунке 2.5.1 показано возрастание среднегодовой глобальной температуры в России и на Земном шаре.

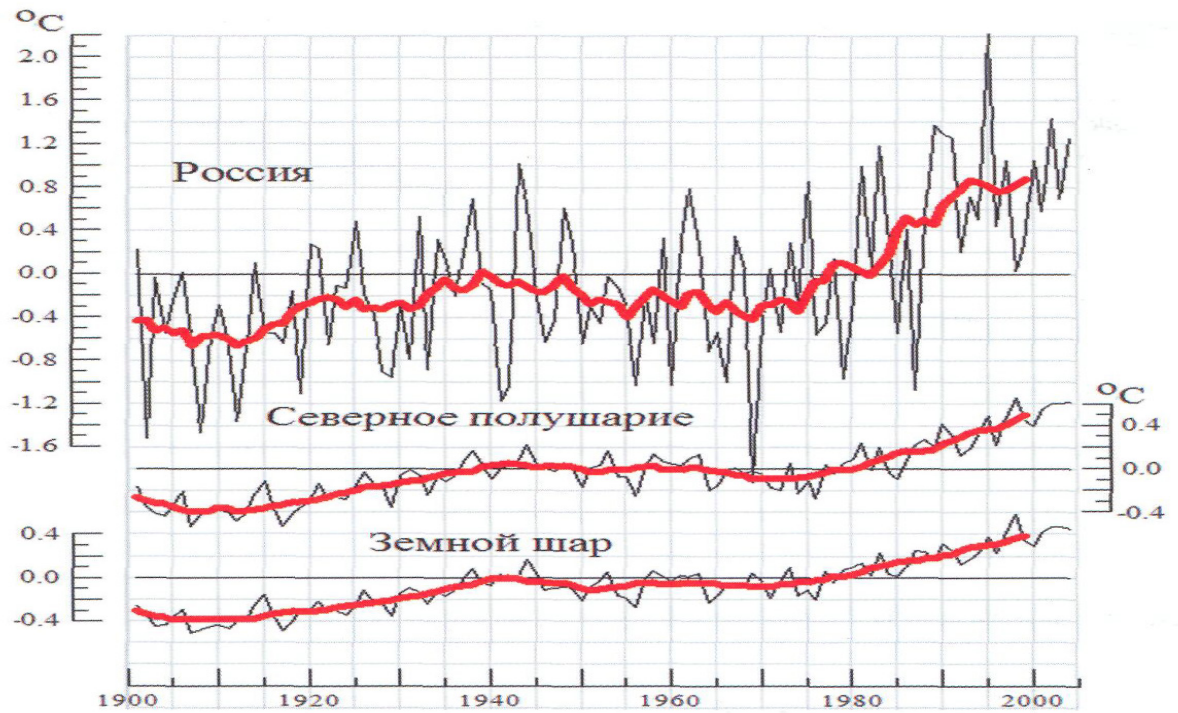


Рис. 2.5.1 - Погодно-климатические изменения (по Ускову, 2007).

Непрерывное потепление более характерно для зимнего сезона. Начинается постепенная смена климатических поясов. Глобальное потепление наиболее характерно между 40 и 70° с.ш., в сухих и засушливых регионах (Усков, Усков, 2014). Авторы отмечают, что наряду с положительной тенденцией среднегодовых температур по России к 2015 г. ожидается увеличение числа аномально жарких дней и продолжительность теплых сезонов в 1,1-1,5 раза. В период 1990- 2100 год глобальное потепление составит от 1,4 до 5,8°C. Потепление способствует тому, что (по Ускову, Ускову, 2014, с.8): «в умеренных и средних широтах наблюдается рост температуры и количества осадков, а в южных районах в областях недостаточного увлажнения - ухудшение влагообеспеченности и увеличение частоты засух». На рисунке 2.5.2 представлены гистограммы повторяемости засух и переувлажнения в вегетационный период.

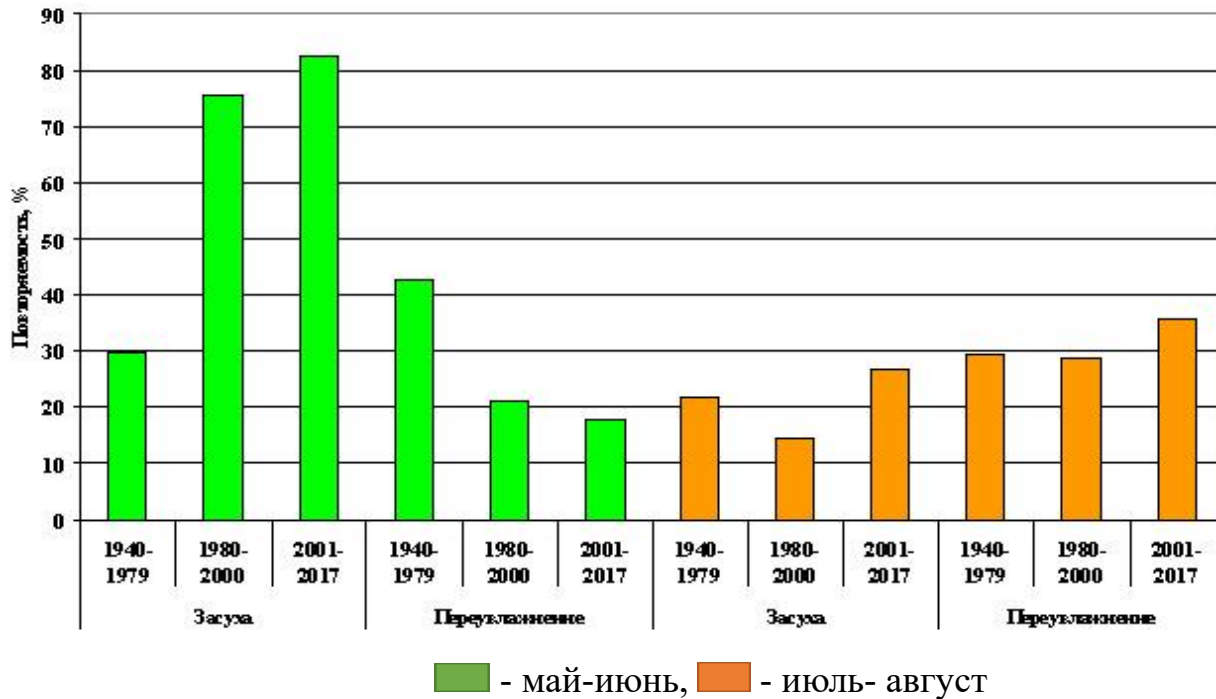


Рис.2.5.2 – Повторяемость экстремальных явлений в период вегетации по годам (по Иванову, Конашенкову, 2018).

Несмотря на интенсивное агротехническое развитие, климатический фактор остается решающим для эффективности сельскохозяйственной деятельности человека. В связи с этим Нечерноземная зона является зоной рискованного земледелия. Однако из-за обширности территории климат здесь имеет сильные отличия: на севере он субарктический, на юге - умеренно теплый, на западе - мягкий с приморскими характеристиками, на востоке - континентальный. Основными его признаками являются избыток осадков (600-750 мм) с ограниченными параметрами теплообеспеченности (сумма активных температур 1200-2500°C) и испарения влаги (300-450 мм) и их крайне неравномерное распределение в пространстве и времени.

Северо-Западная зона РФ имеет одну из самых высоких мезо- и микроклиматических неоднородностей в стране, что сильно влияет на продуктивный процесс сельскохозяйственных культур (Иванов, Иванова, 2021). Мезо- и микроклиматическая изменчивость регионов обусловлена разнообразием природных условий, неоднородностью подстилающей поверхности, различной атмосферной циркуляцией, пестротой почвенного покрова и разнообразием

ландшафтов (Усков, Усков, 2014). При оценке продуктивности каждой мезоклиматической зоны важно учитывать все основные элементы микроклимата. Для оценок влияния глобальных изменений климата существует 4 уровня агроклиматической информации: макроклиматический (зональный), мезоклиматический (внутри региона), микроклиматический (индивидуально-хозяйственный) и наноклиматический (в пределах поля). В работе (Усков, Усков, 2014, с.319) показано, что «присутствует принцип трансформации макроклимата через мезоклимат с учетом местных природных условий в микроклимат отдельных агроэкологических полей». Расчет микроклиматических различий внутри мезоклиматических районов является необходимым уровнем детализации для оценки и прогнозирования урожайности культур в конкретных севооборотах для каждого поля севооборота (Усков, Усков, 2014). В работе (Иванов, Иванова, 2021) отмечается, что глобальное изменение климата приводит к ускоренному увеличению среднесуточного притока тепла северо-западного региона на 0,03–0,04 °С в год по сравнению со среднемировым, увеличению повторяемости экстремальных температур в 1,3 раза, зимних оттепелей - в 1,4 раза, ливневых осадков - в 1,5 раза. Глобальное изменение климата привело к увеличению теплообеспеченности и биоклиматического потенциала сельскохозяйственных районов Нечерноземной зоны на 10-12 %, влажности климата на 13-20 %. В сочетании с положительным эффектом повышения концентрации CO₂ это создает возможность повышения продуктивности сельского хозяйства региона на 17-22%.

Климат Ленинградской области зависит от ее географического положения, от угла наклона солнечных лучей на поверхность и продолжительности дня. Солнечное тепло на протяжении года поступает неравномерно. Продолжительность дня в декабре 5 час. 30 мин., в июне 18 час. 30 мин. С апреля по октябрь приход солнечного тепла превышает его потребление, а с ноября по март, наоборот, потребление тепла превышает его поступление. Среднегодовая температура воздуха в Ленинградской области понижается с запада на северо-восток от +4,5°С до +2,0°С. Самые холодные месяцы январь и февраль. В январе средняя температура -7,5°С, в феврале средняя температура -7,9°С. Самый теплый

месяц – июль (среднесуточная температура +17,7°С. Сумма среднесуточных температур выше 10°С составляет 1600-1800. Для Ленинградской области характерна высокая облачность. Относительная влажность высокая - от 60% летом до 85% зимой. Среднегодовое количество осадков (550—650 мм), превышает количество испаряемой влаги на 200—250 мм. Это способствует переувлажнению почвы. Средняя сумма активных температур, необходимых для нормального роста и развития злаков, составляет 1600-180000°С. В центральной части Ленинградской области сумма активных температур составляет от 1700 до 1900°С, что при достаточном запасе влаги (500 - 600 мм) позволяет получать хороший урожай зерновых, пропашных и кормовых культур. Однако наибольшую угрозу сельскому хозяйству представляют засухи, которые длятся две декады подряд или более. Гидротермический коэффициент составляет 1,2 - 1,4. В таблице 2.5.1 показан приход фотосинтетически активной радиации за теплый период и год для Ленинградской области.

Таблица 2.5.1 - ФАР за теплый период и год, МДж/м² (по Ускову, Ускову, 2014)

Широта	Долгота	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Период IV - X	Год
Ленинградская область										
61° 02'	28° 55'	184	243	289	271	193	101	18	1320	1517
61° 02'	30° 06'	205	272	306	302	222	119	46	1466	1659
60° 06'	32° 18'	197	293	306	284	201	119	46	1450	1684
59° 52'	30° 02'	168	251	285	281	209	117	38	1349	1517
59° 57'	30° 42'	193	285	310	302	218	134	50	1492	1718
59° 31'	33° 40'	193	260	285	272	201	117	46	1374	1605
60° 19'	32° 54'	184	243	285	281	188	117	42	1341	1567
-	-	193	268	293	285	197	126	46	1408	1626
58° 90'	29° 02'	197	268	302	293	222	126	46	1408	1626

Поступление фотосинтетически активной радиации (ФАР) для теплого сезона и для данного периода вегетации сельскохозяйственных культур

определяется географическим положением района и погодными условиями изучаемого года.

2.5.1. Природно - климатические условия в годы проведения исследований (Меньковский филиал ФГБНУ АФИ)

Угодья МФ Агрофизического научно-исследовательского института расположены под 59⁰- 60⁰ с. ш. «Климат - умеренно теплое лето и продолжительная с оттепелями зима. Среднегодовая температура воздуха +3,4°C, $T_{\max} = +33^{\circ}\text{C}$, $T_{\min} = - 43^{\circ}\text{C}$. Безморозный период - 126 дней. Температура почвы повторяет температуру атмосферного воздуха в динамике. Глубина промерзания почвы в марте - до 52 см. Среднее количество осадков - 708 мм в год. В теплый период выпадает 467 мм осадков, в холодный – 241 мм» (Моисеев, Рижия и др., 2013, с.31). Среднегодовая относительная влажность воздуха - 81%, летом - от 66% до 80%. ГТК составляет 1,6-1,7

В таблицах 2.5.1.1 – 2.5.1.6 представлены метеоданные, полученные на Меньковской метеорологической станции, в годы проведения полевых и вегетационных исследований (2010 – 2017 гг). В таблице 2.5.1.7 показаны среднемноголетние значения температуры и осадков для Гатчины (Ленинградская обл.). В таблице 2.5.1.8 – значения ГТК для зерновых культур за период вегетации.

Таблица 2.5.1.1 - Метеорологические данные в годы проведения полевых исследований (вегетационный период 2010 - 2012 гг.) по данным Меньковской опытной станции

Декады	Среднесуточная температура воздуха, °С											
	2010 г.				2011 г.				2012 г.			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
1	8,9	12,7	20,6	22,9	6,9	18,7	21,3	16,5	9,2	12,0	19,1	16,3
2	17,9	14,1	23,3	18,5	12,0	15,2	19,6	16,7	12,9	16,3	16,0	14,8
3	13,4	16,7	26,4	14,5	14,5	16,7	24,5	16,1	13,3	14,2	21,4	14,9
Средняя за месяц	13,4	14,5	23,4	18,6	11,1	16,9	21,8	16,4	11,8	14,2	18,8	15,3
Среднемноголет - нее значение	10,6	14,6	17,3	15,3	10,6	14,6	17,3	15,3	10,6	14,6	17,3	15,3
Количество осадков в мм												
1	29,9	32,6	29,7	11,8	4,4	0	0,6	3,2	1,6	4,5	4,4	52,8
2	0	25,0	15,1	2,4	16,9	40,8	39,0	67,2	14,9	55,7	8,8	22,1
3	46,4	89,1	14,2	57,8	24,9	15,1	77,3	16,7	25,3	28,8	14,0	59,8
Сумма за месяц	76,3	146,7	59,0	72,0	46,2	55,9	116,9	87,1	41,8	89,0	27,2	134,7
Норма	53	78	80	84	53	78	80	84	53	78	80	84

Таблица 2.5.1.2 - Метеорологические данные в годы проведения полевых исследований (2012 -2013 гг – многолетние травы I года пользования) по данным Меньковской опытной станции.

Декады	Среднесуточная температура воздуха, °С											
	2012 г.				2013г.							
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август
1	11,4	8,8	1,7	-6,2	-3,1	-2,6	-8,4	-1,6	11,7	19,1	18,6	19,7
2	13,7	7,1	3,6	-11,9	-13,1	-5,0	-10,0	6,3	15,6	15,4	16,8	16,4
3	10,2	0,2	0,1	-10,2	-7,7	-5,3	-6,2	5,8	15,8	20,6	17,0	14,2
Средняя за месяц	11,8	5,4	1,8	-9,4	-8,0	-4,3	-8,2	3,5	14,4	18,4	17,5	16,8
Среднемного летнее значение	10,2	4,9	-1,4	-5,1	-6,7	-7,5	-2,6	4,3	10,6	14,6	17,3	15,3
Количество осадков в мм												
1	104,6	34,8	80,6	50,0	29,1	25,1	3,5	18,6	3,0	44,2	27,5	32,9
2	8,1	45,7	44,9	9,2	4,6	16,4	0,0	13,4	86,1	38,9	31,1	27,7
3	66,9	56,0	40,5	17,7	7,3	4,3	2,2	24,8	31,4	11,5	30,2	29,2
Сумма за месяц	179,6	136,5	166,0	76,9	41,0	45,8	5,7	56,8	120,5	94,6	88,8	89,8
Норма	66	64	56	52	45	34	37	35	53	78	80	84

Таблица 2.5.1.3 - Метеорологические данные в годы проведения полевых исследований (2013-2014 гг.- многолетние травы II года пользования) по данным Меньковской опытной станции

Декады	Среднесуточная температура воздуха, °С											
	2013г.				2014г.							
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август
1	12,2	7,8	5,5	-3,8	7,0	-4,0	1,8	0,2	6,0	17,3	16,8	21,7
2	11,3	3,5	3,4	-1,2	-10,9	-0,1	-0,9	6,6	13,8	11,9	19,6	17,2
3	6,8	5,8	0,6	2,6	-15,8	-0,9	3,4	9,6	18,2	11,4	24,6	14,2
Средняя за месяц	10,1	5,7	3,2	-2,4	-6,6	-1,7	1,4	5,5	12,7	13,5	20,3	17,7
Среднемноголе тнее значение	10,2	4,9	-1,4	-5,1	-6,7	-7,5	-2,6	4,3	10,6	14,6	17,3	15,3
Количество осадков в мм												
1	4,2	3,1	50	23	20,4	13	0,8	5,2	61,0	21,5	9,0	5,9
2	0	21	8,1	7,7	23,7	23,1	31,6	9,3	20,7	21,0	4,7	32,4
3	25	40	13	20	3,5	5,9	6,5	0	41,7	23,7	10,2	41,3
Сумма за месяц	29,2	64,1	71,1	50,7	47,6	42,0	38,9	14,5	123,4	66,2	23,9	79,6
Норма	66	64	56	52	45	34	37	35	53	78	80	84

Таблица 2.5.1.4 - Метеорологические данные в годы проведения полевых исследований (2014 – 2015 гг. озимая рожь) по данным Меньковской опытной станции

Декады	Среднесуточная температура воздуха, °С											
	2014г.				2015 г.							
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август
1	13,8	5,3	3,1	-0,8	-4,3	-3,7	1,6	3,4	9,8	14,0	16,6	17,6
2	12,4	3,4	-1,5	0,5	-1,4	-2,1	3,2	4,0	9,4	14,6	12,2	14,5
3	9,8	1,2	-4,9	-6,6	-5,3	1,1	0,4	6,8	14,2	16,3	16,1	17,8
Средняя за месяц	12,0	3,3	-1,1	-2,3	-3,7	-1,6	1,7	4,7	11,1	15,0	15,0	16,6
Среднемесячное значение	10,2	4,9	-1,4	-5,1	-6,7	-7,5	-2,6	4,3	10,6	14,6	17,3	15,3
Количество осадков в мм												
1	1,2	9,5	27	4,3	26,4	30,4	1,4	18,4	13,9	10,3	19,1	5,4
2	2,3	14	0,9	20	43,1	4,8	0	15,6	8,7	0,5	35,6	21,5
3	23,0	2,1	1,2	41	29,3	1,6	5,9	16,1	25,9	34,8	36,7	8,6
Сумма за месяц	26,5	25,6	29,1	65,3	98,8	36,8	7,3	50,1	48,5	45,6	91,4	35,5
Норма	66	64	56	52	45	34	37	35	53	78	80	84

Таблица 2.5.1.5 - Метеорологические данные в годы проведения полевых исследований (2015 – 2016 гг.) по данным
Меньковской опытной станции.

Декады	Среднесуточная температура воздуха, °С											
	2015г.				2016 г.							
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август
1	12,1	5,9	4,0	2,9	-19,7	0	-1,2	4,8	13,1	12,2	16,3	17,0
2	12,9	3,6	2,1	1,0	-12,0	-0,6	-1,3	4,8	11,4	15,4	17,2	14,9
3	11,0	2,3	-0,2	-0,2	-5,4	-1,3	1,3	6,3	16,4	18,5	21,4	17,2
Средняя за месяц	12,0	3,9	2,0	3,7	-12,4	-0,6	-1,2	5,3	13,6	15,4	18,3	16,4
Средневно голетнее значение	10,2	4,9	-1,4	-5,1	-6,7	-7,5	-2,6	4,3	10,6	14,6	17,3	15,3
Количество осадков в мм												
1	16	7,5	13,9	29,7	5,9	25,2	17,1	6,9	0	16,4	49,9	51,8
2	1,0	0	40,2	33,3	42,0	20,1	2,0	58,1	1,0	43,0	33,5	77,8
3	35,1	9,5	8,3	5,3	29,2	18,8	5,9	54,5	15,0	31,7	21,5	27,6
Сумма за месяц	52,1	17,0	62,4	68,3	77,1	64,1	25,0	119,5	16,0	91,1	104,9	157,2
Норма	66	64	56	52	45	34	37	35	53	78	80	84

Таблица 2.5.1.6 - Метеорологические данные в годы проведения полевых исследований (2016 – 2017 гг.) по данным Меньковской опытной станции.

Декады	Среднесуточная температура воздуха, °С											
	2016 г.				2017 г.							
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август
1	13,7	6,4	-5,0	-4,0	-10,8	-8,1	-1,5	4,2	4,7	10,2	13,7	16,5
2	14,4	2,3	-1,9	-3,5	-3,2	-2,0	2,1	-1,0	8,2	14,3	15,2	17,4
3	9,7	1,6	-1,7	1,1	-2,0	-4,2	0,9	3,0	11,6	12,7	16,2	13,2
Средняя за месяц	12,6	3,4	-8,6	-6,4	-5,3	-4,8	1,5	6,2	8,2	12,4	15,0	15,7
Средне- голетнее значение	10,2	4,9	-1,4	-5,1	-6,7	-7,5	-2,6	4,3	10,6	14,6	17,3	15,3
Количество осадков в мм												
1	4,8	20,0	36,6	23,7	6,1	12,0	17,6	5,7	0	23,3	16,0	15,3
2	1,0	2,1	36,6	5,1	19,4	11,1	14,9	41,3	1,6	16,3	34,6	10,7
3	21,2	31,8	26,2	10,3	11,2	29,7	14,5	68,4	23	33,4	36,1	98,4
Сумма за месяц	27,0	53,9	99,4	39,1	36,7	52,8	47,0	115,4	24,9	73,0	86,7	124,4
Норма	66	64	56	52	45	34	37	35	53	78	80	84

Таблица 2.5.1.7 - Среднемноголетнее значение температуры и нормы осадков для Гатчины (норма 1981—2010 гг.)

Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Средняя температура, °С	-6,7	-7,3	-2,6	4,3	10,6	14,6	17,3	15,3	10,2	4,9	-1,4	-5,1	4,5
Норма осадков, мм	45	34	37	35	53	78	80	84	66	64	56	52	684

Источник: [метеостанция «Белогорка»](#)

Таблица 2.5.1.8 - Значения гидротермического коэффициента (ГТК) для зерновых культур за вегетационный период (по Лekomцеву, 2015)

Период вегетации - год	Посев-кущение	Кущение-цветение	Посев-цветение	Цветение-уборка	Посев-уборка
2010	2,13	2,12	2,6	0,5	1,6
2011	1,8	1,8	1,6	2,08	1,9
2012	1,17	1,5	1,4	1,42	1,4
2015	0,9	1,5	1,2	1,6	1,4
2016	0,6	2,3	1,6	2,6	2,0
2017	1,7	1,8	1,8	1,5	1,6

Из данных таблицы 2.5.1.1 видно, что в 2010 году в начале вегетации среднемесячная температура воздуха немного превышала среднее многолетнее значение: в мае - на 2,8⁰С, в июне – практически не отличалась. Однако осадков выпало больше нормы: в мае – в 1,5 раза, а в июне – почти в 2 раза. В период со II декады июля до конца июля и I декада августа наблюдалась аномально жаркая погода. В июле наблюдались 2 волны аномального тепла. Первая волна пришлась на период с 12 по 16 июля, когда среднесуточные температуры в течение 5 дней подряд находились в пределах +26...+29⁰С, что на 8...11⁰С выше нормы среднесуточных температур для этого периода. Максимальные температуры воздуха в это время достигали +32...+33⁰С. Вторая волна аномально жаркой погоды пришла с 22 числа, когда максимальная температура воздуха достигла +35

градусов. В этот период 8 дней подряд среднесуточная температура воздуха была выше климатических значений на 7...12⁰С. Такая аномально жаркая погода сохранялась до 30 июля. Среднемесячная температура июля была намного выше средних многолетних значений. Аномалия составила +6,1⁰С. В августе среднемесячная температура была выше средних многолетних значений на +3,3⁰С. В среднем за июнь количество выпавших осадков составило от 32% до 88 % от месячной нормы. В августе (первая и вторая декада) осадков выпало всего от 3 % до 14 % от месячной нормы. Наличие гидрогеля в корнеобитаемой зоне способствовало получению более высокого урожая сельскохозяйственных культур в этих вариантах по сравнению с контролем.

В 2011 году среднемесячные температуры вегетационного периода превышали значения средних многолетних данных. В июле наблюдался повышенный температурный фон практически в течение всего месяца. В дневные часы воздух нередко прогревался до 25...30⁰С. Одной из характерных особенностей июля явилось то, что при высоком температурном фоне в течение месяца было три резких похолодания, когда в течение суток температура воздуха понижалась на 10 и более градусов, а затем, через 2-3 дня возвращалась к прежнему, очень высокому фону. В среднем за июль количество выпавших осадков составило от 48 до 114 % от месячной нормы. В целом за весь период вегетации наблюдался достаточный уровень увлажнения: немного повышен в июле – выпало на 46 % осадков больше, чем месячная норма. Такие погодные условия способствовали тому, что в полевом эксперименте (на фоне азотных удобрений) у растений яровой пшеницы сдвинулись фазы вегетации, сроки созревания и уборки данной культуры, однако урожайность была хорошая.

В 2012 году температурный фон в мае находится, в основном, выше среднемноголетних показателей, в иные дни превышая их на 6-11 градусов. Наиболее жаркий день был 17 мая, когда воздух прогрелся до 28,3⁰С. Аномалия среднемесячной температуры мая оказалась в пределах от +0,1 до +1,4⁰С. Осадки в мае оказались чуть ниже нормы. Во второй и третьей декадах июня часто шли дожди, преимущественно ливневого характера. Месячная сумма осадков

составила 114 % от нормы. В июле стояла малооблачная сухая погода с повышенным относительно нормы температурным фоном. Максимальная температура воздуха в дневные часы составляла +21...+26⁰С. Среднемесячная температура июля была выше средних многолетних значений на +0,8⁰С. Месячная сумма осадков – 34 % от нормы. В первой декаде августа воздух прогрелся до 20-25⁰С, в отдельные дни до 26-29⁰С. Среднемесячная температура воздуха в августе была близка к средним многолетним (климатическим) значениям, а сумма осадков превысила в 1,6 раз норму. В 2012 году в звене севооборота первой культурой был ячмень с подсевом многолетних трав. Вегетационный период весна-лето 2012 г. характеризовался как слишком влажный с неравномерным выпадением осадков (ГТК посев-уборка урожая - 1,4). Следует отметить недостаток влаги (ГТК = 1,17 и 1,42 соответственно) в основные фазы, важные для формирования урожая, кущение - время цветения и налива зерна. Таким образом, сложившиеся погодные условия весенне-летней вегетации (2012 г.) не способствовали формированию высоких урожаев изучаемой культуры, а в вариантах с высокими дозами гидрогеля наблюдалось даже снижение урожайности ячменя. Из данных, представленных в таблице 2.5.1.2 видно, что климатические условия для перезимовки многолетних трав первого года использования были неблагоприятными как по температуре, так и по влажности почвы. Среднемесячная температура воздуха в сентябре существенно не отклонялась от среднемноголетней, в октябре она была выше среднемноголетней на 0,8⁰С, а в ноябре +1,8⁰С при среднемноголетней -1,4⁰С. В этот период осадков выпало больше нормы в сентябре, октябре и ноябре в 2,7, 2,1 и 3 раза соответственно. В отдельные дни (26 октября и 9 ноября) осадки выпадали в виде мокрого снега, которые сменялись обильными дождями. Устойчивый снежный покров отмечен с 28 ноября при температуре воздуха – 3,2⁰С. Снег выпал на незамерзшую почву. В декабре снега выпало 76,9 мм, в 2 раза больше нормы. Вегетационный период 2013 г был благоприятным для многолетних трав первого года использования. Среднесуточные температуры воздуха в этот период были на 1,5-3,8⁰С выше среднемноголетних значений. Количество осадков превысило

климатическую норму только в мае – в 2,5 раза и в июне – в 1,3 раза, в июле и августе – в пределах нормы. В результате был получен хороший урожай сена многолетних трав I года пользования. В таблице 2.5.1.3 представлены погодные условия перезимовки многолетних трав II года пользования. Условия были не очень благоприятными с точки зрения температурного режима. Среднемесячная температура воздуха в сентябре существенно не отклонялась от нормы, в октябре она была выше нормы $0,8^{\circ}\text{C}$, а в ноябре $+1,8^{\circ}\text{C}$ при норме $-1,4^{\circ}\text{C}$. В этот период осадков выпало немного больше нормы: в сентябре – на 23,7 мм и в ноябре – на 15,1 мм, в октябре – норма. Устойчивый снежный покров в декабре так и не образовался. В начале января преобладала не по-зимнему теплая погода с частыми осадками, преимущественно в виде дождя и мороси. Температурный фон был значительно выше нормы (на 6-10 градусов). Температура воздуха мало менялась от дня к ночи и находилась по области в пределах от -2 до $+3^{\circ}\text{C}$. В начале второй декады месяца выпал снег и похолодало. Ночные температуры понизились до $-8...-13^{\circ}\text{C}$, дневные до $-6...-11^{\circ}\text{C}$. Вегетационный период 2014 года был не очень благоприятным для трав II года пользования. Среднемесячная температура воздуха превышала среднемноголетние значения в 2,5 – 3 раза, а осадков было недостаточно. Осадков выпало в 2,3 раза выше нормы только в мае. Поэтому урожай сена многолетних трав был не высоким.

В сентябре 2014 г. после многолетних трав была посеяна озимая рожь (таблица 2.5.1.4). В сентябре преобладала солнечная погода с дефицитом осадков. Среднесуточная температура в сентябре была на $2,2^{\circ}\text{C}$ выше нормы, в октябре и ноябре температура была немного ниже климатической. В этот период сумма осадков наблюдалась ниже нормы: в сентябре – в 2,6 раза; в октябре – в 2,5 раза; в ноябре – в 1,9 раза. «В период активной вегетации (май-август 2015 г.) среднесуточные температуры были несколько выше среднемноголетних, только в июле температура воздуха отклонялась от нормы на $2,3^{\circ}\text{C}$, т. е. была ниже. За этот период осадков выпало ниже климатической нормы: в мае – 91 % от нормы; в июне – 58,5 %; в июле – 114,8 % (немного выше нормы); в августе – 42 %. Недостаток влаги ощущался практически во все фазы развития озимой ржи

(кущение – цветение ГТК = 1,5, налив зерна ГТК = 1,6)» (Данилова, Табынбаева, 2022, с. 464). Только наличие гидрогеля в корнеобитаемой зоне способствовало получению прибавки урожая озимой ржи на 10-14 % больше, чем на контроле. Из данных таблицы 2.5.1.5 видно, что в «2016 году среднесуточная температура воздуха за период вегетации незначительно превысила норму: в мае +3⁰С, в июне + 0,8⁰С, в июле +1⁰С, в августе +1,1⁰С. Количество выпавших осадков было неравномерным, в мае ощущался существенный недостаток, в июне, июле и августе осадков выпало выше нормы: в июне –116 % от нормы, в июле – 131 % от нормы, в августе -187 %» (Данилова, Табынбаева, 2022, с. 464 -465). В 2016 г (в звене севооборота должен был быть посажен картофель, но оказался плохой посадочный материал и поэтому был посеян ячмень), в период посев – кущение ГТК = 0,6. Во время роста и развития изучаемой культуры (кущение – цветение) ГТК = 2,3. Это сказалось на урожайности данной культуры.

В 2017 году (эксперимент в вегетационных сосудах - «засушник» и полевые условия) «температурный фон в мае оказался ниже нормы на 2,4⁰ С. Наблюдался дефицит осадков, выпало 47 % осадков от месячной нормы. Отклонение среднемесячной температуры воздуха в июне от климатической нормы составило 2...4⁰С. Месячная сумма осадков составила 93,6 % от климатической нормы. В июле также была среднемесячная температура воздуха на 2-3,6⁰С выше нормы, количество осадков совпало с климатической нормой. Среднемесячная температура августа оказалась на 0,4⁰С выше среднемноголетних данных, а осадков выпало 148 % от климатической нормы (таблица 2.5.1.6). Год не очень благоприятный для роста и развития ячменя» (Данилова, Табынбаева, 2022, с. 465), наблюдалось снижение урожайности из-за избытка влаги в вариантах с гелем в слое 10-12 см. Анализ климатических данных показал, что среднемесячная температура вегетационного периода (май-август) в годы проведения полевых исследований была на 1,5⁰-3⁰С выше среднемноголетнего значения. Осенне-зимний период также отличался более высокими среднемесячными температурами по сравнению со среднемноголетними показателями. Осадков выпадало больше климатической нормы.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В Меньковском филиале Агрофизического НИИ в 2010 – 2017 гг. изучали влияние гидрогелей отечественного производства на водообеспечение и продуктивность сельскохозяйственных культур в полевых условиях. На рисунке 3.1 представлен снимок опытных делянок с гидрогелем на полях МФ ФГБНУ АФИ.



Рис.3.1 - Опытные делянки (голубой цвет) на полях Меньковского филиала ФГБНУ АФИ: (поле № 21- пропашные (картофель) культуры - 2011г.; поле № 23 – Агрофизический стационар: ■ – овощные культуры (морковь, капуста) - 2010 г.; ■ – полевой севооборот - 2012-2016 гг.; поле № 24 –зерновые культуры - пшеница (изучение способов внесения геля) – 2010 г.; поле № 26 – зерновые культуры - пшеница (влияние азотных удобрений и гидрогеля) – 2011 г.; ■ – «засушник» - зерновые культуры (ячмень, пшеница) - 2015 – 2017 гг.).

Меньковский филиал ФГБНУ Агрофизического НИИ (опытное хозяйство в его составе) создан как база для испытаний технологий, приборов и других научных разработок АФИ в производственных условиях (Лекомцев, 2015).

Меньковский филиал Агрофизического института расположен южнее Ленинградской области, в Гатчинском районе по координатам 59°41 с.ш., 30°13 в.д. МФ ФГБНУ АФИ занимает площадь 538,56 га. земли, из них: 444,89 - земли

сельскохозяйственного назначения, 278,09 га – пашня, 98,00 - пастбища; 68,80 – поля, занятые под сенокосы. Основная специализация — растениеводство, семеноводство картофеля, зерновых культур, многолетних трав. Площадь семенных посевов всех культур — 58 % от общей площади посевов: под картофелем — 25 га; под зерновые — 80 га; остальная площадь - многолетние травы на сено.

3.1 Почвы и их агрохимическая характеристика.

Почвы МФ ФГБНУ АФИ - автоморфные дерново-подзолистые с различной степенью мощности подзолистого горизонта и агрозоны. В низинах из-за атмосферных осадков и грунтовых вод развиты дерново-подзолистые контактно-глееватые, глееватые и глеевые почвы. На мелиорированных и слабо дренированных землях - перегнойно- торфяно-глеевые почвы (Моисеев, Рижия и др., 2013). «На северо-востоке угодий Меньковского филиала карбонатные морены перекрыты песками и супесями, на глубине 60-80 см - девонским песком. В северо-западной части - карбонатные морены разного механического состава, сверху перекрытые слоем до 50 см водно-ледниковой супеси» (Моисеев, Рижия и др., 2013). Большинство почв, находящиеся в землепользовании Меньковского филиала (более 90 %) являются почвами легкого (супесчаного и легкосуглинистого) гранулометрического состава (Моисеев, Зинчук, 2020; Филиппов, 2021). Почва Агрофизического стационара МФ ФГБНУ АФИ, где проводился эксперимент, дерново-подзолистая средне-окультуренная, гранулометрический состав-супесь, материнская порода-песчаная морена, подстилаемая суглинистой мореной. Исследуемая почва относится к Umbric Albeluvisols (World Research Base; ЕГРППР, 2019; Данилова, 2020). Для оценки эффективности влияния гидрогелей на водообеспеченность сельскохозяйственных культур опыт был заложен на средне-окультуренной почве. В таблице 3.1.1 представлено содержание основных элементов питания перед закладкой опыты.

Таблица 3.1.1- Содержание основных элементов питания в почве перед закладкой опыта. Агрофизический стационар (весна 2012 г.)

№№ ПП	Уровень окультуренности почвы	рН (сол.)	Аммиачный азот, мг/кг	МГ на КГ ПОЧВЫ	
				P ₂ O ₅	K ₂ O
Полевой севооборот					
1	Средний	5,2-5,3	12,2-12,6	231-246	97-118

В таблице 3.1.2 – гранулометрический состав почвы (по Филиппову, 2021),
в табл. 3.1.3 - свойства пахотных горизонтов (по Моисееву с соавт., 2013).

Таблица 3.1.2 - Гранулометрический состав среднеокультуренной дерново-слабоподзолистой почвы (Агрофизический стационар, МФ ФГБНУ АФИ (по данным Филиппова, 2021)

Горизонт	Глубина взятия образца, см	Фракция (размер частиц, мм) %						
		1- 0,25мм	0,25- 0,05мм	0,05- 0,01мм	0,01- 0,005мм	0,005- 0,001мм	< 0,001	<0,01 мм
Апах	0-22	17,6	46,3	21,6	6,2	5,9	4,4	16,5
А ₁ А ₂	22-32	21,7	36,3	25,5	6,2	4,9	5,2	16,3
А ₂ В	32-43	24	46,1	12,8	3,7	5,8	7,6	17,1
В	43-91	19,2	41,1	13,3	3,3	9,1	14	26,4
ВС	91-112	22	38,6	13,5	4,7	3,4	17,8	25,9
Д	112-177	35,9	54,3	2,6	3,8	1,8	1,6	7,2

По мнению Филиппова П.А. (2021), естественное перераспределение гранулометрических фракций между генетическими горизонтами связано с миграцией и осаждением в горизонте В илстых и мелкопылеватых частиц.

Таблица 3.1.3 - Физические свойства пахотных горизонтов почв (по Моисееву с соавт., 2013; Даниловой, 2020).

№ разреза	Горизонт, мощность (см.)	Гигроскопическая влага %	Удельная поверхность м ² /г	Плотность сложения г/см ³	Плотность твёрдой фазы г/см ³
1	A _{пах.} 0-23	0,55	10,6	1,07	2,54
2	A _{пах.} 0-24	0,54	9,4	1,09	2,54

Из таблицы 3.1.2 видно, что общее содержание мелкодисперсной пыли и ила в почве не превышает 6 %, физической глины в среднем 26 %, песка - 74 % (табл. 3.1.2). «Плотность сложения дерново-подзолистой почвы составляет от 1,07 до 1,09 г/см³, удельная поверхность - 9,4 - 10,6 м²/г, гигроскопическая влага в пределах 0,54 - 0,55%» (табл. 3.1.3), (Данилова, 2020; Данилова, Табынбаева, 2022, с. 463).

Физико-химическая характеристика основных генетических типов почв МФ ФГБНУ АФИ

На основе физико-химических характеристик почв проводится оценка почв по степени окультуренности и дальнейшая агропромышленная оценка почв. На основании таких данных оцениваются степень гумусированности почвы, характер распределения гумуса по профилю, а также косвенно оценивается характер самого гумуса, его состав. Фульватный гумус имеет светлую окраску, которая мало влияет на окраску почвенного профиля, не заметна органолептически. Гуминовые кислоты, наоборот, окрашивают почвенный профиль, и если химические методы анализа показывают наличие гумуса в элювиальных горизонтах почв, то это, вероятно, гумус фульватного состава. По физико-химическим показателям судят о кислотности почв, обеспеченности почв подвижными формами калия и фосфора. Физико-химические свойства почвы МФ ГНУ АФИ представлены в таблице 3.1.4.

Таблица 3.1.4 - Физико-химические свойства дерново-слабоподзолистой супесчаной почвы на морене (по Моисееву и соавт., 2013; Даниловой, 2020).

Горизонт	Мощность горизонта (см)	Гумус %	Сумма поглощённых оснований	Гидролитическая кислотность	pH _{кел}	K ₂ O	P ₂ O ₅ (по Кирсанову)
мг-экв. на 100г							
Апах	0-10	2,95	6,09	5,13	4,95	29,49	13,9
Апах	10-20				5,05	34,29	17,89
A ₂ B _g	20-30	2,4	5,84	4,65	4,71	26,31	12,38
A ₂ B _g	30-35	1,53	3,03	3,92	5,03	15,52	12,44
A ₂ B _g	35-40	0,05	1,01	2,08	4,76	6,48	13,95
A ₂ B _g	40-50	-	1,11	1,56	4,85	5,05	19,46
B	50-60	-	0,81	1,21	4,7	6,49	9,43
B	60-70	-	1,21	1,23	4,7	8,18	15,17
B	70-80				4,35	16,3	10,74
B	80-90		4,87	2,1	4,28	16,32	7,36

Из таблицы 3.1.4 видно, что почва является хорошогумусированной, содержание гумуса - 2,95%. Сумма поглощенных оснований - 6 мг/экв на 100 г почвы. Реакция pH -нейтральная и слабокислая, с глубиной наблюдается снижение. Данная почва хорошо обеспечена фосфором и калием (Данилова, 2020).

3.2 Гидрогели и их свойства.

В данной работе исследования проводили с гелями: Ритин-10, Аквасин, В-415 К и Аквасорб.

«Полимер *«Aquasorb»* — «сополимер акриламида акрилата калия пропеновой кислоты, не подвержен биодegradации, не гидролизуеться, не биоаккумуляируется (рис. 3.1.3.1). Удельный вес - 1,10 г/см³, pH=8,10,1 г полимера удерживает около 400 мл воды. Адсорбция: 400 г/г в деионизированной воде; 150 г/г в почве. Вододерживающая способность при рF 1 - 980 мл/л. Доступность воды для растений - 95%. Емкость катионного обмена составляет 4,6 мэкв/г. Продуктивность в почве – до 5 лет, производство «SNF s.a.s.», Франция» (Данилова, Табынбаева и др., 2018, с.4; Данилова, 2020) (Приложение 2).

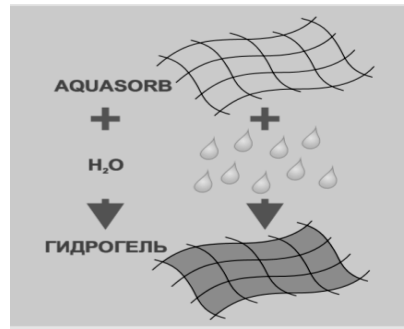
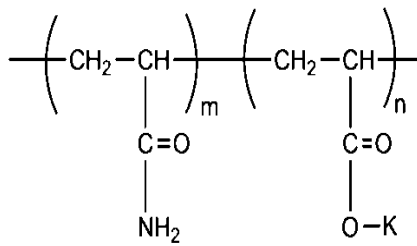


Рис.3.2.1- Структура гидрогеля Аквасорб (Aqusorb, 2018)

«Гель **«Аквасин»** - «сшитый полимер акриловой кислоты на основе соли калия, 1 г геля удерживает около 400 мл воды, содержание сухого продукта не менее 85-90%. Удельный вес 0,6 г/см³, рН = 6. Доступность воды для растений - 95%, устойчивость продукта в почве - до 5 лет. Адсорбция: 400 г/г в деионизированной воде; 150 мг/г в почвенном растворе, в растворе: 0,125% NPK 14-12-14 2MgO> 300 мг/л. Производство - разработан ООО ПКФ «Сингер» (г. Зеленодольск) совместно с ПАО «Татнефтехиминвест-холдинг» (Казань), Россия» (Данилова, 2019, с.276). (Приложение 3).

«Гидрогель **«Ритин-10»** – «сшитый сополимер полиакриламида, синтезирован посредством внешнего воздействия ионизирующего излучения (технология научно-технического полигона ПАО «ЛУКОЙЛ» - ООО «РИТЭК-ЭНПЦ», Россия (рис. 3.2.2). Химический состав гидрогеля: С - 11%; N-4,7%; O₂ - 16,4%; Cl - 1,01%; K-27,05%; Na - 36,98 %, 1 г гидрогеля задерживает около 300 мл воды, доступность влаги для растений - 95 %; производительность в почве - до 5 лет» (Данилова, 2013, с.39, 2016, с.10, 2018, с.2; Данилова, Табынбаева, 2019, с.77).

Химический состав и характеристика гидрогеля представлены в (Приложении 4).

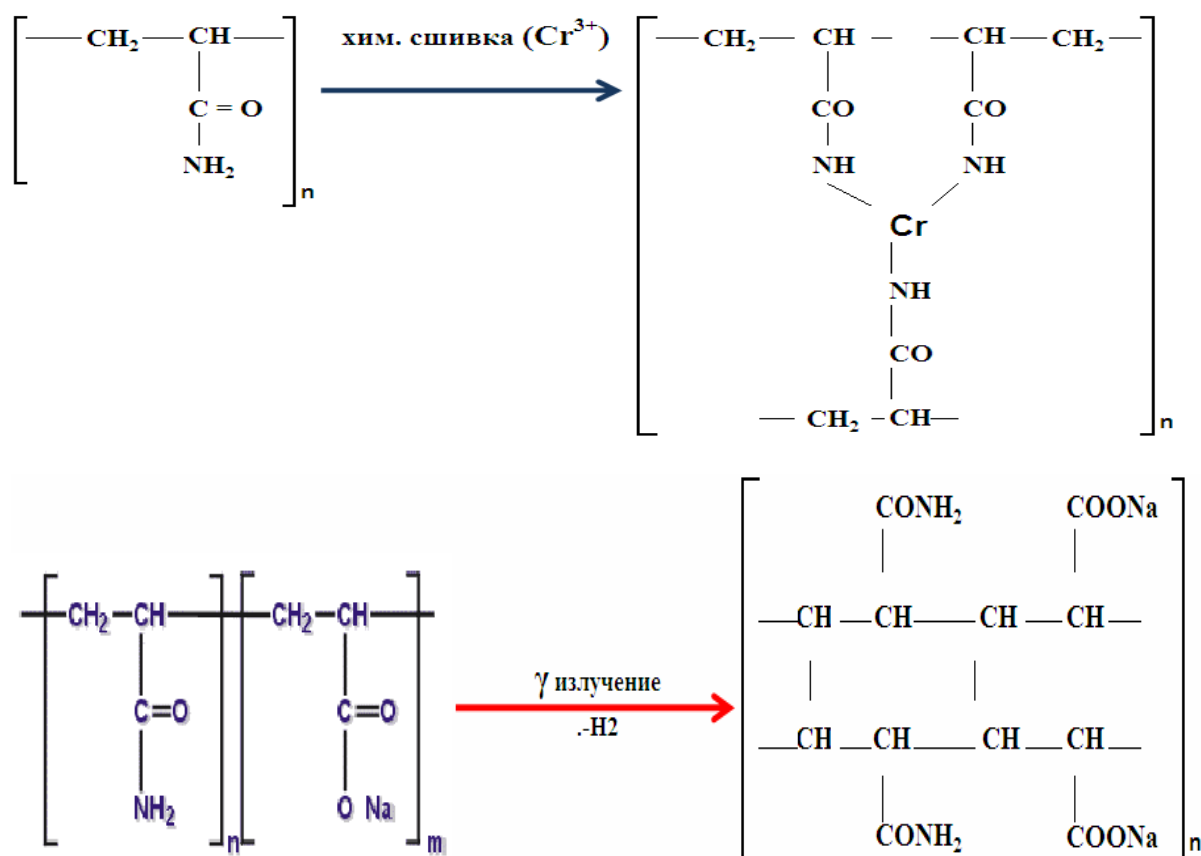


Рис. 3.2.2 - Химическая и радиационная сшивка полиакриламида (технология ООО «РИТЭК» www.ritek.ru) (Данилова, 2013).

«Полимерный гель «*B - 415 K*» - «сшитый сополимер акриламида акриловой кислоты, калийная соль, синтезирован микробиологическим путем, содержание K_2O - 21,4%, не растворим в воде и органических растворителях, $\text{pH} = 7-8$. Адсорбция: 400 г/г в деионизированной воде; 50 мг/г в почвенном растворе, в растворе 0,125% NPK - 150 мг/л. Доступность воды для растений - 95%, устойчивость в почве - до 5 лет. Производство - Саратовское ЗАО "Биокатализ", Россия» (Данилова, 2018, с.2), (Приложение 5).

3.3 Характеристики сортов культур севооборота

Ячмень яровой - сорт Ленинградский.

Родословная: Т 2146 (Чехия) x Kaisa (Швеция). Включен в Государственный реестр селекционных достижений с 2009 года. Рекомендуются к выращиванию в Северо-Западном регионе РФ, в Вологодской и Ленинградской областях

(Сортовые ресурсы ..., 2010). Разновидность паллидума. Промежуточный куст. Нижние листовые влагалища без опушения. Антоциановое окрашивание на кончиках флагового листа отсутствует. Растение низкорослое, колос – цилиндрический с легким восковым налетом. Ости длиннее колоска, зубчатые, края без антоциановой окраски. Первая часть колоска короткая, с очень легким изгибом. Достоинства сорта: ультроspелость, хорошая урожайность, высокое кормовое качество зерна, экологическая пластичность, производство зерносенажа, комбикорма (Сортовые ресурсы ..., 2010). При испытании в Вологодской области сорт «Ленинградский» на 3,0 ц/га превысил урожайность стандарта «Выбор». В Ленинградской области его урожайность на уровне сорта «Суздавец», период вегетации составляет 57-77 дней. Максимальный урожай – 52,4 ц/га получен в 2006 г. На Северо-Западе РФ сорт всегда вызревает и формирует зерно с всхожестью до 98%, масса 1000 зерен 36,0-40,0 г. Норма высева - низкая (160-180 кг /га), что позволяет снизить затраты на семенной материал. Холодоустойчив, кислотоустойчив, засухоустойчив, имеет высокую продуктивную кустистость (2-4 стебля) (Сортовые ресурсы ..., 2010). По стойкости к полеганию - на 1балл ниже, чем у стандартных сортов. Зернофуражный сорт. Содержание белка составляет 11,3-11,9%. Умеренно восприимчив к твердой головне; восприимчив к гельминтоспориозу (Государственный реестр, 2009; Характеристики сортов, 2009; Сортовые ресурсы..., 2010).

Ячмень яровой - сорт Атаман

Родословная: 2768/812 x HVS 91/76. Включен в Государственный реестр по Центральному (3) и Центрально-Черноземному (5) регионам. Рекомендуется для выращивания в Тульской, Орловской и Тамбовской областях. Сорт нутанс. Полураскидистый куст. Влагалища снизу без опушения. Антоциановая окраска колосьев флагового листа слабая, восковой слой на оболочке умеренный. Растение средних размеров. Колос цилиндрический, средней плотности, с легким восковым налетом. Ости длиннее колоса, зубчатые, по краям со светлой или

умеренной антоциановой окраской. Первая часть колоса короткая, слегка изогнутая, без горбинки. Опушение основных щетинок зерновки длинное. Антоциановая окраска жилок наружных цветочных чешуй отсутствует. Зерновка крупная, масса 1000 зерен - 38-49 г. Урожайность в Центрально-Черноземном районе - 38,3 ц/га, в Центральном районе - 30,9 ц/га. В Орловской области прибавка к стандарту «Гонар» составила 6,7 ц/га при средней урожайности 54 ц/га (Сортовые ресурсы ..., 2010). Максимальная урожайность 75,4 ц/га была получена в 2003 г. в Орловской области. Вегетационный период составляет 79-98 дней. По стойкости к полеганию превосходит на 1,5 балла стандартные сорта «Гонар» и «Эльф». Умеренно засухоустойчив, пивоваренный. Подвержен гельминтоспориозу; восприимчив к пыльной головне (Государственный реестр, 2006; Характеристики сортов, 2006; Сортовые ресурсы ..., 2010).

Клевер луговой - сорт Орфей

Сорт создан на основе генотипической смеси пяти перспективных сортов и селекционных номеров Ленинградского НИИ сельского хозяйства "Белогорка", НИИ сельского хозяйства Северо-Востока, Фаленской селекционной станции, НИИПТИ АПК Республики Коми и Уральского НИИ сельского хозяйства. Сорт урожайный, высокопластичный, одноукосный, среднепоздний. Куст прямостоячий, 56-116 см высотой, средней густоты, 5-7 стеблей на куст. При самостоятельном стоянии кустистость - 31-89 стеблей. Сорт «Орфей» устойчив к весенним заморозкам. Кормовая ценность хорошая, содержание сырого протеина составляет 13-17,5%. Поражение корневыми гнилями и склеротиниями на инфекционном фоне - ниже нормы, на естественном фоне - слабое, восприимчивость к поражению клеверным семеедом до 30%. Урожайность сухого вещества составляет в среднем от 7,2 до 10,0 т/га. Максимальная урожайность сухого вещества составляет 13,0 т/га, семян - 649 кг/га (Государственный реестр, 2000; Характеристики сортов, 2000; Каталог сортов с/х культур селекции «Белогорка»).

Тимофеевка луговая - сорт Ленинградская 204.

Сорт относится к сенокосно-пастбищному типу. При использовании на сенокосе хорошо развивается в двойных и тройных травосмесях с безостым кострцом и луговым клевером; остается в травостое до 7 лет. Для пастбищного использования целесообразно сеять в смеси с мятликом луговым, клевером ползучим и гибридом; стравливается в течение вегетации 2-3 раза, он сохраняется при таком режиме использования на пастбищах в течение 3-4 лет. Сорт высоко-зимостойкий, требовательный к влаге, хорошо растет на глинистых, суглинистых, песчаных почвах, осушенных торфяниках; относительно устойчив к грибным заболеваниям. Урожайность зеленой массы составляет 30-45 т/га, сена 7-9 т/га, семян 300-500 кг/га. Содержание сырого протеина в сухом веществе 10,5%, клетчатки 33,8%. (Государственный реестр, 1949; Каталог сортов с/х культур селекции «Белогорка»).

Рожь озимая – сорт Славия

Оригинатор – ГНУ Ленинградский НИИСХ Россельхозакадемии. Родословная: метод сложных гибридных популяций. Включен в Госреестр селекционных достижений с 2009 года по Северо-Западному региону РФ (Сортовые ресурсы..., 2010). Рекомендован для выращивания в Ленинградской области. Сорт среднеспелый (период вегетации 310-370 дней), среднерослый, зимостойкий, засухоустойчив, устойчив к полеганию. Куст полупрямостоячий, высота растений от 112 до 157 см. Устойчив к полеганию. Продуктивная кустистость высокая, масса 1000 зерен 32-42 г. Урожайность сорта (5 т/га) превышает стандарт «Волхова» на 1,3 т/га или на 57,3 %. Устойчив к снежной плесени, бурой и стеблевой ржавчине, мучнистой росе. В Ленинградской области (по данным ГСИ) в полевых условиях мучнистой росой поражается слабо, бурой ржавчиной – средне, как и стандарт «Фаленская 4», стеблевой ржавчиной – средне, как и стандарт «Волхова», спорыньей – на уровне стандарта «Валдай». Средняя урожайность в регионе – 32,5 ц/га. На западе Ленинградской области прибавка к стандарту «Волхова» составила 5,2 ц/га при урожайности 64,7 ц/га.

Максимальная урожайность сорта - 75,3 ц/га получена в Ленинградской области в 2007 г. Хлебопекарные качества удовлетворительные. Характеризуется высоким числом падения (Государственный реестр, 2009; Характеристика сортов, 2009; Сортосовые ресурсы..., 2010).

Пшеница яровая – сорт Эстер

Родословная: F4 (Эта х Л 52/4). Включен в Госреестр Среднего Поволжья (7). Рекомендован для Центрального, Средневолжского и Волго-Вятского регионов. Сорт разновидность лютеценс, кустик среднего типа. Соломина полая. Флаговый лист с жестким восковым покрытием на листовой пластинке и влагалище. Колос веретеновидный, средней плотности, желтого цвета, плечо прямое, широкое. Зубец короткий, немного изогнут. Зерно продолговатое, окрашенное, с длинным хохолком (масса 1000 зерен 35 - 40 г.). Достоинства сорта: потенциал урожайности выше 6,5 т/га, максимальная урожайность - 8,35 т/га; устойчив к полеганию; засухоустойчив, легко переносит климатический стресс; слабо поражается пыльной и твердой головней, устойчив к мучнистой росе и бурой ржавчине; имеет хорошие хлебопекарные качества (содержание клейковины - 30-50 % при ИДК 70-75 е.ш., сила муки -300-450 е.а., "число падения" -360-450 сек.) (Государственный реестр, 2004; Характеристика сортов, 2004; Лекомцев, 2015; <https://semena58.ru/ester.html>).

Пшеница яровая – сорт Дарья

Родословная: Г-18 (81.5.1.2 х Белорусская 80). Включен в Госреестр по Центральному (3) и Центрально-Черноземному (5) регионам. Рекомендован для выращивания в Брянской, Владимирской, Ивановской, Калужской, Тульской, Курской и Орловской областях. Сорт лютеценс, куст полупрямостоячий, соломина слабая. Восковой налет на верху междоузлий, на влагалище и листовой пластинке флагового листа - очень сильно выражен. Колосья белые, средней плотности, пирамидальной формы. Плечо круглое, средней ширины, зубец немного изогнут. Зерно округлое, окрашенное, с хохолком, масса 1000 зерен - 33-

38 г. Средняя урожайность в центральных районах Черноземья была на 30-35 ц/га, или на 3,9 ц/га выше среднего эталона. Средняя урожайность во Владимирской области составила 45,5 ц/га, превысив стандарт «Лада» на 7,3 ц/га, в Орловской - 48,5 ц/га, что выше среднего эталона на 6,8 ц/га (Сортовые ресурсы..., 2010). Наибольшая урожайность 72,6 ц/га достигнута в 2005 г. в Липецкой области. Сорт среднеспелый, период вегетации - 85-95 дней. По стойкости к полеганию - на 0,6-1 балл выше, чем у стандартных сортов (Прохоровка и Лада). Хлебопекарные качества отличные. Мучнистой росой поражается средне; умеренно восприимчив к септориозу, к бурой ржавчине, пыльной и твердой головне (Государственный реестр, 2006; Характеристика сортов, 2006; <https://semena58.ru/ester.html>).

Картофель – сорт Скарб

РУП "Научно - практический центр Национальной академии наук Беларуси по сельскому хозяйству". Сорт среднеспелый, столовый, салатного типа. Урожайность 406-630 ц/га, содержание крахмала 12,0-17,0%. Товарность 84 - 99%. Лежкость 88 - 99%. Вкус от среднего до хорошего. Клубни округло-овальные до овальных; глазки очень маленькие; кожура желтая, гладкая; мякоть желтая; цветки белые. Устойчив к картофельной нематоде, распространенному патотипу рака. Относительно устойчив к черной ножке, фитофторозу листьев и клубней. Вирусные заболевания и обыкновенная парша поражают незначительно. Лежкость хорошая. Период физиологического покоя клубней составляет до 130 дней. Сорт подходит для выращивания на всех типах почв. Он эффективно использует естественное плодородие и имеет высокую отдачу от удобрений. Для более быстрого и равномерного появления всходов рекомендуется проращивание или нагревание клубней. Сорт запатентован и внесен в Государственные реестры Беларуси (в 1997 году) и России (в 2002 году) (Каталог сортов с/х культур селекции «Белогорка»).

Морковь – сорт Самсон

Морковь Самсон среднеранний сорт, выведенный в Голландии сельскохозяйственной корпорацией «Vejo Zaden». В России он выращивается более четверть века, и за этот период зарекомендовал себя только с положительной стороны. С 2001 года он находится в перечне сортов в Госреестре РФ и рекомендован для культивирования в центральном регионе России. Корнеплод имеет цилиндрическую форму. Ровненькие и гладкие по всей длине морковины имеют плоскую верхушку и тупую либо чуть-чуть заостренную нижнюю часть. Длина плодов колеблется от 15 до 25 см. Цвет моркови оранжевый. Средняя масса - 150 г. Выросшие плоды не выступают из почвы. Вкусовые свойства у сорта хорошие. Мякоть сочная и нежная. Морковь имеет совершенно маленькую сердцевину, плотно прилегающую к мякоти. Морковь Самсон является гибридом. Показатели всхожести семян достаточно хорошие - до 95%. Она отличается хорошей устойчивостью к болезням и высокой урожайностью. Период вегетации -115-120 дней. Сорт лежкий, его можно без опасения закладывать на долгое хранение и транспортировать на далекие расстояния. Сорт относится к категории среднеранних, ведь для полного созревания плодов нужно всего 110-120 дней. При соблюдении правил ухода можно собрать до 8-10 кг сочной моркови с 1 м² (Морковь Самсон: <https://zookovcheg.ru/ovoshhi/morkov-samson-harakteristiki-sorta-foto-uhod-urozhajnost-i-otzyvy.html?>)

Капуста белокочанная - сорт Куизор F1

Капуста Куизор-раннеспелый гибрид (80-85 дней от всходов до технической спелости). Листовая розетка приподнята. Листья среднего размера, серо-зеленые с восковым налетом, слегка пузырчатые, волнистые по краю. Кочан капусты круглый, покрытый, желтоватый в разрезе. Наружная кочерыга короткая, внутренняя - средней длины. Масса одного кочана 2,0-2,7 кг, плотность 4,1 балла. Вкус хороший. Урожайность 332-503 ц/га, на уровне стандартов Альфредо F1 и Слава 1305. Максимальная урожайность 687 ц/га (Ивановская область). Выход

товарной продукции составляет 97%. Устойчив к фузариозному увяданию. Рекомендуется для использования в свежем виде и кратковременного хранения (4 месяца). Гибрид капусты Куизор F1 включен в Государственный реестр Российской Федерации по Центральному (3) региону. Оригинатор: Syngenta, Enkhuizen, Нидерланды (Государственный реестр, 2007; Характеристики сортов, 2007).

3.4 Методы лабораторных исследований

3.4.1 Определение водоудерживающей способности почв при внесении гидрогелей

С помощью ОГХ (основной гидрофизической характеристики) можно оценить влагоудерживающую способность почв с полимерным гелем и диапазон доступной почвенной влаги для корневых систем растений (Патент РФ 2527215; Данилова, 2016).

Для экспериментального определения влагопотенциала использовались два метода: метод мембранного пресса Ричардса и психрометрический метод, соответствующих диапазонов давления почвенной влаги.

Определение ОГХ на мембранном прессе Ричардса

Для определения ОГХ почв с гидрогелем применялась стандартная методика (Глобус, 1969). Измеряли водоудерживающую способность почв в трехкратной повторности при потенциалах почвенной влаги: 6.25; 20.6; 31.25; 62.5 кПа (Данилова, 2013). В образцы исследуемых почв полимерный гель добавляли в концентрациях 0,1 г и 0,2 г на 100 г почвы. Образцы почвы помещали в металлические кольца (диаметр кольца - 30 мм, высота -10 мм). Навески почв капиллярно увлажняли в течение суток, затем устанавливали на керамическую пластину, предварительно выдержанную в воде для удаления воздуха. Почвенные образцы держали под давлением до прекращения вытекания воды из подмембранного пространства. Влажность почвы определяли термостатно-весовым способом (Данилова, 2013, 2016).

Определение ОГХ на психрометре WP4-T Dewpoint Potentia Meter (Приложение 6)

В образцы дерново-подзолистой супесчаной почвы, нарушенного сложения (фракции - 0,25 мм, 0,5 мм, 1,0 мм), весом 5 г вносили гель в дозе: - 0,42 г (из расчета 100 кг/га); - 1,26 г (из расчета 300 кг/га). Навески почвы с гелем помещали в пластиковые кюветы (диаметр - 40 мм; высота – 10 мм) и увлажняли до наименьшей влагоемкости. Для дерново-подзолистой почвы НВ = 24-25% - контроль, 100 кг/га – 1,25 мл. воды; 300 кг/га – 1,5 мл. воды. Кюветы закрывали крышками и оставляли на сутки для равномерного увлажнения. Водоудерживающую способность почв с гелем измеряли в 3 - кратной повторности (Данилова, Табынбаева, 2018; Данилова, 2019, 2020).

3.4.2 Методика моделирования водоудерживающего экрана гидрогеля в почвенных растворах различной минерализации

В лабораторных экспериментах изучали следующие гидрогели: РИТИН – 10; В - 415 К; Аквасин и Аквасорб. Моделирование гидрогелевого экрана проведено с хлоридным; содовым; сульфатным и хлоридно-сульфатным типами засоления.

Полимерный гель помещали на дно стеклянного цилиндра ($d = 33$ мм и $h = 100$ мм) 3 мм. Чтобы предотвратить выдавливание гидрогеля во время набухания нижняя часть цилиндра (дно) была оклеена тканью. Внутренние стенки цилиндров смазывались инертной антифрикционной смазкой. Для равномерного увлажнения сверху над гидрогелем укладывали дренированную прокладку из фторопласта. Глубину заложения водоудерживающего экрана в почву имитировали весовой нагрузкой дробью ($0...38$ г/см²). Экраны гидрогелей увлажняли гравитационным и капиллярным насыщениями. Минерализованные почвенные растворы готовились в концентрациях 3% (соленая) и 7% (сильно соленая), в соответствии с классификацией оросительной воды (Ковда, 1949).

Соотношение ионов Cl и $\text{HSO}_4 \approx 0,2/1$. Контролем служила водопроводная вода (Усков, Данилова, Старцев, 2018).

Для изучения влияния циклов замораживания-оттаивания на гидрофизические характеристики водоудерживающего экрана замораживание проводили в холодильной камере при температуре -12°C в течение 2 суток. Дальнейшая сушка в термощкафу при температуре $+50^\circ\text{C}$ и доведение испытуемых образцов до воздушно-сухого состояния. Было проведено 5 циклов с недельным перерывом при комнатной температуре (ГОСТ 5180-84).

3.4.3 Методика определения трансформации ионов Na^+ и K^+ в дерново-подзолистой почве, мелиорированной гидрогелями

Образцы дерново-подзолистой супесчаной почвы были увлажнены до степени структурообразования ($\text{НВ} = 24-25 \%$). Далее в оструктуренную почву добавляли гидрогель (5 г геля на 1 кг почвы). Для эксперимента отбирали в 250-граммовые банки навеску почвы по 50 г. в 10-кратной повторности. Образцы почвы с гелем помещали в термостат с постоянной температурой (28°C). Эксперимент длился 5 месяцев, через две недели каждого месяца образцы почвы с гелем взвешивали, добавляли дистиллированную воду до веса структурообразования и встряхивали. После окончания опыта определяли катионно - анионный состав водной вытяжки из дерново-подзолистой почвы по ГОСТ 26423-85 – ГОСТ 26428-85. В водной вытяжке определяли: натрий и калий на пламенном фотометре по ГОСТ 26427-85; ион хлорида по ГОСТ 26425-85; бикарбонат - ион по ГОСТ 26424-85; рН и плотный остаток по ГОСТ 26423-85.

3.4.4 Методы определения микробиологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей калиевого и натриевого типов

Содержание углерода микробной биомассы микроорганизмов

Этот показатель отражает биомассу микроорганизмов, выражаемую в количестве углерода на килограмм почвы. Метод субстрат-индуцированного дыхания (СИД) является одним из стандартных средств для определения микробной биомассы почвы. Впервые он был предложен в 1978 году. Anderson и

Domsch (1978) показали, что максимальное увеличение почвенного дыхания в течение первых часов после введения глюкозы в почву (в насыщающей концентрации) находится в прямой зависимости от количества активной микробной биомассы. Микробиологическая активность определяется количеством мг CO_2 , выделяемого микроорганизмами в час из 1 кг почвы.

Микробиологическую (дыхательную) активность почв измеряли в лабораторных условиях по интенсивности выделения CO_2 из почвы при влажности, соответствующей 65-70% ППВ, и температуре 28 °С в 3-кратной повторности. Для этого 10 г образца воздушно-сухой пробы почвы со структурообразующей влагой помещали в инкубационные флаконы объемом 50 мл. Флаконы герметично закупоривали резиновыми пробками, завинчивали крышками и помещали на 24 часа в биологический шкаф при температуре 28⁰С. После инкубации флаконы охлаждали до комнатной температуры и концентрацию CO_2 во флаконах определяли с помощью газового хроматографа с пламенно - фотометрическим детектором (ПФД-АФИ), вводя 0,5 мл воздуха из флаконов с помощью медицинского шприца (Сэги, 1983; Банкин и др., 2005).

Расчет величины базального дыхания (БД) V_{basal} (мг С/г/час) проводили по формуле:

$$V_{\text{basal}} = (C_1 - C_0) \times 12 \times V_{\text{флак}} \times 1000 / m \times 22.4 \times t \times 100 \quad (1),$$

где C_0 – начальная концентрация CO_2 во флаконе, объемные %; C_1 – конечная концентрация CO_2 во флаконе; $V_{\text{флак}}$ – объем флакона, мл; t – время инкубации, час; m – навеска почвы, г.) (Данилова, Хомяков, Конончук, 2021)

Для определения СИД флаконы с почвой после измерения CO_2 проветривали и добавляли 0,5 мл раствора 4% - ного раствора глюкозы, герметично закрывали и инкубировали при температуре 28 ° С в течение 3 часов, потом снова определяли концентрацию CO_2 во флаконах (Anderson, Domsch, 1978; Сушко, Ананьева и др., 2010, 2016).

$$C_{\text{mic}} = 40.04 \times VSIR + 0.37 \quad (2),$$

где C_{mic} – содержание иммобилизованного углерода в микробной биомассе (мкг С/100 г почвы), $VSIR$ – интенсивность субстрат-индуцированного дыхания

(СИД, мкг С/1 г почвы/час) (Данилова, Хомяков, Конончук, 2021).

Метаболическое частное

Метаболическое частное (qCO_2) оценивает эффективность использования микроорганизмами доступного углерода для образования биомассы. Этот показатель характеризует поддержание энергии микрофлоры почвы. Можно сказать, что qCO_2 используется в качестве индикатора стресса микробного сообщества, и чем ниже этот показатель, тем лучше состояние микрофлоры, тем меньше энергии микроорганизмы расходуют на поддержание и формирование единицы биомассы (Мостовая и др., 2015; Данилова, Хомяков, Конончук, 2021). Метаболический коэффициент рассчитывается по формуле: $qCO_2 = V_{\text{basal}} / V_{\text{SIR}}$

3.4.5 Методика исследования воздействия полимерных гелей на развитие корневых систем зерновых культур в условиях ризотрона

В условиях ризотрона изучали влияние гидрогелей «AQUASORB», «АКВАСИН», «РИТИН - 10», «В - 415 К» на рост и развитие корневой системы зерновых (пшеница, ячмень) культур в регулируемых условиях на пористом тонкослойном аналоге почвы.

Ризотрон представляет собой автоматизированную вегетационную светоустановку, которая предназначена для выращивания растений на вертикальной тонкослойной корнеобитаемой среде. На светоустановке можно проводить физиолого-биохимические эксперименты и изучать реакции растений на воздействие различных факторов, исследовать микробиотический комплекс в ризоплане и ризосфере растений. В вегетационной установке реализован принцип культивирования растений методом тонкослойной панопоники, разработанной академиком Е.И. Ермаковым в ГНУ АФИ Россельхозакадемии (Ермаков, 1998; Каталог готовой товарной продукции, 2010).

Семена зерновых культур предварительно проращивались в чашках Петри при комнатной температуре в воде. Корнеобитаемая тонкопористая ткань размещалась на ризотроне и пропитывалась 1,0 н. питательным раствором Кнопа. Далее на тонкопористой ткани ризотрона сплошным слоем размещались

набухшие в дистиллированной воде гранулы гидрогеля (в сухом виде гидрогель не держался на вертикальной корнеобитаемой среде). Затем на ризотрон высаживались растения зерновых культур по 10 штук на секцию. При закладке опыта высота растений была 1,5-2 см, длина корневой системы - 1,0-1,5 см. Вегетационная светоустановка работала в режиме подсветки 14 часов. Растения зерновых культур дополнительно подсвечивались с 23.00 ч. по 13.00ч. Температура в помещении поддерживалась в пределах $t = +24-26^{\circ}\text{C}$. Растения выращивали до фазы кущение – колошение. Высота растений была на уровне 28-30 см, корневая система достигала набухших гранул гидрогеля (отметки 30 см), а отдельные корни проходили через гранулы геля до отметки 38-40 см. В дальнейшем, чтобы посмотреть влияние гидрогеля на рост и развитие корней, отключали подачу питательного раствора. При этом все остальные параметры: подсветка и температура оставались. Наблюдали за развитием корневой системы растений. Длительность эксперимента составляла 3 недели.

3.5 Методики проведения полевых и вегетационных исследований

3.5.1 Методика проведения полевых исследований

Полевые исследования действия гидрогелей на водообеспечение сельскохозяйственных культур в МФ ФГБНУ АФИ проводились с 2010 по 2017 гг. При изучении способов и дозы внесения полимерного геля, а также влияния азотных удобрений с гидрогелем на продуктивность зерновых, овощных культур, гель вносился перед посевом на глубину корнеобитаемой зоны (5-7 см), пропашных (картофель – 10 см).

Изучение способов внесения полимерного геля

Пшеница (сорт, Эстер) - доза гидрогеля – 200 кг/га, инкрустация семян - 0,009 г на 1 семя, схема опыта — 20 м² (4 х 5 м), повторность 3-кратная (Данилова, 2018).

Морковь (сорт Самсон, сортотип Нантская), норма высева - 150 шт – на 1 м² (1млн.800 шт./га). Варианты опыта: I - гель в почве (2 г. в рядок), II - инкрустация

семян (0,006г. на 1 семя). Схема посева – 5 м² (2,5 х 2,1м), повторность 3-кратная (Данилова, 2018).

Рассаду капусты (сорт Куизор, Гибрид F1), высаживали в борозды по схеме 70 х 35 см, делянки - 11,25 м² (4,5 х 2,5 м), в 3-кратной повторности. Варианты опыта: I- контроль, II - обработка корней р-ром геля (3 г. геля на 1 л. воды), III - гель в почве (2 г. геля на 1 растение) (Данилова, 2018).

Картофель (сорт, Скарб). Варианты опыта: I- контроль, II - доза 70 кг/га, III – доза 100 кг/га. Высаживали по схеме - (70 х 30 см).

Исследование влияния азотных удобрений

Пшеница (сорт, Эстер) – доза полимерного геля - 400 кг/га. Схема опыта — 80 м² (8 х 10 м), повторность 2-кратная. Варианты опыта: I- контроль (без геля и азотных удобрений), II – контроль с гидрогелем без азотных удобрений, III – гидрогель с дозой азота N₆₀, IV – гидрогель + N₉₀, V - гидрогель +N₁₂₀, VI- гидрогель + N₁₅₀ (Данилова, Табынбаева, 2019).

Изучение пролонгированного действия гидрогелей в полевом севообороте

Схема зернопропашного севооборота: ячмень + многолетние травы; многолетние травы первого года пользования; многолетние травы второго года пользования; озимая рожь; картофель; вико - овсяная смесь. Исследовали гидрогели отечественного производства: Ритин -10 (натриевая основа) и В- 415 К (калиевая основа). Полимерный гель вносился только в первый год ротации. Дозы внесения - 100, 200 и 300 кг/га. Площадь делянок – 15 м², 3-х кратная повторность, размещение вариантов – систематическое (Данилова, 2014; Данилова, Оленченко, 2016).

В полевых опытах проводились следующие наблюдения, учёты и анализы:

- агрометеорологические данные были получены с метеостанции МФ ФГБНУ АФИ;
- определение влажности почвы в динамике – при посеве, в фазе весеннего кущения, в фазе колошения, перед уборкой. Влажность почвы - термостатно-

весовым методом, высушиванием почвенных проб до постоянно сухой массы. Отбор почвенных проб проводили с глубины 0 -10 и 10 - 20 см. Повторность отбора проб – трехкратная (Вадюнина, 1986);

- определение плотности сложения слоя почвы 0-20 см по горизонтам 0-10; 10-20 в 3-х кратной повторности, методом режущего кольца, объем цилиндра 500 см³ (Соколов, 1968);

- учет полевой всхожести семян путем подсчета на 3-х фиксированных площадках по 0,25 м² на всех делянках по полным всходам (Балашев, 1968);

- на посевах зерновых и многолетних травах в течение вегетации проводили фенологические наблюдения (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1989);

- рост растений и динамика накопления биомассы изучаемых культур определяется по фазам развития зерновых культур путем отбора 10 растений с каждого варианта опыта, замера высоты растений, высушивания их до постоянного веса (Руководство по контролю и обработке наблюдений за фазами развития сельскохозяйственных культур, 1982);

- определение элементов структуры урожая методом отбора снопов с 0,25 м² в трехкратной повторности. Структурный анализ снопа изучаемой культуры включал следующие показатели: высота и масса снопа, в т.ч. листостебельной массы и колоса, количество растений, стеблей, колоса с учетной площади, кустистость общая и продуктивная. В структурный анализ колоса входили следующие показатели: длина колоса, количество зерен в колосе и их масса, масса 1000 зерен (Данилова, 2021);

- учет урожайности изучаемых культур определяли весовым методом пробных площадок в 3-х кратной повторности;

- математическая обработка урожайных данных (Доспехов, 1985);

- технологическая оценка качества зерна (Методы оценки качества зерна, 1987).

Показатели качества зерна определялись в агрохимической лаборатории ФГБНУ АФИ по соответствующим ГОСТам;

- агрохимические анализы почвы и растений были выполнены в агрохимической лаборатории ФГБНУ АФИ по соответствующим ГОСТам и общепринятым методикам;
- агрономическая и экономическая эффективность (ячмень, пшеница, рожь, многолетние травы) рассчитывается по прямым затратам на единицу производимой продукции с гектара в соответствии с технологическими параметрами возделывания изучаемых культур (Богдевич и др., 1988, 2010; Иванов и др., 2009);
- энергетическая эффективность рассчитывается с учетом энергии, содержащейся в прибавке урожая от гидрогеля, к количеству энергии, затраченной на его применение (Василук и др., 1996) учебно – методическое пособие (Шекунова и др., 2016).

3.5.2 Методика проведения вегетационных исследований («засушник» МФ ФГБНУ АФИ)

Изучение влияния гидрогеля в условиях модельной почвенной засухи проводили в 2015 – 2017 гг в специальной установке «засушнике» (Агропромышленный портал России. Метод засушников (часть1); Ионова, 2011). «Засушник» - установка, состоящая из металлического каркаса (рамы) с установленным светопропускающим поликарбонатом, позволяющая моделировать влагообеспеченность опытного участка путём исключения воздействия внешних осадков» (Данилова, Хомяков, Конончук, 2021, с.99). «Чтобы избежать влияния атмосферных осадков, вокруг засушника была проложена канава (ширина 30-35 см, глубина 60-70 см). Глубина засушника — 2 м, общая площадь — 50 м², под экспериментом было занято 15 м². Чтобы изолировать корни растений от грунтовых вод, на дно уложили полиэтиленовую пленку в два слоя. В засушнике моделируют атмосферную и почвенную засухи в засушливые периоды вегетации, во влажные — почвенную» (Данилова, Табынбаева, 2022, с. 462-463)

Почва дерново-подзолистая супесчаная, объекты исследования: «Ритин-10» (гель на натриевой основе), «В — 415 К» (гель на калиевой основе). «Опыт был заложен в вегетационных сосудах без дна: площадь сосуда — 0,075 м², объем — 0,0025 м³. Сосуды набивали почвой с сохранением почвенных горизонтов. Варианты опыта были следующими: контроль (фон N₉₀P₉₀K₉₀); N₉₀P₉₀K₉₀ + Ритин-10 (глубина внесения 10-12 см); N₉₀P₉₀K₉₀ + В-415 К (10-12 см); N₉₀P₉₀K₉₀ + Ритин-10 (20-22 см); N₉₀P₉₀K₉₀ + В-415 К (20-22 см). Гидрогель в вегетационные сосуды укладывали послойно. Доза внесения гидрогеля — 4 г/м², норма высева семян — 50 шт/сосуд. Повторность опыта 5-кратная, размещение систематическое. Влажность почвы в вегетационных сосудах измеряли почвенным влагомером МГ-44 (ООО «Ветинструмент», Россия) два раза в неделю и по показаниям рассчитывали норму полива»¹.

Расчет дефицита влаги:

$$Q = 10 \text{ ha} (Q_{\text{НВ}} - Q_{\text{ПП}})$$

где Q — дефицит влаги в слое почвы, мм; h — глубина расчетного слоя почвы, м; a — объемная масса расчетного слоя почвы, т /м³; $Q_{\text{НВ}}$ — наименьшая влагоемкость почвы %; $Q_{\text{ПП}}$ — предполивной порог влажности почвы, %;

Поливная норма, мм водного слоя:

$$V = Q_1 + Q_2$$

где V — норма полива, мм; Q_1 — влажность почвы (мм) в слое 0-10 см; Q_2 — влажность почвы (мм) в слое 10 — 20 см (Данилова, 2018).

«До фазы кущения растения в «засушнике» поливали по показаниям почвенного влагомера, влажность почвы поддерживалась в пределах 70 % НВ (наименьшая влагоемкость). Почвенную засуху (55-60% НВ) изучали после фазы кущения» (Лыкова, 2008; Данилова, 2018).

¹ Данилова Т.Н. О формировании продуктивности зерновых культур при внесении гидрогелей в условиях модельной почвенной засухи и в полевых условиях / Т.Н. Данилова, Л.К. Табынбаева // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т.57. - № 3. – С. 460 - 475.

3.6 Оценка влияния гидрогеля на водообеспечение сельскохозяйственных культур по методике FAO - 56 (Allen et al., 1998; 2001)

Основные этапы методики FAO-56 состоят в том, что период вегетации культуры делится на четыре временных отрезка (Данилова, 2016): 1) *стадия формирования* - 10 % полным покрытием растениями почвы; 2) для множества сельскохозяйственных культур *оптимально сомкнутый покров* совпадает с началом фазы цветения; 2) *середина сезона* - с момента полного оптимального покрытия до начала фазы созревания растений. Этот период традиционно считается началом старения: листья желтеют и опадают, эвапотранспирация снижается; 4) *конец сезона* - с начала созревания до уборки урожая или полного опадания листьев (fao56). На рис. 3.6.1 представлена кривая коэффициента развития культур.

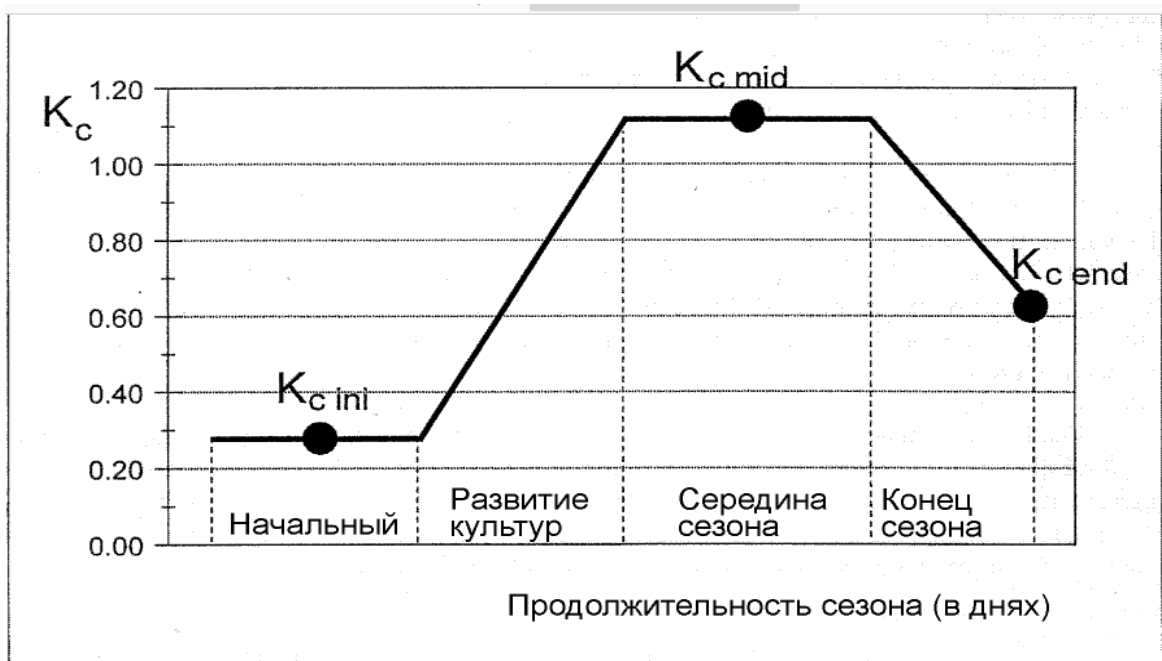


Рис.3.6.1 - Кривая коэффициента развития культур (FAO -56)

Кривая (рисунок 3.6.1) построена следующим образом:

1. Вегетационный промежуток делится на четыре главных этапа роста, которые характеризуют фенологию цивилизаций (начальная, развитие культур, середина и конец сезона), определяется продолжительность этапов роста и

устанавливаются три значения K_c , которые соответствуют $K_c \text{ ini}$, $K_c \text{ mid}$ и $K_c \text{ end}$ (таблица 12, сборник FAO- 56).

2. Значение K_c дорабатывается с учетом климатических условий этапов роста (FAO -56).

В таблице 3.6.1 представлены усредненные коэффициенты развития культур.

Таблица 3.6.1- Усредненные коэффициенты развития культуры K_c и средние максимальные высоты растений при оптимальных условиях продукционного процесса в гумидных климатах ($Rh_{\min} -45\%$, $u_2 -2\text{m/s}$) для использования в FAO Penman — Monteith уравнении для расчета ET_0 (сборник fao 56, таблица 12)

Культуры	$K_{c \text{ нач}}$	$K_{c \text{ ср}}$	$K_{c \text{ кон}}$	h_{\max} (m)
овощи	0.7	1.05	0.95	
капуста		1.05	0.95	0.4
морковь		1.05	0.95	0.3
зерновые	0.3	1.15	0.4	
ячмень		1.15	0.25	1
овес		1.15	0.25	1
яровая пшеница		1.15	0.25 - 0.41	1
озимая рожь	0.4	1.15	0.25 - 0.41	1
картофель	0.5	1.15	0.75	0.6

Принято (fao 56) разделять эвапотранспирацию на эталонную (ET_0), потенциальную (ET_c) и реальную ($ET_{ск}$), (рисунок 3.6.2)



Рис.3.6.2 - Типы эвапотранспирации на сельскохозяйственном поле (по Даниловой, 2016; fao № 56, 2001)

«Эталонная эвапотранспирация (E_{T0}) – суммарное испарение с достаточно увлажненной растительной поверхности с известными параметрами. В качестве эталона принята поверхность злаковой культуры, которая имеет высоту растений (h_0), равную 0,12 м, суммарный коэффициент сопротивления растительного покрова (r_c) -70 с/м и альбедо - 0,23. Временным шагом для расчета (E_{T0}) может быть месяц, декада, сутки, час и меньше (минуты) - в зависимости от цели, задачи и собранной информации о метеопараметрах. Эталонная эвапотранспирация - микроклиматический показатель для данного региона, сельскохозяйственного поля. Она рассчитывается по формуле Пенмана - Монтейса (Allen, 1998, 2000; Duchemin, 2006) с использованием данных стандартных, автоматических и мобильных метеорологических станций. Эталонная эвапотранспирация рассматривается как погодный фактор на конкретном поле, а потенциальная и реальная оценивается с помощью коэффициента развития сельхозкультуры (K_c). В лаборатории микроклимата Агрофизического института создано программное обеспечение для расчета эталонной эвапотранспирации (E_{T0}) в калькуляторном виде (Ефимов А.Е. и др., 2010), рисунок 3.6.3 (Приложение 7). Вычисленная на данном калькуляторе эталонная эвапотранспирация для периода вегетации культуры является комплексным информативным агрометеорологическим показателем. Далее корректируются коэффициенты по климату для культуры и рассчитывается потенциальная эвапотранспирация (E_{Tc}). Методанные для расчета эталонной эвапотранспирации были получены с Меньковской опытной станции (с координатами 59°41 с.ш., 30°13 в.д.)»².

Определение $K_{c\text{mid}}$ и $K_{c\text{end}}$

Наиболее важными факторами, влияющими на скорость эвапотранспирации считаются 4 метеорологических фактора: солнечная энергия; температура воздуха; влажность воздуха; скорость ветра. Базовый коэффициент культуры ($K_{c\text{ini}}$; $K_{c\text{mid}}$; $K_{c\text{end}}$) берется из таблицы 3.6.1.

² Данилова, Т.Н. Регулирование водного режима дерново-подзолистых почв и влагообеспеченности растений при помощи водопоглощающих полимеров /Т.Н. Данилова // Агрофизика. - 2016. - № 1. - С. 8 - 16.

«Для специальной калибровки по климатическим условиям, где RH_{\min} отличается от 45 %, u_2 больше или меньше 2,0 м/с, значения $K_{c\ mid}$, взятые из таблицы 3.5.1, установлены следующим образом:

$$K_{c\ mid} = K_{c\ mid(\text{Таб})} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

где - $K_{c\ mid(\text{табл})}$ - значение $K_{c\ mid}$, взятое из табл.3.2.3;

u_2 - скорость ветра на высоте 2 м от травы во время стадии роста (м/с);

RH_{\min} – относительная влажность воздуха, отличная от 45 %;

h - высота растения в период увлажнения (м)

$K_{c\ end}$ рассчитывается по той же формуле (по Даниловой, 2016).

Определение общего испарения по методике fao 56, предлагается оценивать с помощью коэффициента развития сельхозкультуры (K_c). В работе (Duchemin, 2006; Allen, 1998, 2000) показано, что коэффициент (K_c) определяется как отношение потенциальной эвапотранспирации конкретной культуры к эталонной эвапотранспирации:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}$$

где K_c – коэффициент культуры; ET_c – потенциальная эвапотранспирация культуры, мм / сут; ET_0 – эталонная эвапотранспирация, мм / сут.

В работе (Данилова, 2016) показано: « ET_c определяется методом коэффициента культуры, посредством которого влияние различных погодных условий включено в ET_0 , а характеристики культуры - в коэффициент K_c . Предполагается, что транспирация с поля с/х культуры, которая растет на хорошо увлажненной почве, происходит с потенциальной скоростью. По мере уменьшения воды в почве реальная эвапотранспирация ($ET_{\text{реал.}}$) становится меньше потенциальной (ET_c), поэтому отношение действительного испарения к потенциальному можно использовать как индекс водного стресса (Данилова, 2016). Для оценки водного стресса в методике fao 56 используется уравнение водного баланса почвы. Вычисленный коэффициент стресса (K_s) для расчета

реальной эвапотранспирации ($ET_{\text{реал.}}$) на поле с использованием коэффициента культуры представлен в формуле:

$$ET_{\text{среал}} = (K_s K_{\text{св}} + K_e) ET_o.$$

При хорошем увлажнении почва поставляет растениям достаточное количество влаги в соответствии со спросом культуры, т. е. извлечение воды равно ET_c . Когда содержание влаги в почве снижается, она становится труднодоступной для извлечения, вода не может достаточно быстро поступать к корням и отвечать требованиям транспирации, ввиду чего растения начинают испытывать стресс (Данилова, 2016). Влияние водного стресса описывается умножением базового коэффициента культуры на коэффициент водного стресса K_s :

$$ET_{\text{сadj}} = K_s K_c ET_o$$

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1 - p) TAW},$$

Где TAW – вся свободная вода в корневой зоне почвы, мм; Q_{FC} – влажность почвы при полевой влагоемкости, $\text{м}^3/\text{м}^3$; Q_{WP} – влажность почвы при точке увядания, $\text{м}^3/\text{м}^3$; Z_c – глубина корневой зоны, м.

В условиях водного стресса K_s меньше 1, при отсутствии K_s равен 1. Коэффициент K_s описывает действие водного стресса на транспирацию растений.

Для вычисления коэффициента водного стресса по методике fao56 необходимы декадные климатические значения, данные по почвам и сельхозкультурам, а также требуется отдельное определение испарения и транспирации. Такие расчеты очень трудоемки, поэтому в нашей работе используется зависимость урожайности от водообеспечения растений»³

Оценка ET_c с использованием урожайности культур (fao № 56; Данилова, 2016)

В соответствии с методикой fao № 56 (2001) «определенному уровню урожайности должен соответствовать свой уровень водообеспеченности. Для

³ Данилова, Т.Н. Регулирование водного режима дерново-подзолистых почв и водообеспеченности растений при помощи водопоглощающих полимеров /Т.Н. Данилова // Агрофизика. - 2016. - № 1. - С. 8 - 16

прогнозирования снижения урожайности, когда стресс сельхозкультур вызван дефицитом почвенной влаги, используют уравнение:

$$(1 - Y_a / Y_m) = K_y (1 - E_{Tc_adj} / E_{Tc})$$

где Y_a - фактическая урожайность сельхозкультуры, кг/га; Y_m - максимальная (ожидаемая) урожайность при отсутствии водного или другого стресса; K_y - коэффициент зависимости урожайности; E_{Tc} - потенциальная (ожидаемая) эвапотранспирация культур при отсутствии водного или другого стресса ($K_s E_{Tc}$); E_{Tc_adj} - фактическая (откорректированная) эвапотранспирация культур как результат водного или экологического стресса (Данилова, 2016).

Расчет коэффициента водного стресса проводится следующим образом: определяется максимально возможная урожайность для данных природно – климатических условий, устанавливается реальная урожайность, определяется эвапотранспирация при стандартных условиях, которая соответствует максимально возможной урожайности, и из соотношения:

$$(1 - Y_{реал} / Y_{max}) = 1 / K_y (1 - E_{Tc_adj} / E_{Tc})$$

устанавливается

$$K_s = (K_y - 1 + Y_{реал} / Y_{max}) / K_y \text{ или}$$

$$K_s = 1 - 1 / K_y (1 - Y_{реал} / Y_{max})$$

Коэффициент урожайности для яровой пшеницы $K_y = 1,1$ (берется из таблицы 3.6.2 по методике FAO)⁴.

Таблица 3.6.2 - Функции сезонной зависимости урожайности
(сборник fao № 56, табл.24)

Сельхозкультура	K_y	Сельхозкультура	K_y
Яровая пшеница	1,1	Сахарная свекла	1,0
Люцерна	1,1	Картофель	1,1
Озимая пшеница	1,05	Капуста	0,95
Кукуруза	1,25	Лук	1,1
Подсолнечник	0,95	Соя	0,85

⁴ Данилова, Т.Н. Регулирование водного режима дерново-подзолистых почв и влагообеспеченности растений при помощи водопоглощающих полимеров /Т.Н. Данилова // Агрофизика. - 2016. - № 1. - С. 8 - 16

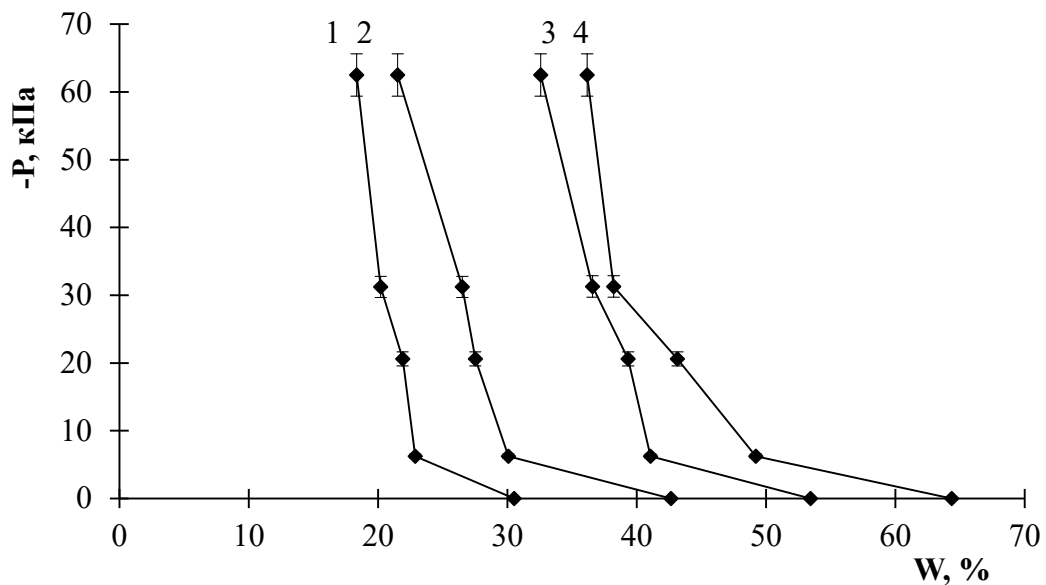
Индекс K_u – это фактор, который описывает снижение относительной урожайности при снижении ET_c из-за недостатка влаги в почве. По методике fao № 56, K_u имеет определенные значения для каждой культуры, и они могут меняться в течение вегетационного периода. Как правило, снижение урожайности из-за недостатка воды относительно невелико в период вегетации и созревания, а во время цветения и плодоношения урожайность значительно снижается (Allen, 1998).

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

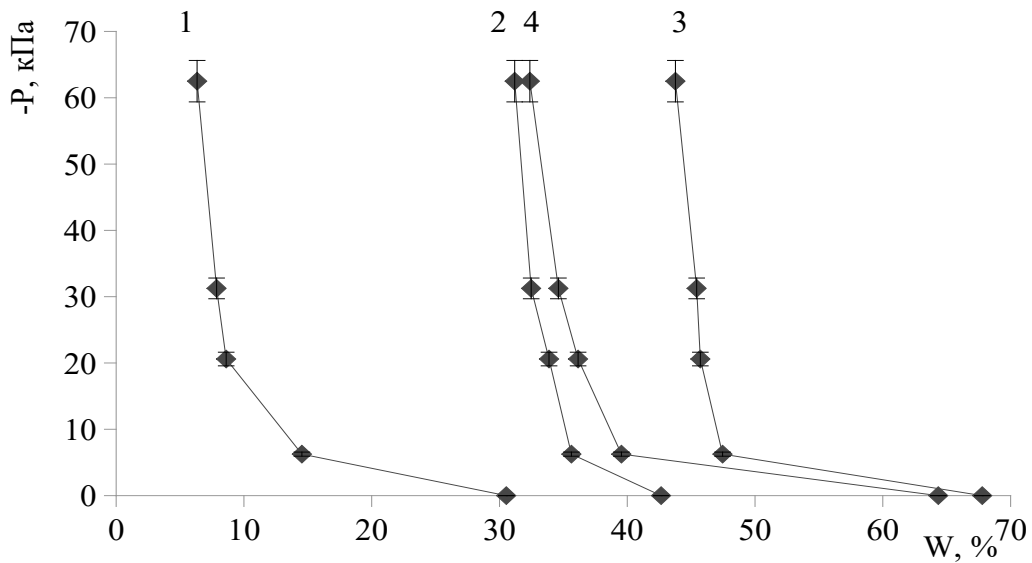
4.1. Водоудерживающая способность почв легкого гранулометрического состава под действием полимерных гелей

Определение ОГХ проведено на образцах органогенных горизонтов из двух песчаных почв о. Бахрейна (ОАЭ), супесчаной дерново-подзолистой почвы (ОАО “Белогорка”) и серой лесной легкосуглинистой почвы (Владимирское ополье, г. Суздаль) (Данилова, 2013). На рис. 4.1.1 (а, б, в) показана зависимость капиллярно-сорбционного давления влаги от влажности почвы.

а)



б)



в)

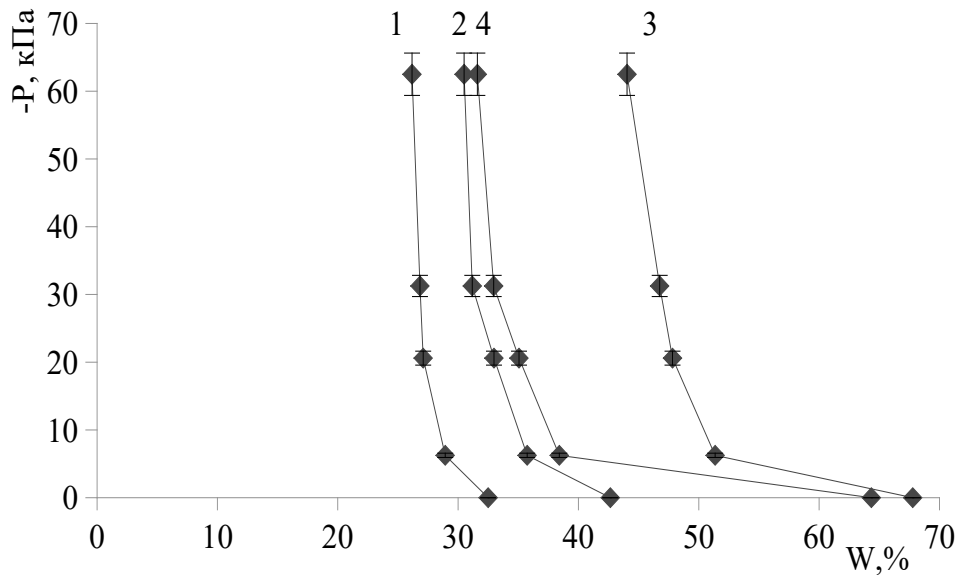


Рис. 4.1.1- Зависимость капиллярно-сорбционного давления влаги от влажности почвы.

1 – песчаная №1 (о.Бахрейн); 2 – песчаная №2 (о.Бахрейн); 3 – дерново-подзолистая супесчаная (Белогорка); 4 – серая лесная легкосуглинистая (г.Суздаль). (а) - контроль; (б) - образцы почвы с гелем 0,1 г на 100 г почвы; (в) - образцы почвы с гелем 0,2 г на 100 г почвы (по Даниловой, 2013)

ОГХ, представленные на рисунке 4.1.1 (а, б, в), показывают, что «наибольшая водоудерживающая способность из исследованных почв у серой лесной почвы (рис.4.1.1 а - контрольный вариант), немного ниже у дерново-подзолистой супесчаной и слабое водоудерживание у песчаных почв с о. Бахрейн» (Данилова, 2013, с. 41). Изменение положения кривых $P(W)$ называется сдвигом, величина переноса зависит от значения удельной поверхности почвы, чем больше этот показатель, тем больше влаги удерживается почвой при одном и том же давлении (Шеин, 2005).

При внесении дозы геля 0,1 г на 100 г почвы (рис. 4.1.1 б) наибольшая водоудерживающая способность получена у почвы из Белогорки ($p < 0.05$). Наблюдалось повышение влагосодержания песчаной почвы № 2 и понижение у № 1 с о. Бахрейн (Данилова, 2013). Вероятно, изменилась удельная поверхность и плотность почвы, а также угол смачивания и поверхностное натяжение. При одной и той же удельной поверхности ОГХ повышается с уменьшением отрицательного давления почвенной влаги (Мичурин, 1975).

Водоудерживающие кривые (рисунок 4.1.1 в), свидетельствуют о том, что «доза геля 0,2 г на 100 г почвы, достоверно ($p < 0.05$) повысила влагосодержание почвы из Белогорки. Влагоудерживание песчаных почв с о. Бахрейн одинаковое, но ниже, чем у дерново — подзолистой. Водоудерживающая способность серой лесной почвы схожа с образцами песчаных почв с о. Бахрейн (Данилова, 2013, с.43).

Изменение наклонных линий водоудерживания при добавлении в почвенные образцы геля свидетельствует о том, что за счет сорбции влаги молекулами гидрогеля влажность почвы повышается. «При увеличении дозы геля до 0,2% происходит снижение плотности песчаных почв, что создает дополнительную пористость и повышается влагоемкость» (Данилова, 2013, с. 43). Величина давления почвенной влаги остается на одном уровне, а количество доступной растениям влаги увеличивается (Данилова, 2013). Экспериментальные расчетные данные представлены в таблицах 4.1.1 - 4.1.12 (Приложение 8).

Определение ОГХ дерново-подзолистой почвы с гидрогелем проведено на

прессе Ричардса по стандартной методике (Глобус, 1969). Зависимость капиллярно-сорбционного давления влаги и влажности почвенных образцов показаны на рисунке 4.1.2.

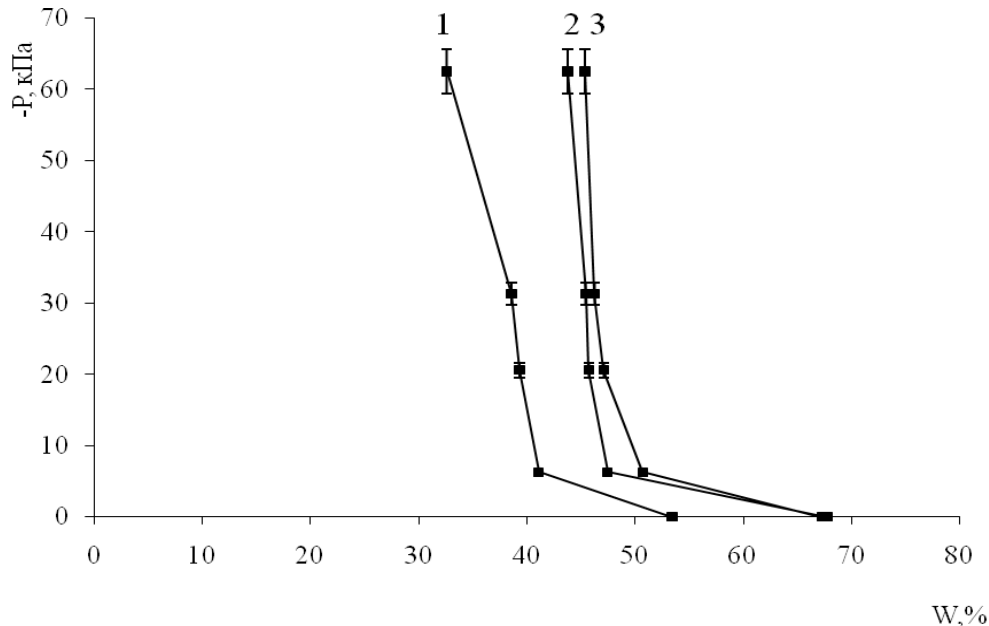


Рис.4.1.2 - Зависимость капиллярно-сорбционного давления влаги от влажности почвы.

1 - дерново-подзолистая почва (контроль); 2 - дерново-подзолистая почва с добавлением гидрогеля 0,1 г на 100 г; 3 - дерново-подзолистая почва с добавлением гидрогеля 0,2 г на 100 г. (по Даниловой, 2016).

Влажность ОГХ почвы, находящаяся в интервале 45-50 % определяет воду, доступную для растений. Гидрогель повышает количество влаги этого диапазона. Кривые влагосодержания, представленные на рисунке 4.1.2 свидетельствуют, что самая большая водоудерживающая способность почвы обнаружена при обработке гидрогелем в дозе 0,2 г на 100 г почвы.

Капиллярно-сорбционный и осмотический потенциалы образцов почвы с гелем определяли на психрометре WP4-T (Данилова, 2020). «Работа прибора основана на измерении потенциала воды с использованием метода точки росы охлаждаемого зеркала. На психрометре можно измерять общий (осмотический и матричный) потенциал в образце. Осмотический потенциал зависит от концентрации растворенного в воде вещества. Матричный (капиллярно-

сорбционный) зависит от адсорбционных сил связывания воды в матрице. При определении общего потенциала будет преобладать один из этих потенциалов. Почвы связывают воду за счет капиллярных сил, поэтому имеют в основном матричный потенциал. Набухший гель будет иметь только осмотический потенциал. Величина осмотического потенциала – разность между полным потенциалом и капиллярно-сорбционным (матричным). Диапазон измерений водного потенциала от 0 до - 60 МПа (точность $\pm 0,1$ МПа); 0 -10МПа $\pm 1\%$ в интервале от -10 до - 60 Мпа» (Данилова, Табынбаева и др., 2018, с 4; Данилова, 2019, с. 277). На данном приборе был определен осмотический потенциал самого гидрогеля Аквасорб (Данилова, Табынбаева и др., 2018). На рисунках 4.1.3 и 4.1.4 представлена зависимость осмотического потенциала от влаги исследуемых гидрогелей. Расчетные экспериментальные данные для гидрогеля Аквасорб, представлены в (Приложение 9), по гидрогелям Ритин -10, Аквасин и В – 415 К – в (Приложении 10).

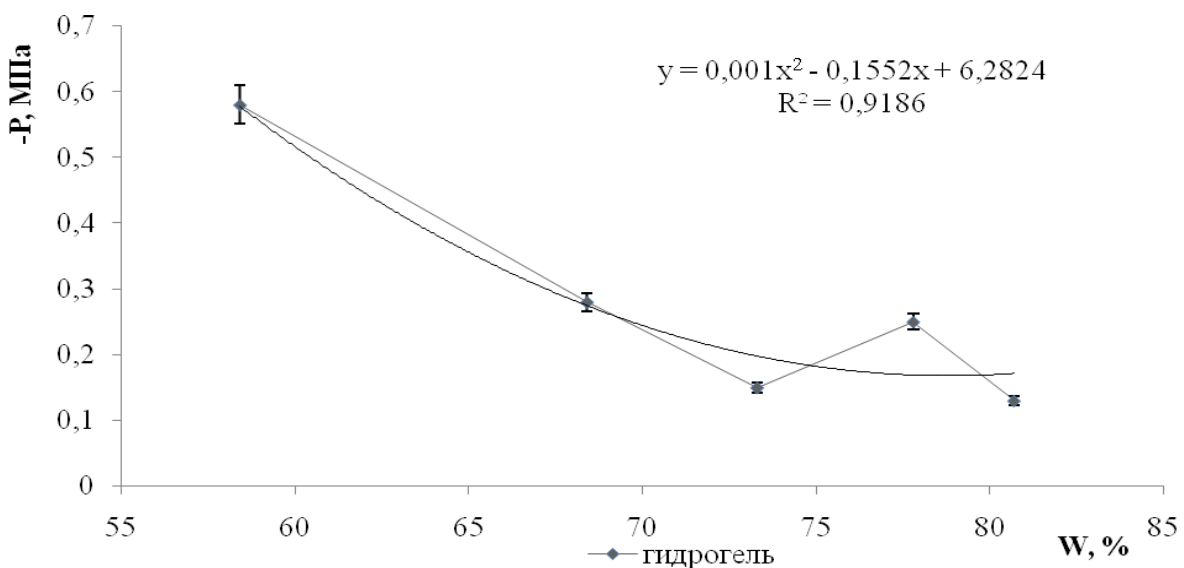


Рис.4.1.3 - Зависимость осмотического потенциала влаги от влажности гидрогеля Аквасорб (по Даниловой, Табынбаевой и др., 2018).

Кривая водоудерживания (рисунок 4.1.3), показывает, что «при снижении осмотического давления повышается водоудерживающая способность гидрогеля, т.е. увеличивается диапазон доступной влаги, содержащейся в гидрогеле (80,7-58,4 = 22,3 %)» (Данилова, Табынбаева и др., 2018, с.5).

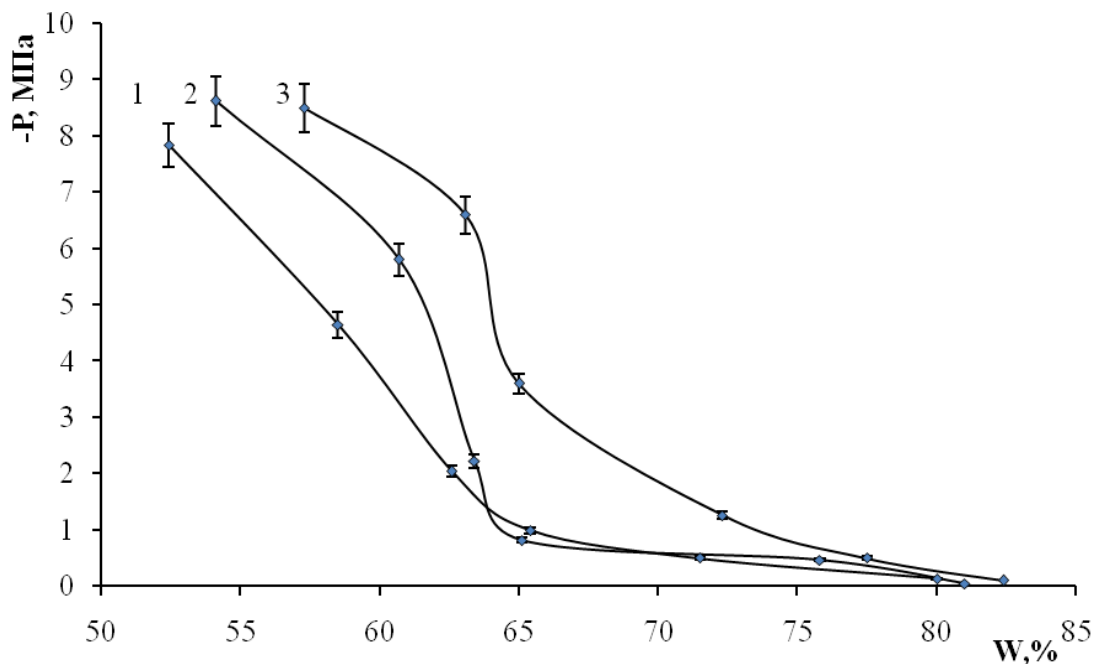
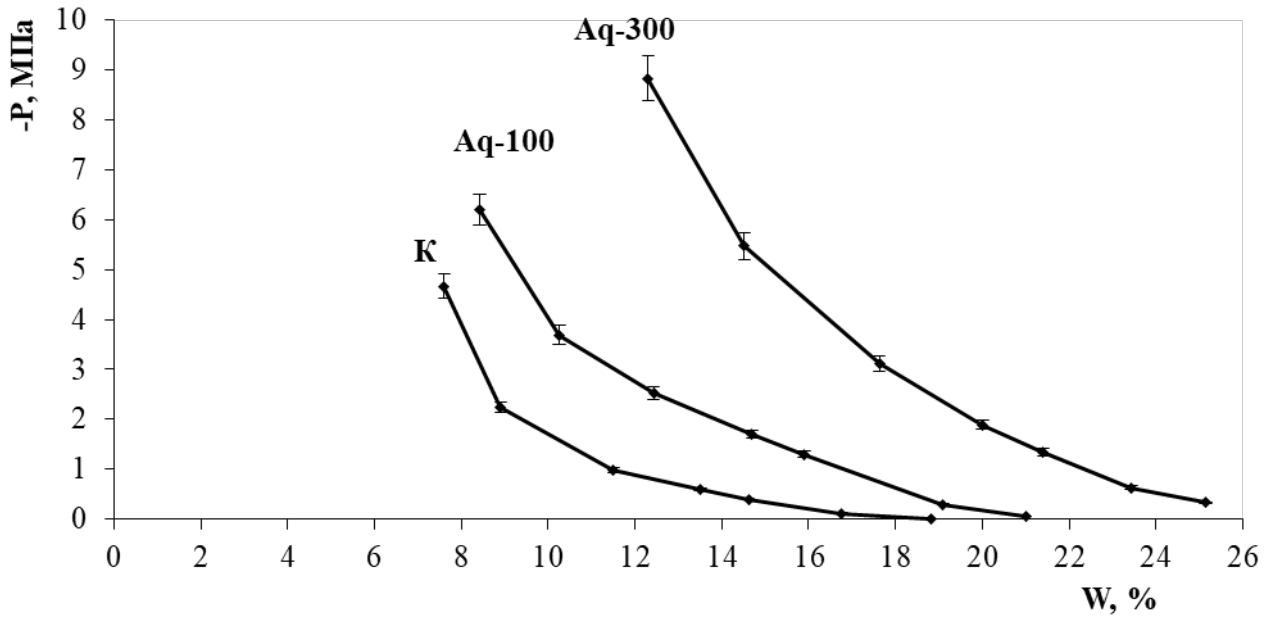


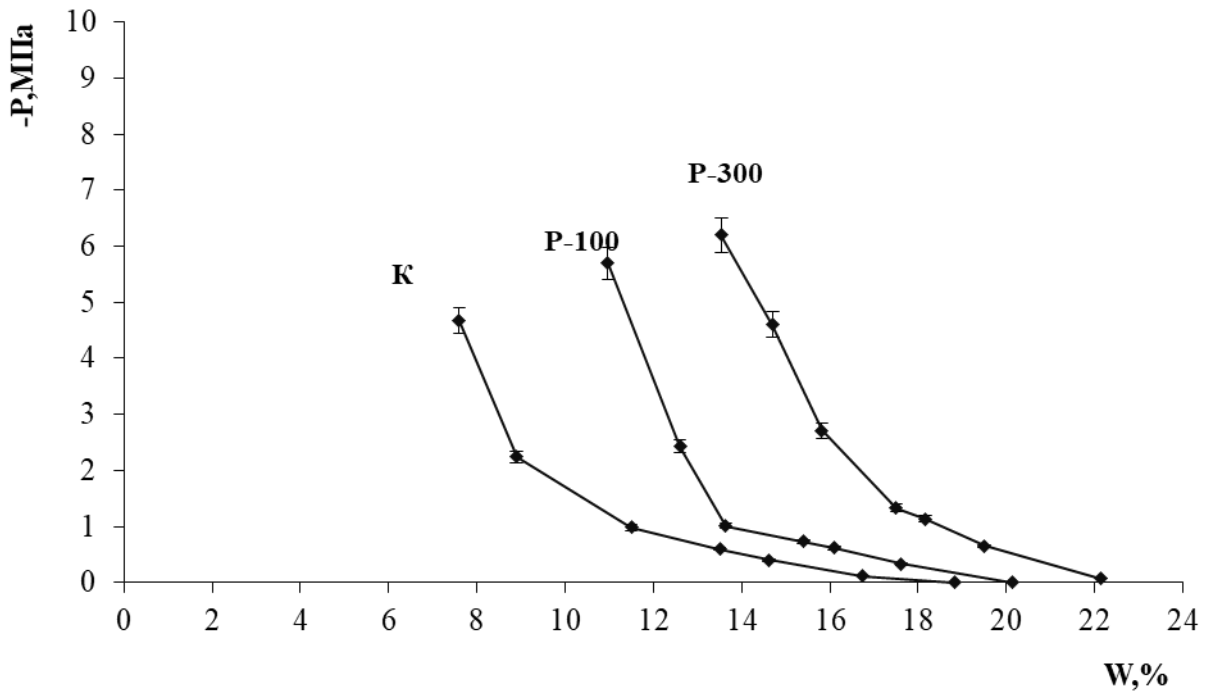
Рис.4.1.4 - Зависимость осмотического потенциала влаги от влажности гидрогеля: 1-Аквазин; 2- Ритин -10; 3- В- 415 К (Данилова, 2019).

ОГХ гидрогелей (рисунок 4.1.4), показывают, что при снижении осмотического давления повышается влагоудерживающая способность гелей, т.е. увеличивается диапазон доступной влаги, содержащейся в гидрогеле (Данилова, 2019). Так у гидрогеля Аквазин диапазон доступной влаги повышается на 27,6 % ($80,0 - 52,4 = 27,6\%$) (Данилова, 2019); полимерный гель Ритин-10 повышает водоудержание на 26,9 % ($81-54,1 = 26,9\%$); а у гидрогеля В - 415К диапазон доступной влаги немного ниже, чем у предыдущих гидрогелей – 25,1 % ($82,4 - 57,3 = 25,1\%$). На рисунке 4.1.5 (а, б, в, г) представлены ОГХ дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогелей Ритин-10, В-415 К, Аквазин и Aquasorb в дозах из расчета 100 кг/га и 300 кг/га (Данилова, 2020). Расчетные экспериментальные данные по гидрогелю Ритин -10 представлены в (Приложении 11), гидрогеля Аквасорб - (Приложение 12), гидрогелей Аквазин и В – 415 К – (Приложение 13).

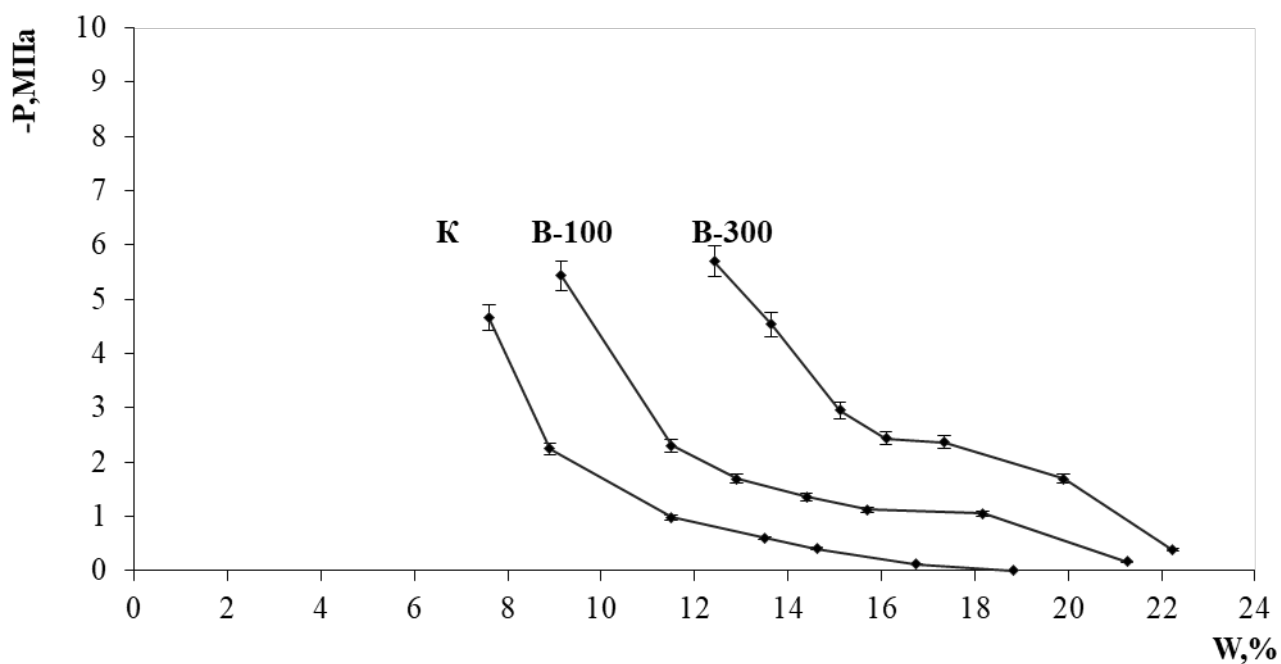
a)



б)



в)



г)

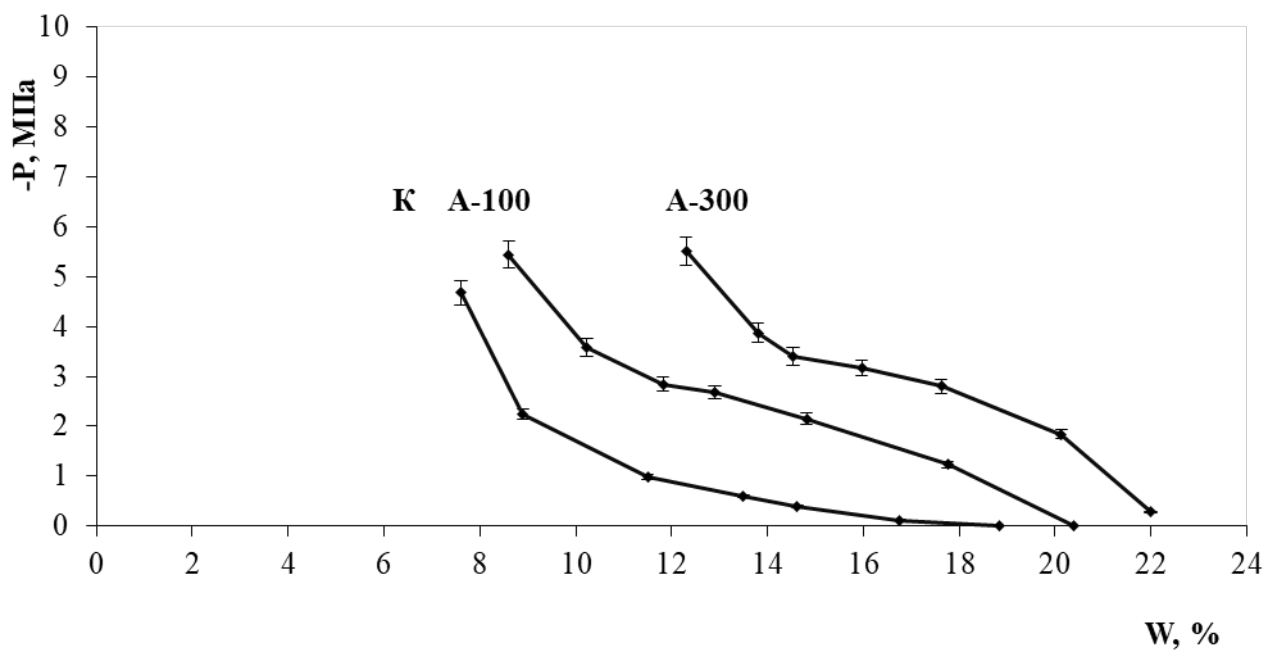


Рис. 4.1.5 - Зависимость полного потенциала влаги дерново-подзолистой супесчаной почвы под воздействием полимерного геля: К-контроль; 100 - образцы почвы с дозой внесения геля 100 кг/га; 300 - образцы почвы с дозой внесения геля 300 кг/га: а) Аq - Aquasorb; б) Р-Ритин - 10; в) В-В-415К; г) А-Аквасин (Данилова, 2020).

Анализ ОГХ (рисунок 4.1.5 (а, б, в, г)), показал, что увеличение влагосодержания зависит от дозы внесенного геля. Известно, что НВ – влажность, соответствующая 0,33 атм, влажность устойчивого завядания растений (ВЗ) - 15 атм. На графиках зависимости капиллярно-сорбционного потенциала влажности почвы с гидрогелем она совпадает со значением 1,5 Мпа (Данилова, 2019). На контроле количество доступной влаги составляет всего 10%. При добавлении полимера происходит перенос наклонных линий ОГХ относительно контроля в область повышенных значений капиллярно-сорбционного потенциала влаги. Наименьшая влагоемкость (НВ) достигла 15–20% и более, т. е. влагосодержание увеличилась в 2 раза (Данилова, 2020).

В эксперименте с гидрогелем Аквасорб (рисунок 4.1.5 а) внесение геля в дозе 100 кг/га, повысило влагосодержание в интервале 15-21%. Добавление полимерного геля из расчета 300 кг/га увеличило влажность почвенных образцов до 25,3%. В опыте с гидрогелем Ритин-10 (рис. 4.1.5 б) влажность почвы находилась в пределах 13-20 % при дозе 100 кг/га и повышалась до 22,3 % в результате внесения 300 кг/га. С добавлением в образцы почвы геля В-415 К (из расчета 100 кг/га) (рис. 4.1.5 в), интервал доступной влаги увеличился с 13 до 21 %, и до 22,5 % при 300 кг/га. Внесение гидрогеля Аквасин (рис. 4.1.4 г) повысило влагосодержание при дозе 100 кг/га до 17-20,5%, а при дозе 300 кг/га диапазон влажности почвы составил 21-22%. В результате статистического анализа установлены существенные различия ($p \leq 0,05$) между зависимостью капиллярно-сорбционного потенциала влаги вариантов с гидрогелями и контроля. Полимер достоверно ($p=0,05$) увеличил водоудерживающую способность дерново-подзолистой супесчаной почвы (Данилова, 2020).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что влага, поглощаемая гелями, доступна для растений в интервале 10-25%. Наибольшая водоудерживающая способность почвы отмечена при внесении гидрогелей в дозе 300 кг/га. Диапазон доступной влаги (НВ-ВЗ) повышался пропорционально НВ от 10% в контроле до 21-22,5% при внесении полимеров в дозе 300 кг/га (Данилова, 2019). Влагоудерживание отечественных гидрогелей

(Ритин-10, В-415 К, Аквасин) была немного ниже, чем у полимерного геля Аквасорб (зарубежного производства), но это не означает, что полимеры российского производства менее эффективны для применения в современных агротехнических приемах (Данилова, 2020).

4.2 Зависимость водопоглощающей способности полимеров от концентрации и состава растворов солей

В работах (Казанский, 1990; Лагутина, Дубровский, 1996) изучены факторы, ограничивающие набухание гидрогелей в реальных, близких к почвенным условиям. Это позволило подкорректировать процесс синтеза полимерных гелей и получить наиболее устойчивые и эффективные гидрогели на основе радиационно-сшитого полиакриламида с добавками электролитов (Данилова, Табынбаева и др., 2018; Усков и др., 2018). Результаты работ (Казанский, 1990; Дубровский, 2008) показали, что, сетки полиакриламида (ПАА) не содержащие заряженных групп, не будут взаимодействуют с ионами, возникающими при диссоциации солей, если их концентрация в водном растворе ниже 1 моль/л (Данилова, Табынбаева и др., 2018). При повышении концентрации добавление солей способствует увеличению осмотического давления и расширению сетки. Чувствительность полимера к соли связана с нарушением баланса связей полимер-вода (Miyamoto, Enriquez, 1990; Данилова, Табынбаева и др., 2018).

Существующие методы мелиорации засоленных почв связаны со значительными капитальными затратами и большим расходом пресной воды на промывки и поддержание промывного режима орошения (Лопатовская, Сугаченко, 2010). В исследовании Мирзоева и Баламирзоева (2008) показана возможность мелиорации почв аридных регионов по типу автоморфного режима увлажнения, т.е. орошение с использованием дождевальными машин, которое обеспечивает постепенное рассоление корнеобитаемого слоя почвенного профиля и не вызывает процессов вторичного засоления почв.

Целью нашего исследования было определение возможности использования гидрогелей (натриевая и калиевая основы) в качестве водоудерживающих экранов

в случае вторичного засоления почв засушливых и полузасушливых зон орошаемого земледелия.

В нашей работе (Данилова, Старцев, 2013), определено, что набухание гидрогеля в минерализованном почвенном растворе зависит от его концентрации. «При концентрации 1,0 н и 0,5 н питательного раствора Кнопа набухание геля очень слабое; при концентрации 1/3 и 1/4 – набухание больше, но меньше по сравнению с набуханием в дистиллированной воде» (Данилова, 2007; Усков и др., 2018, с.19). Увеличение молекулы полимера при набухании зависит от концентрации соли в почвенном растворе. Повышение или снижение концентрации от оптимального значения способствует уменьшению содержания влаги в полимере (Данилова, 2007; Усков и др., 2018; Wallace et al., 1986; Salem et al., 1995). На рис. 4.2.1 показаны водоудерживающие экраны гидрогелей.

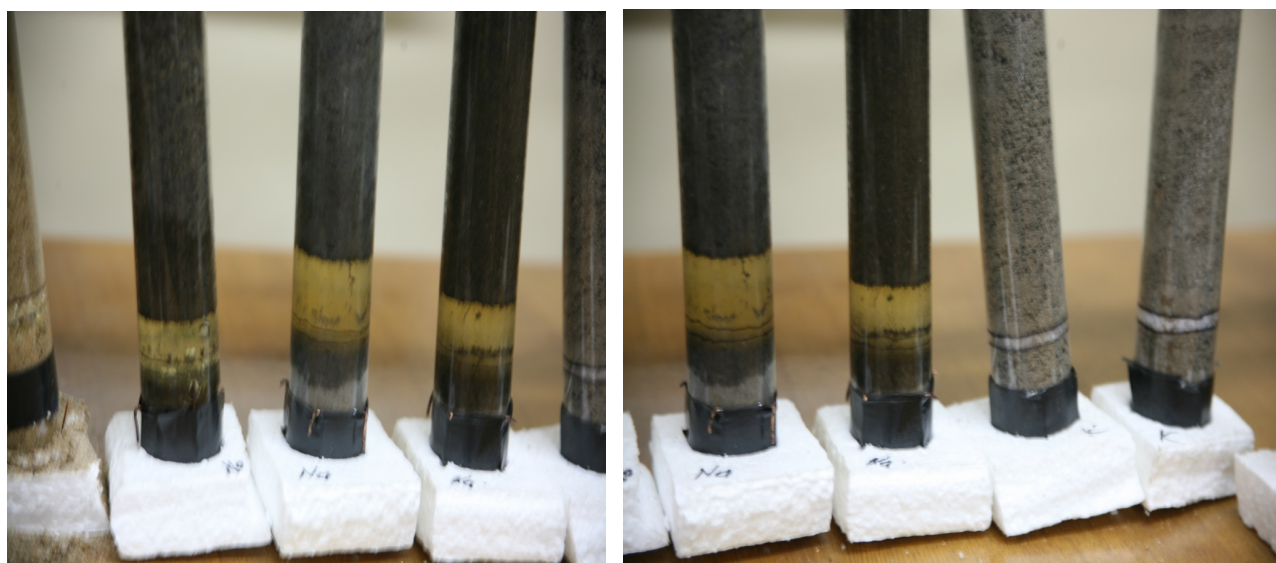


Рис. 4.2.1 - Водоудерживающие экраны из гидрогеля.

В таблице 4.2.1 представлены типы почв, их физические характеристики и возможная глубина заложения экрана из гидрогеля (Иоффе, Ревут, 1959; Усков и др., 2018).

Таблица 4.2.1- Глубина заложения экрана из гидрогеля в зависимости от физических параметров почвы (по Ускову, Даниловой, Старцеву, 2018).

Тип почвы	ρ , г/с м ³	P, %	d, г/с м ³	нагрузка, г/см ²						
				2	6	10	18	26	30	36
Дерново- подзолистая, суглинистая	1,1 7	43	2, 7	0,02... 0,03	0,07... 0,08	0,12... 0,13	0,21... 0,22	0,3... 0,31	0,3... 0,37	0,43... 0,44
Серая лесная, суглинистая	1,1 5	55	2, 5	0,02... 0,03	0,07... 0,08	0,13... 0,14	0,23... 0,24	0,32... 0,33	0,38.. 0,39	0,46... 0,47
Чернозем типичный целинный	1,1	58	2, 6	0,03... 0,04	0,08... 0,09	0,16... 0,17	0,25... 0,26	0,36... 0,37	0,43.. 0,44	0,5... 0,51
Каштановая, суглинистая	1,2	54	2, 6	0,02... 0,03	0,07... 0,08	0,13... 0,14	0,23... 0,24	0,32... 0,33	0,38.. 0,39	0,46... 0,47
Серозем типичный, суглинистый	1,4	45	2, 6	0,02... 0,03	0,06... 0,07	0,1... 0,11	0,19... 0,2	0,26... 0,27	0,3... 0,31	0,36... 0,37
Солонец корково- столбчатый	1,9	29	2, 7	0,01... 0,02	0,04... 0,05	0,06... 0,07	0,12... 0,13	0,18... 0,19	0,2... 0,22	0,25... 0,26

В таблицах 4.2.2 и 4.2.3. показано соотношение степени набухания гидрогелей в минерализованном растворе к набуханию гелей в воде при поступлении раствора сверху на экран из гидрогеля при гравитационном и капиллярном насыщениях.

При поступлении солевого раствора сверху (гравитационное увлажнение) на формирующийся экран (таблица 4.2.2), у гидрогеля на натриевой основе (Ритин-10) в минерализованных растворах 3% и 7 % NaCl, NaCl-NaHSO₄ получено набухание равное 1 при всех нагрузках кроме 14 г/см. Отмечено, что набухание полимера в этих растворах практически не отличается от набухания в воде (Усков, Данилова, Старцев, 2018).

Таблица 4.2.2 - Соотношение степени набухания гидрогелей в минерализованном растворе к набуханию гелей в воде при гравитационном увлажнении (по Ускову, Даниловой, Старцеву, 2018).

Нагрузка, г см ⁻²		0	2	6	10	14	18	22	26	30	36
3% NaCl	ГГ _К	0,62	0,68	0,94	1,07	0,92	0,75	0,73	0,82	1,27	1,11
7% NaCl		0,5	0,53	0,68	0,85	0,89	0,82	0,88	0,94	1,27	1,0
3% NaCl	ГГ _{Na}	1,0	0,79	1,0	1,0	1,2	1,0	0,89	1,0	1,0	1,0
7% NaCl		1,0	0,79	1,0	1,1	1,2	1,0	0,89	1,0	1,0	1,0
3% Na ₂ CO ₃	ГГ _К	0,63	0,63	0,67	0,87	0,81	0,8	0,86	0,72	0,85	0,75
7% Na ₂ CO ₃		0,53	0,59	0,58	0,7	0,73	0,71	0,61	0,6	0,7	0,75
3% Na ₂ CO ₃	ГГ _{Na}	1,0	0,92	0,92	1,0	1,0	0,77	0,87	0,75	0,75	0,86
7% Na ₂ CO ₃		1,0	0,85	0,83	0,9	0,78	0,77	0,75	0,75	0,75	0,86
3% NaCl-NaHSO ₄	ГГ _К	0,48	0,67	0,76	0,8	0,81	0,86	0,87	0,88	0,9	0,83
7% NaCl-NaHSO ₄		0,45	0,63	0,76	0,73	0,70	0,86	0,83	0,88	0,85	0,83
3% NaCl-NaHSO ₄	ГГ _{Na}	0,75	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
7% NaCl-NaHSO ₄		0,67	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Набухание гидрогеля на калиевой основе (В-415 К) в растворах NaCl находится в пределах от 0,5 - 0,62 до 0,82 - 0,94 при нагрузке от 0 до 26 г/см. С увеличением нагрузки набухание повышается до 1,0-1,27. В растворах Na₂CO₃ и NaCl-NaHSO₄ кратность набухания гидрогеля на калиевой основе (В-415 К) меньше 1 при всех нагрузках. При капиллярном насыщении (поступление солевого раствора снизу) (таблица 4.2.3) набухание обоих гидрогелей во всех минерализованных растворах меньше 1, только у геля на натриевой основе в растворах NaCl набухание такое же как в воде (при всех нагрузках соотношение набухания равно 1) (Усков, Данилова, Старцев, 2018).

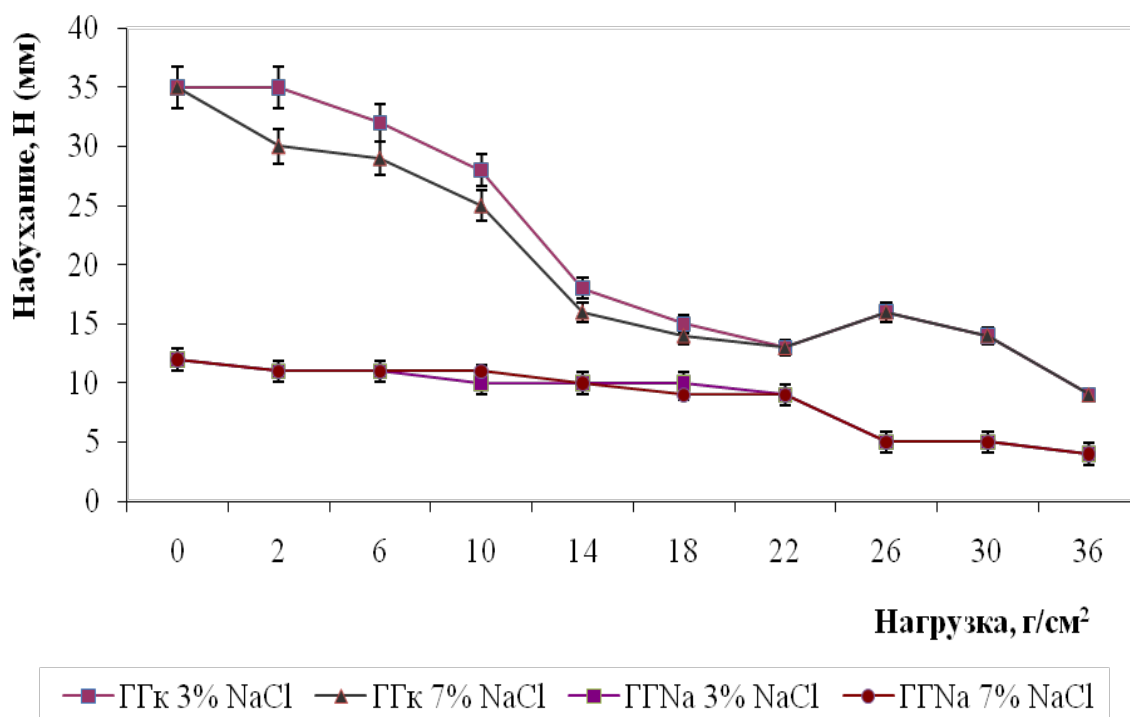
Таблица 4.2.3 - Соотношение набухания гидрогелей в минерализованном растворе к набуханию гидрогелей в воде при капиллярном насыщении (по Ускову, Даниловой, Старцеву, 2018).

Нагрузка, г/ см ²		0	2	6	10	14	18	22	26	30	36
3% NaCl	ГГ _К	0,55	0,64	0,74	0,78	0,82	0,88	0,65	0,8	0,87	1,0
7% NaCl		0,55	0,54	0,67	0,69	0,73	0,82	0,65	0,8	0,87	1,0
3% NaCl	ГГ _{Na}	0,86	1,0	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
7% NaCl		0,86	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3% Na ₂ CO ₃	ГГ _К	0,74	0,78	0,79	0,86	0,83	0,88	0,9	0,9	0,83	0,7
7% Na ₂ CO ₃		0,66	0,78	0,79	0,71	0,73	0,8	0,77	0,68	0,62	0,62
3% Na ₂ CO ₃	ГГ _{Na}	1,0	0,92	0,83	0,83	0,9	0,8	0,8	0,7	0,87	0,87
7% Na ₂ CO ₃		1,0	0,92	0,83	0,83	0,9	0,8	0,8	0,7	0,87	0,87
3% NaCl-NaHSO ₄	ГГ _К	0,64	0,73	0,83	0,78	0,82	0,92	0,9	0,87	0,75	0,83
7% NaCl-NaHSO ₄		0,64	0,68	0,78	0,75	0,78	0,83	0,82	0,78	0,7	0,78
3% NaCl-NaHSO ₄	ГГ _{Na}	0,8	0,92	0,9	1,0	1,0	1,0	0,89	0,89	0,86	0,86
7% NaCl-NaHSO ₄		0,8	0,92	0,9	1,0	0,9	1,0	0,89	0,89	0,86	0,86

На рисунках 4.2.2 (а, б); 4.2.3 (а, б); 4.2.4 (а, б) представлена зависимость кратности набухания водоудерживающих экранов из гидрогелей в зависимости от нагрузки, минерализации почвенного раствора и вида увлажнения (Усков, Данилова, Старцев, 2018).

а)

Капиллярное увлажнение



б)

Гравитационное увлажнение

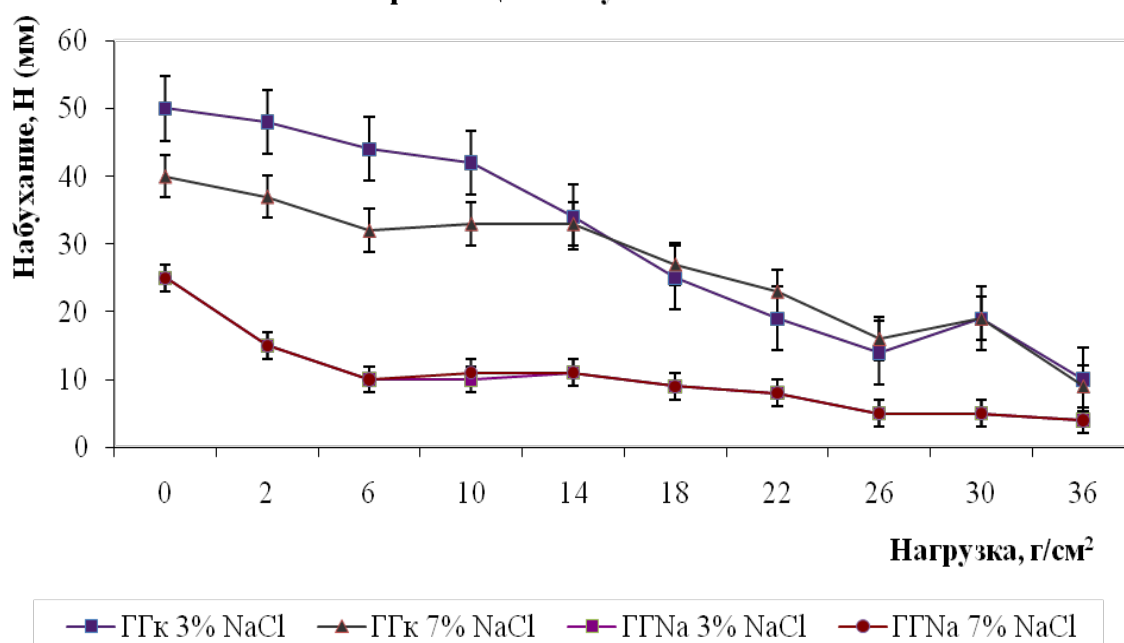
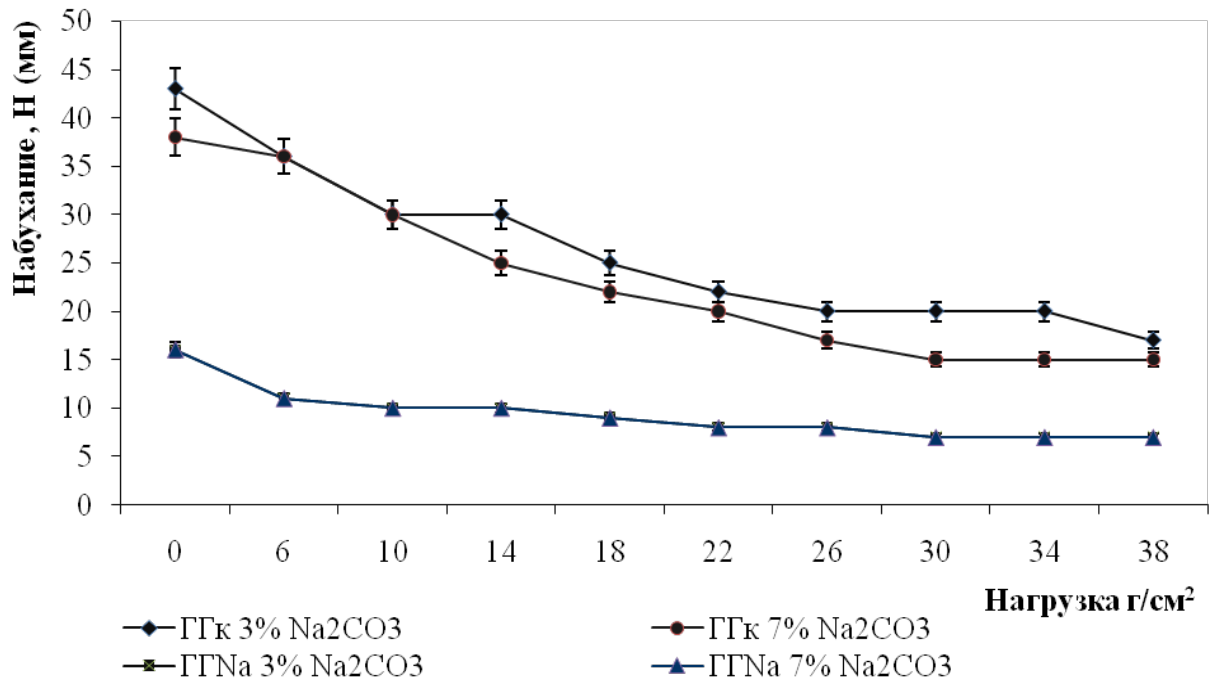


Рис.4.2.2 - Зависимость степени набухания водоудерживающих экранов Ритин-10 и В -415 К от нагрузки (глубина заложения) при хлоридном засолении (а - капиллярное увлажнение; б – гравитационное увлажнение) (по Ускову, Даниловой, Старцеву, 2018).

а)

Капиллярное увлажнение



б)

Гравитационное увлажнение

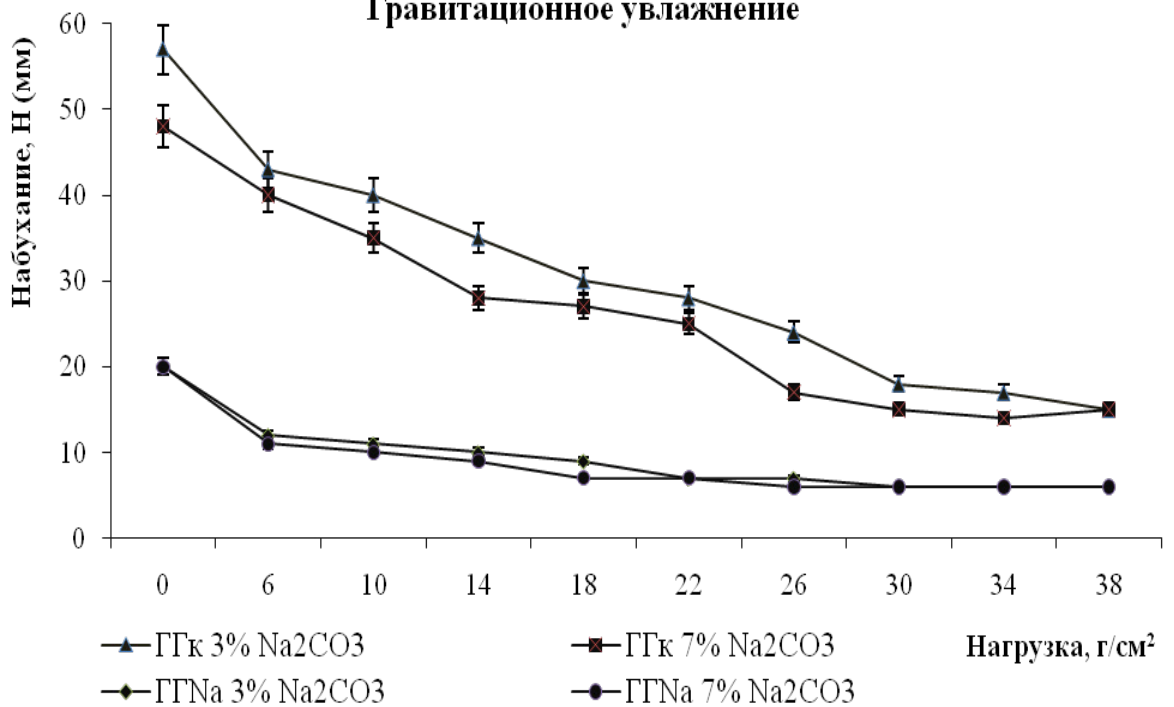
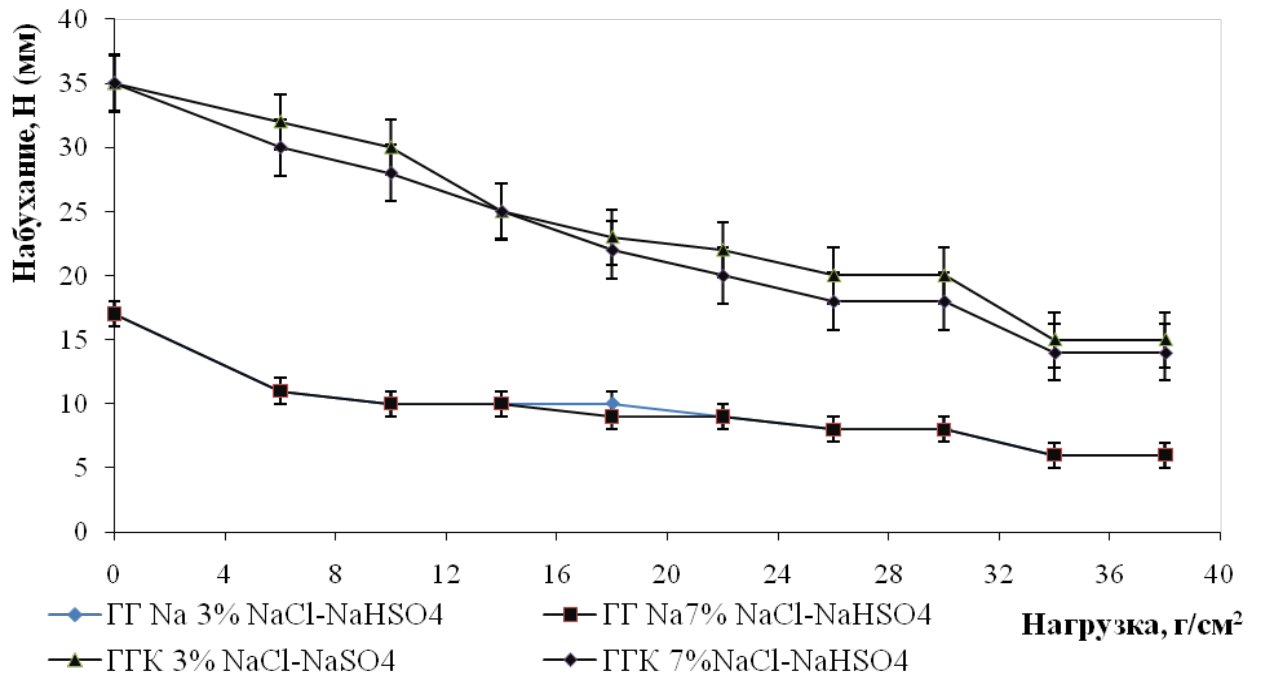


Рис. 4.2.3 - Зависимость степени набухания водоудерживающих экранов Ритин -10 и В-415 К от нагрузки (глубина заложения) при содовом засолении (а - капиллярное увлажнение; б - гравитационное увлажнение (по Ускову, Даниловой, Старцеву, 2018)).

а)

Капиллярное увлажнение



б)

Гравитационное увлажнение

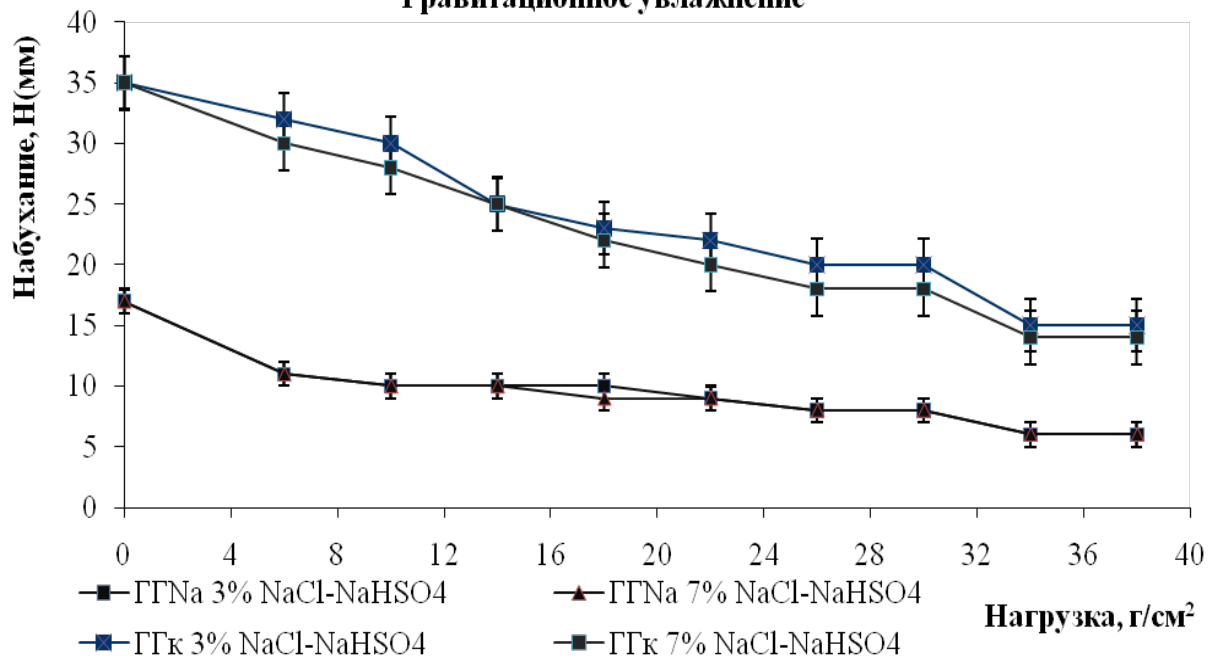
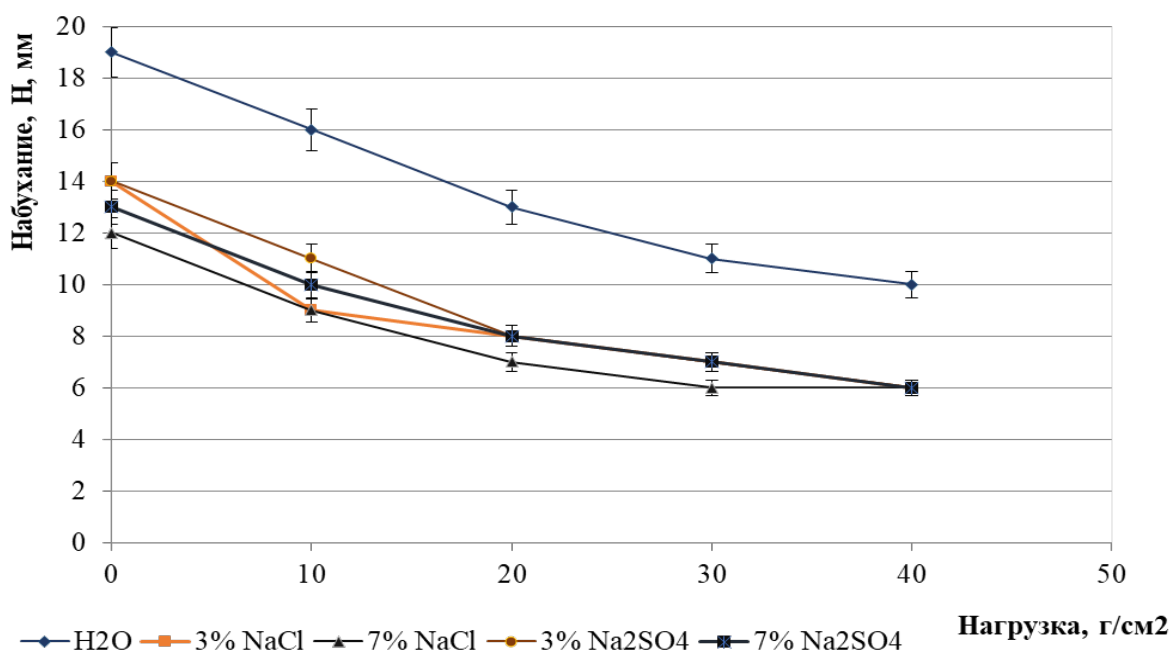


Рис. 4.2.4 - Зависимость степени набухания водоудерживающих экранов Ритин-10 и В-415 К от нагрузки (глубина заложения) при хлоридно-сульфатном засолении (а - капиллярное увлажнение; б- гравитационное увлажнение), (по Ускову, Даниловой, Старцеву, 2018).

Степень набухания экрана геля В-415 К во всех исследуемых минерализованных растворах и при капиллярном увлажнении (рис.4.2.2 а, 4.2.3 а, 4.2.4 а), и при гравитационном увлажнении (рис.4.2.2 б, 4.2.3 б, 4.2.4 б) значительно больше, чем набухание экрана гидрогеля Ритин-10, независимо от уровня нагрузки и концентрации физиологического раствора. Статистический анализ существенных различий: NaCl - ($p < 0,62$); Na_2CO_3 - ($p < 0,79$); NaCl- NaHSO_4 - ($p < 0,88$) между способами увлажнения экранов не выявил, поэтому в дальнейших исследованиях использовали только капиллярное увлажнение (Усков, Данилова, Старцев, 2018).

На рис. 4.2.5 а, б представлена зависимость степени набухания H , мм, экранов гидрогелей Аквасин и Аквасорб от нагрузки при минерализации почвенного раствора и типа увлажнения. Исследовано набухание гидрогелевых экранов в условиях хлоридного засоления.

а)



б)

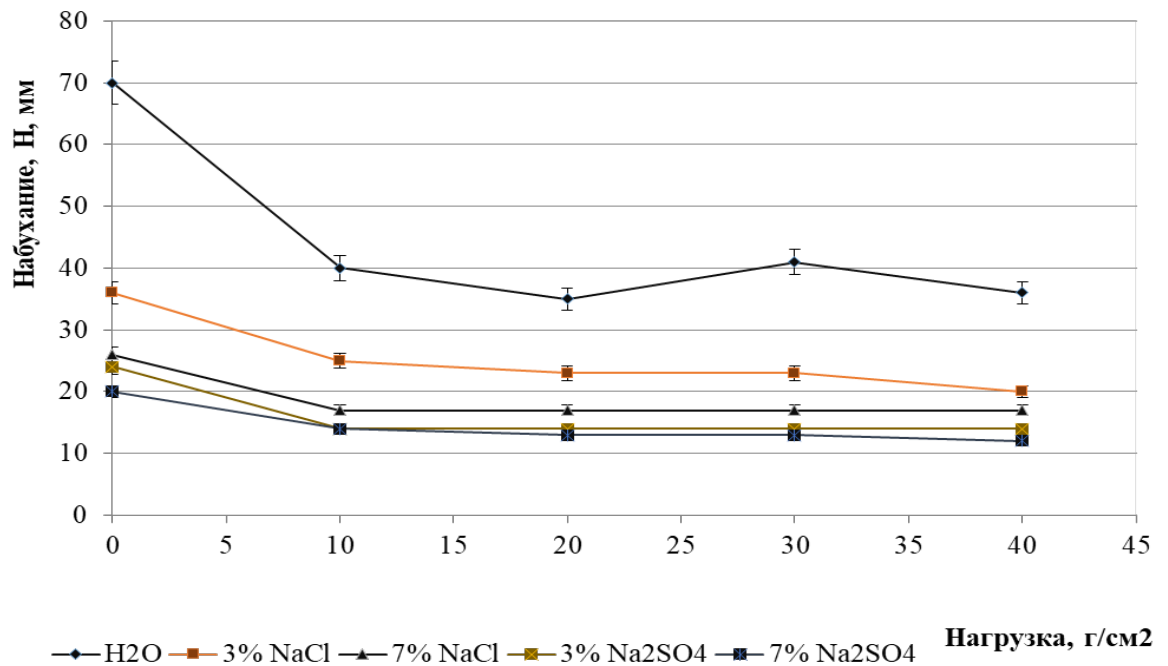
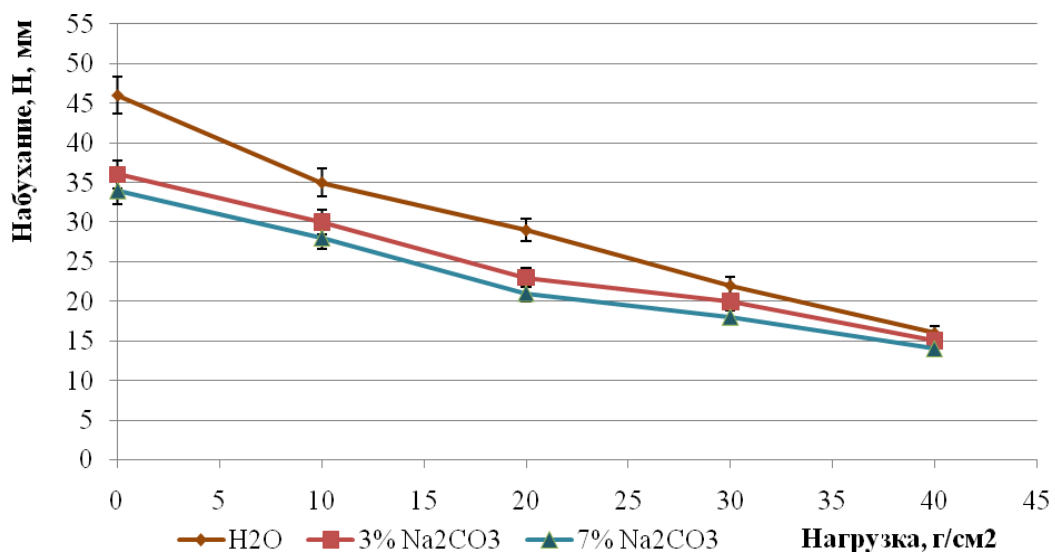


Рис.4.2.5 - Зависимость степени набухания водоудерживающих экранов гидрогелей Аквасин (а) и Aquasorb (б) от нагрузки (глубина заложения) при хлоридном и сульфатном засолении.

На рисунке 4.2.6 а, б показана зависимость кратности набухания H , мм, экранов гидрогелей Аквасин и Аквасорб от минерализации почвенного раствора и вида увлажнения. Исследовано набухание экранов гидрогелей при содовом типе засоления.

а)



б)

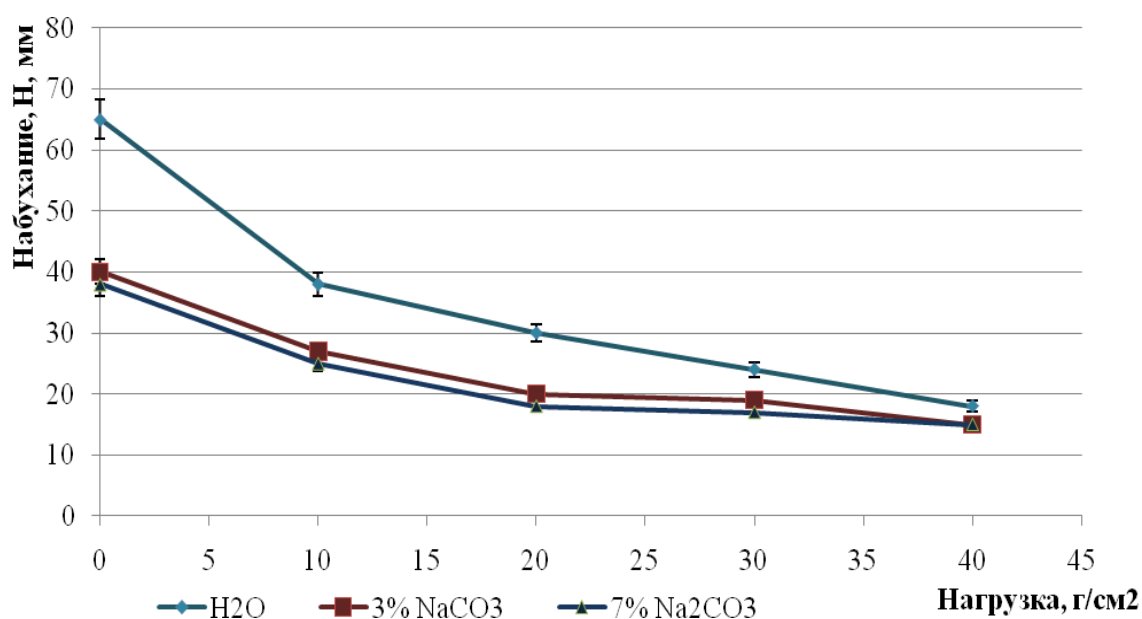


Рис.4.2.6 - Зависимость степени набухания водоудерживающих экранов гидрогелей Аквасин (а) и Aquasorb (б) от нагрузки (глубина заложения) при содовом засолении.

Анализируя графическое изображение (рис. 4.2.5 а, б и рис.4.2.6 а, б), можно сказать, что набухание гидрогелей в солевых растворах хлоридного, сульфатного и содового типов засоления значительно ниже, чем в воде, т.е. хлоридный, сульфатный и содовый типы засоления существенно влияют на скорость набухания и устойчивость гидрогелей Аквасин и Aquasorb к нагрузкам. Зависимость степени набухания от устойчивости гидрогелей Аквасин и Aquasorb к нагрузке не показала принципиальной разницы между типами засоления. Однако кратность набухания и сопротивление нагрузке гидрогеля Aquasorb значительно выше, чем у гидрогеля Аквасин с этими типами засоления. Таким образом, при создании водонепроницаемых самовосстанавливающихся экранов из гидрогелей отечественного производства, все гидрогели хорошо работают при хлоридном, сульфатном и содовом засолении, но гидрогель Aquasorb (Франция) более эффективен при нагрузках до 40 г/см².

4.2.1 Влияние типов засоления и циклов «замораживания-оттаивания» на физические характеристики водоудерживающих экранов гидрогелей.

В последние годы в связи с наметившимися глобальными климатическими изменениями количество регионов с недостаточным водоснабжением сельскохозяйственных культур в течение вегетационного периода увеличивается. Использование влагонабухающих полимерных гидрогелей в качестве водоудерживающих экранов для продления оптимальных условий водного режима в период вегетации сельскохозяйственных культур может быть одним из способов активного управления водообеспечением посевов. В данном исследовании оценивалось влияние типов засоления и циклов «замораживания-оттаивания» на набухание и на сопротивление нагрузке водоудерживающих экранов из гидрогелей В-415К, Аквасин и Aquasorb. При исследовании методом «замораживания-оттаивания» было установлено, что гель не теряет свои воднофизические свойства даже после нескольких циклов (Данилова, 2007, 2016). В исследованиях использовались содовый, хлоридный, сульфатный и хлоридно-сульфатный типы засоления. Графики влияния циклов «замораживание-оттаивание» на набухание гидрогеля В-415 К при сульфатном и хлоридно-сульфатном типах засоления при нагрузках от 0 г/см² до 40 г/см² представлены на рисунке 4.2.1.1 (а, б, в, г, д) (Приложение 14), таблица 4.2.1.1 - в (Приложении 15). На рисунке 4.2.1.2 представлена динамика набухания гидрогеля В-415 К при нагрузках от 0 до 40 г/см² при сульфатном и хлоридно-сульфатном засолении.

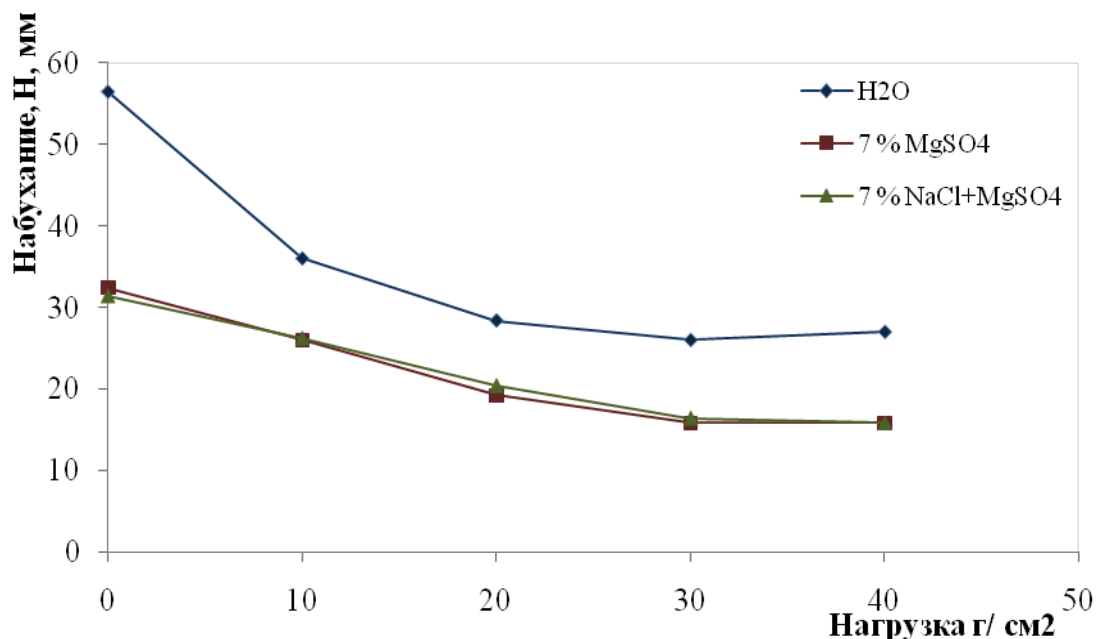


Рис.4.2.1.2 - Динамика набухаемости гидрогеля В-415 К к сопротивлению нагрузки в цикле «замораживание – оттаивание» при сульфатном и хлоридно-сульфатном засолении.

Графики влияния циклов «замораживание-оттаивание» на набухание гидрогеля В-415 К при хлоридном и содовом типах засоления при весовой нагрузке от 0 г/см² до 40 г/см² представлены на рисунке 4.2.1.3 (а, б, в, г, д) в (Приложении 16), таблица 4.2.1.3 - в (Приложении 17). На рисунке 4.2.1.4 представлено влияние циклов «замораживание-оттаивание» на набухание гидрогеля В-415 К при хлоридном и содовом типах засоления в зависимости от нагрузки в динамике.

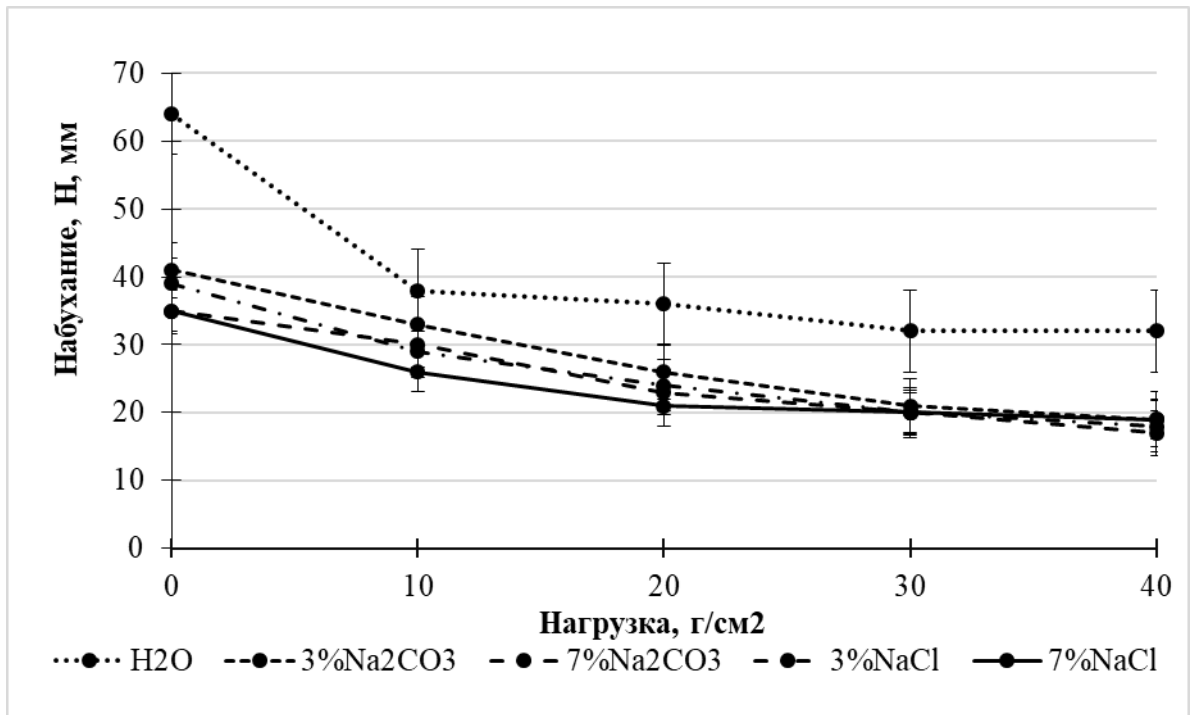
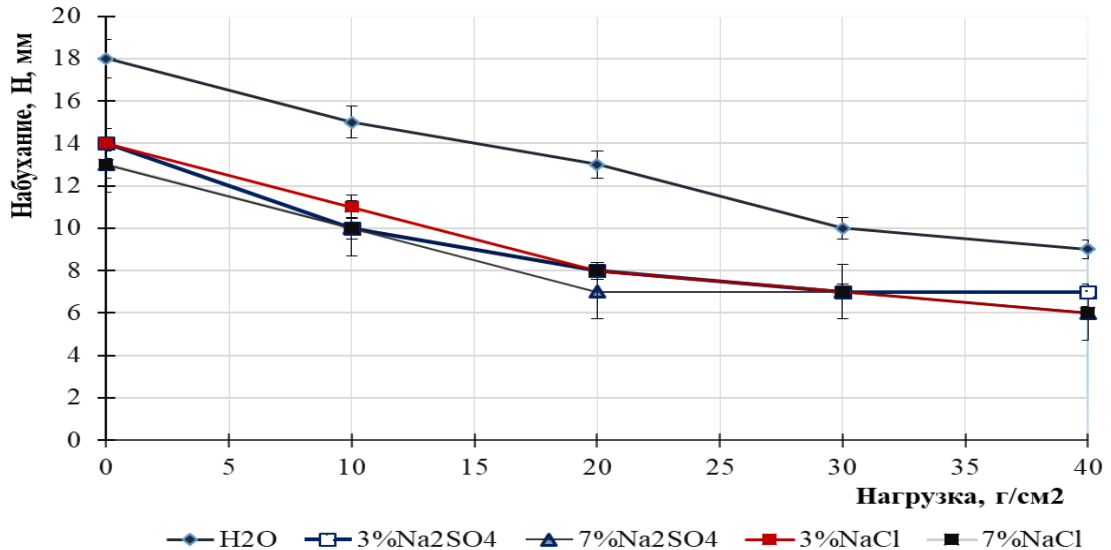


Рис.4.2.1.4 - Динамика набухаемости гидрогеля В-415 К к сопротивлению нагрузки в цикле «замораживание-оттаивание» при хлоридном и содовом типах засоления.

Анализируя, проведенные исследования можно сказать, что структура и свойства гидрогеля В - 415К, при поглощении воды в свободном состоянии без нагрузки, стабильны во всех 5 циклах. Кратность набухания гидрогеля В-415 К под влиянием сульфатного, сульфатно-хлоридного, содового и хлоридного типов засоления уменьшается почти в 2 раза по сравнению с контролем. Циклы «замерзания-оттаивания» и данные типы засоления не различаются между собой по влиянию на кратность набухания и сопротивлению нагрузке. Водоудерживающий экран на основе гидрогеля В - 415К сохраняет свою работоспособность и стабильность после 5 циклов «замерзания-оттаивания» в растворах сильносоленной концентрации исследованных типов засоления при нагрузках от 0 до 40 г/см². Наблюдается небольшое увеличение кратности набухания по мере увеличения циклов «замерзания-оттаивания» и увеличения нагрузки на сдавливание. Графики влияния циклов «замораживание-оттаивание» на набухание гидрогелей Аквасин и Аквасорб при хлоридном и сульфатном типах засоления при весовой нагрузке от 0 г/см² до 40 г/см² представлены на рисунке

4.2.1.5 (Аквасорб – а, в, д, ж, и), (Аквасин – б, г, е, з, к) - (Приложение 18), таблица 4.2.1.5 -Аквасорб в (Приложении 19), для гидрогеля Аквасин расчетные данные представлены в таблице 4.2.1.6 (Приложение 20). На рисунке 4.2.1.6 представлена динамика набухания гидрогелей Аквасин и Аквасорб в цикле «замораживание-оттаивание» при хлоридном и сульфатном типах засоления.

а)



б)

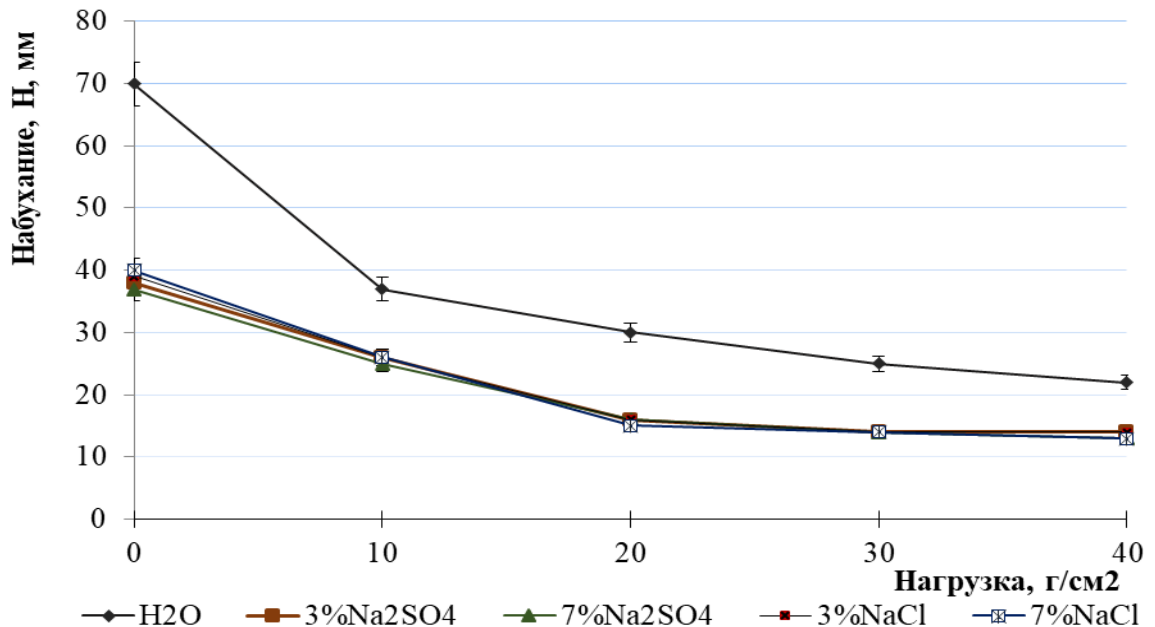


Рис.4.2.1.6 - Динамика набухаемости гидрогеля Аквасин (а) и Аквасорб (б) сопротивлению нагрузки в цикле «замораживание-оттаивание» при хлоридном и сульфатном типах засоления.

Анализируя, графики на рисунке 4.2.1.6 следует отметить, что гидрогели Аквасин (рис.4.2.1.6 а) и Аквасорб (рис.4.2.1.6 б), при поглощении воды в свободном состоянии без нагрузки остаются стабильными без изменения в течение 5 циклов «замораживания-оттаивания». При нагрузке 10 г/см² наблюдается снижение кратности набухания, особенно у гидрогеля Аквасорб. При дальнейшей нагрузке 20 г/см² и 30 г/см² кратность набухания у гидрогеля Аквасорб продолжает постепенно снижаться. Даже при нагрузке 40 г/см² кратность набухания гидрогелей Аквасин и Аквасорб остается стабильной в течение 5 циклов промерзания-оттаивания не зависимо от концентрации раствора и типа засоления.

Таким образом, водоудерживающие экраны гидрогелей В - 415 К, Аквасорб и Аквасин сохраняют стабильность и работоспособность после 5 циклов замораживания-оттаивания в растворах соленой и сильносоленой концентрации исследованных типов засоления при нагрузке 0-40 г/см².

4.3 Корреляция динамики физических свойств гидрогелей и физических и физико-химических свойств почв.

Корреляция — взаимозависимость двух или нескольких случайных величин, при изменении значения одной переменной происходит закономерное изменение (уменьшению или увеличению) другой(-их) переменной(-ых). Корреляционная зависимость отражает только взаимосвязь между переменными и не говорит о причинно-следственных связях. Взаимозависимость гидрофизических свойств гидрогелей от физических и физико-химических свойств почвы может быть применена при планировании урожайности сельскохозяйственных культур с применением гидрогелей на легких дерново-подзолистых почвах. Для нахождения корреляционной зависимости между физическими свойствами гидрогелей и физическими и физико-химическими параметрами почвы необходимо выделить основные физические и физико-химические параметры геля и почвы.

Основные физические свойства гидрогелей: плотность сшивки, удельный вес, рН, адсорбция (в деионизированной воде и в почвенном растворе), емкость

катионного обмена.

Физические свойства почвы: удельная поверхность, пористость, плотность сложения, плотность твердой фазы. Физико-химические параметры почвы: гумус, рН, K_2O , P_2O_5 , NH_4 , $N-NO_3$, емкость поглощения оснований.

Обозначения:

$\rho_{сш}$ – плотность сшивки геля

$\gamma_{г}$, $г/см^3$ – удельный вес геля

A , $г/г$ – абсорбция геля

СЕС, мэкв/г – емкость катионного обмена геля

$pH_{г}$ – рН геля

$\rho_{тф}$, $г/см^3$ – плотность твердой фазы почвы

$\rho_{сл}$, $г/см^3$ – плотность сложения почвы

$pH_{п}$ – рН почвы

P , % - пористость почвы

S , $м^2/г$ – удельная поверхность почвы

ЕКО, мг-экв/100г. почвы – емкость поглощения оснований

$N-NO_3$, мг/кг – содержание нитратного азота в почве

P_2O_5 , мг/кг – содержание фосфора в почве

K_2O , мг/кг – содержание калия в почве

гумус, % - содержание гумуса в почве

В таблице 4.3.1 представлены физические параметры гидрогелей, в таблице 4.3.2 – физические и физико-химические параметры дерново-подзолистой супесчаной почвы.

Таблица 4.3.1 - Физические параметры гидрогелей

	Аквасорб	Аквасин	Ритин -10	В- 415 К
$\rho_{сш}$	0,85	1,30	0,9	1,1
$\gamma_{г}, г/см^3$	1,10	0,6	1,14	1,12
A , $г/г$	400	400	300	400
СЕС, мэкв/г	4,6	4,6	4,5	4,6
$pH_{г}$	8,1	6	6	7-8

Таблица 4.3.2 - Физические и физико-химические параметры дерново-подзолистой супесчаной почвы

$\rho_{тф}$	- 2,54 г/см ³	ЕКО	- 6,09 мг-экв/100г почвы
$\rho_{сл}$	- 1,07 – 1,09 г/см ³	N-NO ₃	- 12,2-12,6 мг/кг
pH _п	- 5,2-5,3	P ₂ O ₅	- 231-246 мг/кг
P	- 50-58 %	K ₂ O	- 97 - 118 мг/кг
S	- 9,4-10,6 м ² /г	Гумус	- 2,95 %

В таблицах 4.3.3 – 4.3.6 представлены коэффициенты корреляции, характеризующие зависимость физических свойств гидрогелей от физико-химических параметров дерново-подзолистой супесчаной почвы.

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что плотность сшивки гидрогелей ($\rho_{сш}$) хорошо коррелирует с такими свойствами почвы как: удельная поверхность ($r = 0,71-0,75$), емкость поглощения оснований ($r = 0,78 - 0,82$), с содержанием нитратного азота ($r = 0,70 - 0,76$), менее тесная связь обнаружена с содержанием калия ($r = 0,60 - 0,64$), очень тесно коррелирует с гумусом ($r = 0,82 - 0,85$). Удельный вес гидрогеля тесно коррелирует с pH почвы ($r = 0,83-0,85$), плотностью твердой фазы почвы $\rho_{тф}$ ($r = 0,71 - 0,75$) и емкостью поглощения оснований ($r = 0,91-0,93$). Емкость катионного обмена гидрогеля (СЭС) находится в тесной корреляционной зависимости с емкостью поглощения оснований ($r = 0,98 - 1,00$), с гумусом ($r = 0,76 - 0,81$) и менее тесная связь с плотностью сложения почвы $\rho_{сл}$ ($r = - 0,64-0,74$). Выявлена очень хорошая корреляция pH гидрогеля с емкостью поглощения оснований ($r = 0,96 - 0,99$) и слабая корреляция с плотностью сложения почвы ($r = - 0,64 - 0,70$). Зависимость адсорбции гидрогеля от емкости поглощения оснований почвы была очень тесной ($r = 0,85 - 0,88$), слабая корреляция выявлена с плотностью твердой фазы почвы ($r = - 0,68 - 0,74$).

Таким образом, в результате корреляционного анализа было установлено, что на гидро - физические свойства гидрогелей в большей степени оказывают влияние физико-химические свойства почвы (ЕКО, гумус, pH), чем физические - удельная поверхность, пористость, плотность сложения, плотность твердой фазы

Таблица 4.3.3 - Коэффициенты корреляции (r), характеризующие зависимость физических свойств гидрогеля Аквасорб от физико-химических параметров дерново-подзолистой супесчаной почвы

Физические параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. $\rho_{сш}$	1														
2. γ_r , Г/см ³	0,62	1,00													
3. рН _Г	-0,45	0,83	1,00												
4. А, Г/Г	-1	0,99	0,86	1,00											
5. СЕС, мЭкв/Г	-1	0,84	0,99	0,87	1,00										
6. рН _П	-0,42	0,83	-0,62	0,26	0,13	1,00									
7. Р, %	0,31	0,40	0,14	0,36	0,19	0,99	1,00								
8. $\rho_{тф}$, Г/см ³	-0,34	0,71	0,25	0,68	0,25	-0,40	0,21	1,00							
9. $\rho_{сл}$, Г/см ³	-0,25	0,22	-0,64	0,17	-0,64	0,94	0,19	0,98	1,00						
10. S, м ² /Г	0,66	0,40	0,15	0,36	0,19	0,99	1,00	0,99	1,00	1,00					
11. ЕКО, мг-экв/100Г	0,78	0,84	0,99	0,87	1,00	0,13	0,19	0,89	1,00	0,97	1,00				
12. N-NO ₃ , мг/кг	0,70	-0,23	-0,21	-0,23	0,11	0,52	0,41	0,79	0,87	1,00	0,87	1,00			
13. Р ₂ О ₅ , мг/кг	0,53	0,29	0,20	0,26	0,25	0,98	0,95	0,81	0,95	0,99	0,91	0,88	1,00		
14. К ₂ О, мг/кг	0,60	0,44	0,36	0,42	0,40	0,95	0,94	0,82	0,86	0,85	0,87	0,83	0,85	1,00	
15. гумус, %	0,84	0,35	0,36	0,40	0,79	-0,20	-0,2	-0,3	0,46	-0,2	0,80	0,37	-0,3	-0,2	1,00

Таблица 4.3.4 - Коэффициенты корреляции (r), характеризующие зависимость физических свойств гидрогеля Аквасин от физико-химических параметров дерново-подзолистой супесчаной почвы

Физические параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. $\rho_{сш}$	1														
2. $\gamma_r, \text{Г/см}^3$	0,60	1,00													
3. pH_r	-0,52	0,85	1,00												
4. A, Г/Г	-0,99	0,97	0,91	1,00											
5. СЕС, мЭКВ/Г	-0,98	0,86	0,98	0,89	1,00										
6. $\text{pH}_п$	-0,39	0,84	-0,60	0,31	0,15	1,00									
7. P, %	0,34	0,45	0,16	0,35	0,17	0,98	1,00								
8. $\rho_{тф}, \text{Г/см}^3$	-0,35	0,68	0,28	0,71	0,26	-0,45	0,33	1,00							
9. $\rho_{сл}, \text{Г/см}^3$	-0,27	0,24	-0,67	0,20	-0,67	0,97	0,19	0,27	1,00						
10. S, м ² /Г	0,71	0,46	0,17	0,34	0,21	0,99	0,98	0,26	0,99	1,00					
11. ЕКО, мг-эКВ/100Г	0,80	0,91	0,98	0,85	0,99	0,16	0,17	0,28	0,15	0,21	1,00				
12. N-NO ₃ , мг/кг	0,72	-0,27	-0,24	-0,26	0,12	0,54	0,44	-0,8	0,97	0,45	0,17	1,00			
13. P ₂ O ₅ , мг/кг	0,51	0,32	0,26	0,28	0,33	0,96	1,00	0,41	0,55	0,98	0,29	0,68	1,00		
14. K ₂ O, мг/кг	0,62	0,45	0,40	0,49	0,46	0,97	0,89	-0,5	0,76	0,75	-0,2	0,83	0,85	1,00	
15. гумус, %	0,85	0,37	0,38	0,42	0,76	-0,26	-0,2	-0,3	0,49	-0,3	0,77	0,39	-0,3	-0,2	1,00

Таблица 4.3.5 - Коэффициенты корреляции (r), характеризующие зависимость физических свойств гидрогеля Ритин-10 от физико-химических параметров дерново-подзолистой супесчаной почвы

Физические параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. $\rho_{сш}$	1														
2. γ_r , Г/см ³	0,73	1,00													
3. рН _Г	-0,51	0,85	1,00												
4. А, Г/Г	-0,98	0,96	0,91	1,00											
5. СЕС, мЭкв/Г	-0,99	0,87	0,96	0,89	1,00										
6. рН _п	-0,46	0,85	-0,64	0,33	0,17	1,00									
7. Р, %	0,35	0,46	0,18	0,41	0,24	0,98	1,00								
8. $\rho_{тф}$, Г/см ³	-0,4	0,75	0,26	0,74	0,37	-0,46	0,25	1,00							
9. $\rho_{сл}$, Г/см ³	-0,34	0,24	-0,70	0,25	-0,71	0,97	0,24	0,28	1,00						
10. S, м ² /Г	0,73	0,45	0,22	0,38	0,23	0,99	0,99	0,29	0,90	1,00					
11. ЕКО, мг-экв/100Г	0,82	0,93	0,96	0,88	0,98	0,15	0,23	0,32	0,18	0,23	1,00				
12. N-NO ₃ , мг/кг	0,74	-0,34	-0,23	-0,27	0,42	0,61	0,46	-0,7	0,96	0,51	0,17	1,00			
13. Р ₂ О ₅ , мг/кг	0,56	0,37	0,25	0,35	0,33	0,50	1,00	0,41	0,68	0,93	0,56	0,66	1,00		
14. К ₂ О, мг/кг	0,63	0,52	0,42	0,46	0,46	0,97	0,94	-0,6	0,84	0,82	-0,3	0,87	0,85	1,00	
15. гумус, %	0,82	0,40	0,47	0,52	0,81	-0,26	-0,2	-0,4	0,39	-0,4	0,67	0,38	-0,2	-0,3	1,00

Таблица 4.3.6 - Коэффициенты корреляции (r), характеризующие зависимость физических свойств гидрогеля В-415 К от физико-химических параметров дерново-подзолистой супесчаной почвы

Физические параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. $\rho_{сш}$	1														
2. γ_r , Г/см ³	0,71	1,00													
3. рН _Г	-0,56	0,86	1,00												
4. А, Г/Г	-0,97	0,99	0,91	1,00											
5. СЕС, мЭКВ/Г	-0,98	0,86	0,97	0,89	1,00										
6. рН _п	-0,53	0,85	-0,68	0,31	0,23	1,00									
7. Р, %	0,42	0,45	0,14	0,41	0,26	0,95	1,00								
8. $\rho_{тф}$, Г/см ³	-0,37	0,73	0,37	0,73	0,31	-0,56	0,31	1,00							
9. $\rho_{сл}$, Г/см ³	-0,29	0,36	-0,72	0,25	-0,74	0,98	0,24	0,34	1,00						
10. S, м ² /Г	0,75	0,48	0,19	0,42	0,23	0,96	0,99	0,29	0,98	1,00					
11. ЕКО, мГ- ЭКВ/100Г	0,82	0,91	0,98	0,85	0,96	0,25	0,17	0,32	0,14	0,28	1,00				
12. N-NO ₃ , мГ/кг	0,76	-0,37	-0,21	-0,27	0,42	0,61	0,31	-0,7	0,97	0,40	0,17	1,00			
13. Р ₂ О ₅ , мГ/кг	0,56	0,33	0,30	0,32	0,38	0,97	0,96	0,43	0,65	0,91	0,21	0,75	1,00		
14. К ₂ О, мГ/кг	0,64	0,51	0,47	0,38	0,49	0,95	0,95	-0,6	0,83	0,76	-0,4	0,83	0,84	1,00	
15. гумус, %	0,85	0,38	0,42	0,43	0,81	-0,27	-0,3	-0,2	0,52	-0,2	0,87	0,39	-0,2	-0,3	1,00

4.4 Динамика трансформации ионов натрия и калия в дерново-подзолистой почве, мелиорированной гидрогелями

Результаты лабораторного анализа показали, что распределение различных ионов в почвенных образцах, обработанных гидрогелями, в динамике, происходит неодинаково. В таблице 4.4.1 представлены результаты химического анализа водной вытяжки из образцов дерново-подзолистой почвы, обработанной гидрогелями.

Таблица 4.4.1 – Состав водной вытяжки из образцов дерново-подзолистой почвы, обработанной гидрогелями

№ п/п	рН _{вод.}	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Сумма анионов	Na ⁺	K ⁺	Сумма катионов	Плотный остаток, %
Контроль								
1	6,39	0,13	0,10	0,23	0,07	0,13	0,20	0,011
2	6,68	0,15	0,08	0,23	0,06	0,13	0,19	0,013
3	6,72	0,14	0,09	0,23	0,07	0,13	0,20	0,012
4	6,66	0,14	0,08	0,22	0,07	0,13	0,20	0,010
5	6,59	0,15	0,10	0,25	0,06	0,13	0,19	0,014
6	6,55	0,16	0,07	0,23	0,07	0,13	0,20	0,018
7	6,59	-	-	-	0,07	0,14	0,21	-
8	6,64	0,14	0,10	0,24	0,06	0,13	0,19	0,015
9	6,56	-	-	-	0,06	0,14	0,20	-
10	6,63	0,16	0,09	0,25	0,04	0,13	0,17	0,012
Ритин -10								
11	6,88	0,15	0,10	0,25	0,53	0,06	0,59	0,054
12	6,62	0,2	0,075	0,275	0,67	0,08	0,75	0,081
13	6,47	0,15	0,075	0,225	0,67	0,09	0,76	0,024
14	6,46	0,15	0,075	0,225	0,77	0,10	0,87	0,012
15	6,38	0,15	0,10	0,25	0,76	0,11	0,87	0,018
16	6,46	0,15	0,075	0,225	0,81	0,11	0,92	0,012
17	6,43	0,15	0,075	0,225	0,74	0,11	0,85	0,033
18	6,45	0,1	0,10	0,20	0,73	0,12	0,85	0,021
19	6,41	0,15	0,075	0,225	0,70	0,12	0,82	0,054
20	6,49	0,2	0,075	0,275	0,79	0,12	0,91	0,036

Продолжение таблицы 4.4.1

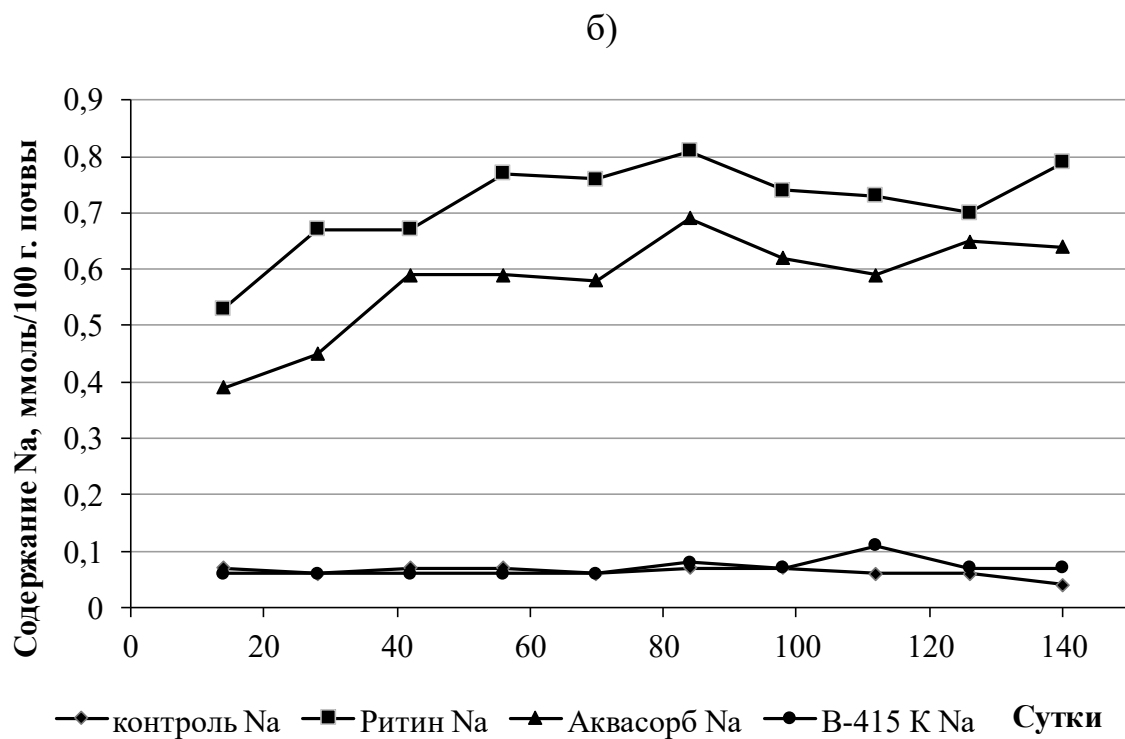
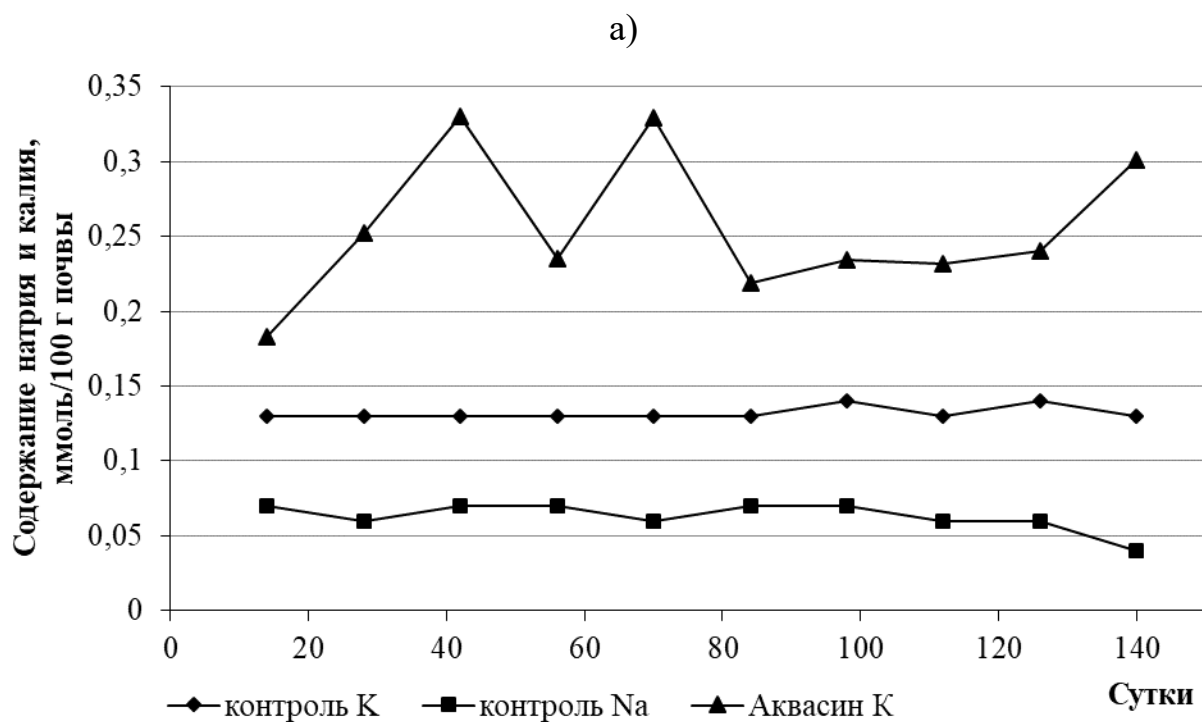
Аквасорб								
21	7,21	0,15	0,075	0,225	0,39	0,05	0,44	0,162
22	6,96	0,15	0,075	0,225	0,45	0,07	0,52	0,051
23	6,94	0,15	0,075	0,225	0,59	0,08	0,67	0,09
24	7,04	0,1	0,10	0,20	0,59	0,08	0,67	0,054
25	6,99	0,2	0,10	0,30	0,58	0,08	0,66	0,075
26	7,05	0,15	0,10	0,25	0,69	0,10	0,79	0,063
27	7,10	0,2	0,10	0,30	0,62	0,10	0,72	0,105
28	7,10	0,15	0,10	0,25	0,59	0,08	0,67	0,075
29	7,06	-	-	-	0,65	0,09	0,74	-
30	7,07	0,15	0,125	0,275	0,64	0,09	0,73	0,069
В-415 К								
31	7,22	0,14	0,10	0,24	0,06	0,35	0,41	0,052
32	7,05	0,12	0,075	0,195	0,06	0,30	0,36	0,080
33	7,09	0,13	0,075	0,205	0,06	0,34	0,40	0,023
34	7,08	0,14	0,075	0,215	0,06	0,34	0,40	0,017
35	7,08	0,15	0,10	0,25	0,06	0,37	0,43	0,018
36	7,12	0,13	0,075	0,205	0,08	0,39	0,47	0,016
37	7,22	0,15	0,075	0,225	0,07	0,36	0,43	0,033
38	7,20	0,13	0,10	0,23	0,11	0,36	0,47	0,022
39	7,19	0,15	0,075	0,225	0,07	0,46	0,53	0,056
40	7,15	0,12	0,075	0,195	0,07	0,32	0,39	0,039
Аквасин								
41	6,00	0,15	0,10	0,25	-	0,183	0,183	0,054
42	5,87	0,2	0,075	0,275	-	0,252	0,252	0,081
43	5,77	0,15	0,075	0,225	-	0,330	0,330	0,024
44	5,81	0,15	0,075	0,225	-	0,235	0,235	0,012
45	5,66	0,15	0,10	0,25	-	0,329	0,329	0,018
46	5,71	0,15	0,075	0,225	-	0,219	0,219	0,012
47	5,74	0,15	0,075	0,225	-	0,234	0,234	0,033
48	5,73	0,1	0,10	0,20	-	0,232	0,232	0,021
49	5,65	0,15	0,075	0,225	-	0,240	0,240	0,054
50	5,56	0,2	0,075	0,275	-	0,301	0,301	0,036

Водная вытяжка из образцов дерново-подзолистой почвы, обработанной гидрогелем зарубежного производства Аквасорб, показала, что гидрогель (рН = 8,1) может изменять значения рН почвы и поддерживать эти значения на уровне ближе к нейтральной реакции (рН=6,94 – 7,21) на протяжении довольно длительного периода (5 месяцев). Гидрогель отечественного производства на

натриевой основе Ритин - 10 (рН=6), поддерживал значение рН в пределах рН=6,4 до рН=6,9, т. е значение рН образцов дерново – подзолистой почвы, обработанных гидрогелем было таким же, как и на контроле. Водная вытяжка из образцов дерново – подзолистой хорошо окультуренной почвы, обработанной гидрогелем отечественного производства на калиевой основе В - 415 К (рН = 7-8) показала, что гидрогель повысил значение рН почвы до значения рН = 7,05 – 7,22. Гидрогель отечественного производства Аквасин (рН=6), также в начальный период способен повысить значение рН почвы, с рН=5,3 до нейтральной рН=6,0, но с течением времени это значение понижается, и реакция почвы становится ближе к слабокислой рН =5,6.

На карбонаты и хлориды гидрогели особого влияния не оказывают, содержание этих элементов приблизительно одинаковое во всех вариантах. В распределении ионов Na^+ и K^+ есть существенные различия. Так, в почвенных образцах с гидрогелем Аквасорб наблюдается тенденция сохранения постоянного количества ионов Na^+ и K^+ независимо от длительности эксперимента. По сравнению с контрольным вариантом отмечено повышенное содержание ионов Na^+ в водной вытяжке (полимер на калиевой основе), т.е происходило вымывание ионов Na^+ из геля в почву. В почвенных образцах с гидрогелем Ритин -10 ионы Na^+ присутствовали в вытяжке и наблюдалось закономерное увеличение этого иона в водной вытяжке, в динамике, т.е. происходило вымывание иона натрия из гидрогеля в почву. Ионы K^+ вымывались незначительно. Водная вытяжка из образцов дерново – подзолистой почвы, обработанной гидрогелем В- 415 К показала значительное вымывание иона калия из геля в почву и незначительное количество иона Na^+ . В почвенных образцах с гидрогелем Аквасин ионов Na^+ не было обнаружено совсем или их было очень небольшое количество, и водная вытяжка не показала их наличие. Ионы K^+ присутствовали в вытяжке и наблюдалось закономерное увеличение этого иона в водной вытяжке, в динамике, т.е. происходило вымывание иона калия из гидрогеля в почву. На рисунке 4.4.1 показано графическое изображение распределения ионов Na и K в образцах

дерново-подзолистой почвы в динамике. Рисунок 4.4.1 а представлен отдельно, т.к. эксперимент с гидрогелем Аквасин проведен раньше, чем с другими гелями.



в)

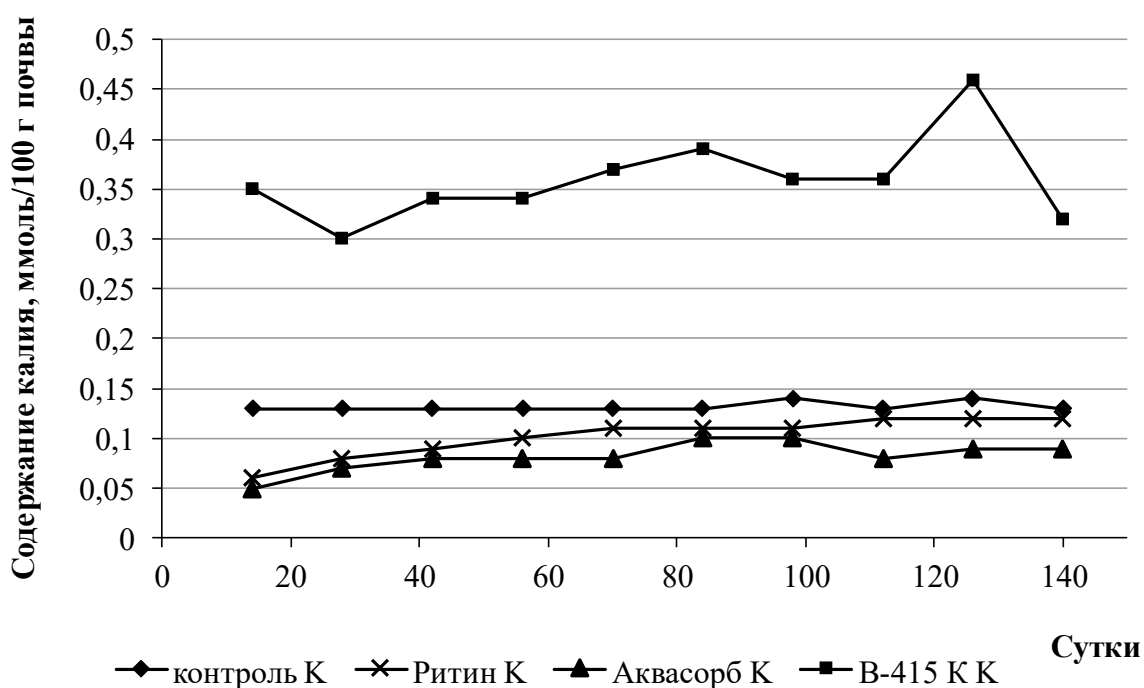


Рис.4.4.1 - Распределение ионов Na и K в образцах дерново-подзолистой супесчаной почвы, обработанной гидрогелями: а) –Аквасин (Na^+ и K^+); б) –Ритин, Аквасорб, В-415 К (Na^+); в) - Ритин, Аквасорб, В-415 К (K^+)

Анализируя рисунок 4.4.1 (а) можно сказать, что у гидрогеля Аквасин происходило скачкообразное вымывание иона калия из полимерной матрицы в течение всего периода эксперимента по сравнению с контролем. В водной вытяжке не было обнаружено ионов натрия, поэтому графически распределение этого иона не представлено. Трансформация иона натрия в образцах дерново-подзолистой почвы (рис.4.4.1 б) наиболее интенсивно происходит у гидрогелей Ритин -10 и Аквасорб, в то время как у полимера В - 415 К она практически такая же, как и на контроле. Графическое изображение (рис.4.4.1 в) показывает, что распределение иона калия в образцах дерново-подзолистой почвы, обработанной гидрогелями Ритин-10 и Аквасорб в зависимости от длительности эксперимента, незначительно отличается от контрольного варианта, т.е вымывание калия не происходит. У полимера В - 415 К калий интенсивно, скачкообразно переходит из

почвы в водную вытяжку.

Таким образом, можно сказать, что по всем показателям лучше себя проявил гидрогель зарубежного производства Аквасорб. Он оказался более устойчивым к разрушению и вымыванию ионов калия (необходим растениям для устойчивости к водному стрессу), на протяжении всего периода эксперимента значение рН почвы с гидрогелем Аквасорб поддерживалось на уровне нейтральной реакции и близкой к нейтральной.

4.5 Гидрофизические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении водопоглощающих гидрогелей

4.5.1 Динамика изменения влажности дерново-подзолистой супесчаной почвы в полевом севообороте

Внесение в почву гидрогеля способствует увеличению водоудерживающей способности почвы, что положительно сказывается на устойчивости растений в условиях недостаточного количества осадков во время весенней и осенней засухи, а также колебаний водообеспеченности в вегетационный период на разных этапах развития посевов (Данилова, 2013; Montesano et al., 2015). В 2012 году первой культурой, после внесения гидрогеля, в полевом севообороте стал ячмень с подсевом многолетних трав. В критический период роста и развития ячменя по фактору влагообеспеченности, в частности, в фазу колошения - цветения, у растений особенно возрастает потребность в воде. Таблица 4.5.1.1 показывает влажность почвы и потери влаги во время критического вегетационного периода ячменя.

Таблица 4.5.1.1 - Влажность почвы в период вегетации в зоне внесения гидрогеля (культура- ячмень 2012 г.)

Вариант	Глубина, см	Влажность, %				
		стеблевание	колошение	$\Delta(-)$	цветение	молочно-восковая спелость
Контроль	0-10	15,47	16,96	8,99	7,97	11,47
	10-20	15,05	21,18	12,92	8,26	12,41
ГГ _{Na-100}	0-10	14,73	20,63	6,96	13,67	16,99
	10-20	15,8	21,0	6,85	14,15	14,53
ГГ _{K-100}	0-10	15,52	21,0	7,67	13,33	14,03
	10-20	15,96	20,0	6,76	13,24	15,59
ГГ _{Na-200}	0-10	14,81	18,49	5,89	12,6	12,58
	10-20	15,31	19,68	7,76	11,92	15,75
ГГ _{K-200}	0-10	14,28	19,56	4,69	14,87	15,10
	10-20	15,13	18,52	3,5	15,02	16,06
ГГ _{Na-300}	0-10	16,94	21,43	10,55	10,88	13,4
	10-20	17,98	21,67	11,54	10,13	14,57
ГГ _{K-300}	0-10	15,79	21,62	9,4	12,22	16,20
	10-20	15,80	21,78	9,24	12,54	15,87

Анализ данных таблицы 4.5.1.1 показывает, что влажность почвы верхнего корнеобитаемого (0-10 см) и нижнего (10-20 см) слоев имеет абсолютно одинаковые значения. В вариантах с гидрогелем отмечено незначительное увеличение влажности верхнего слоя (0...10 см). Существенное снижение влажности почвы наблюдается в фазу цветения ячменя. В 2013-2014 гг. после ячменя в севообороте находились многолетние травы (клевер + тимофеевка). В таблице 4.5.1.2 показана влажность почвы в зоне внесения гидрогеля.

Из анализа таблицы 4.5.1.2, видно, что многолетние травы I-го и II-го года использования до фазы стеблевания потребляют влаги меньше, чем за период стеблевания-цветение. Влажность почвы верхнего и нижнего слоев практически одинакова, отмечено незначительное увеличение влажности в верхнем (0 -10 см) слое в вариантах с гидрогелями по сравнению с контролем. При наступлении фазы цветения наблюдается снижение влажности почвы, растения интенсивнее транспирируют влагу, происходит иссушение верхнего слоя почвы.

Таблица 4.5.1.2 - Влажность почвы в зоне внесения гидрогеля (многолетние травы 1 и 2 годов пользования -2013-2014 гг.), (по Даниловой, Оленченко, 2016).

№ П/П	Вариант	Глубина (см)	Влажность почвы (весовая), %					
			2013 г.(05.06 – 26.06)			2014 г. (20.05 – 07.07)		
			стеблевание	$\Delta(-)^*$	цветение	стеблевание	$\Delta(-)^*$	цветение
1	Контроль (без геля)	0-10	16,51	9,46	7,05	23,8	4,8	19,0
		10-20	16,53	8,13	8,4	23,5	9,6	13,9
2	ГГ _{Na} - 100	0-10	17,53	7,93	9,6	25,4	3,9	21,5
		10-20	17,64	8,03	9,61	23,2	2,4	20,8
3	ГГ _K - 100	0-10	17,84	11,62	6,22	22,9	5,0	17,9
		10-20	16,62	9,0	7,62	23,8	6,2	17,6
4	ГГ _{Na} - 200	0-10	17,75	3,4	14,35	25,2	7,2	18,0
		10-20	17,69	4,58	13,11	22,7	3,3	19,4
5	ГГ _K - 200	0-10	18,75	9,38	9,37	23,7	5,4	18,3
		10-20	17,65	7,96	11,86	23,0	2,5	20,5
6	ГГ _{Na} - 300	0-10	16,04	7,96	8,08	23,2	6,3	16,9
		10-20	15,12	5,72	9,4	21,3	1,9	19,4
7	ГГ _K - 300	0-10	17,97	9,11	8,86	23,0	6,3	16,7
		10-20	16,4	4,69	11,71	21,0	4,4	16,6

$\Delta (-)^*$ - потери влаги за период стеблевание – цветение

Понижение влажности особенно заметно в вариантах у гидрогеля В - 415 К на многолетних травах первого года пользования, так как влага, содержащаяся в геле более доступна для растений (в период цветения стояла сухая, жаркая погода, температура воздуха $T_{\max} = 28,1...31,4$ °С, осадки – 0 мм). В 2014 г. резкого снижения влажности почвы не наблюдалось, метеоусловия были благоприятными для роста и развития растений (температура воздуха $T_{\max} = 23,7...25,8$ °С, осадки – 18,9 мм). Влагоудерживание в корнеобитаемой зоне наблюдалось в вариантах гидрогелей с высокими (200 кг/га, 300 кг/га) дозами внесения (Данилова, Оленченко, 2016). Следующей культурой после многолетних трав была озимая рожь. В таблице 4.5.1.3 показана влажность почвы в зоне внесения гидрогеля в период вегетации озимой ржи.

Таблица 4.5.1.3 - Влажность почвы в период вегетации в зоне внесения гидрогеля (озимая рожь -2015 г).

Вариант	Глубина, см	Влажность, %					
		стеблева ние	колошение	$\Delta(-)^*$	цветение	стадия - налив	молочно-восковая спелость
Контроль	0-10	15,92	12,6	1,7	10,9	12,2	11,8
	10-20	15,31	24,6	9,8	14,8	8,8	10,9
Γ_{Na} -100	0-10	15,32	17,7	6,2	11,5	10,7	12,7
	10-20	20,17	24,8	6,7	18,1	10,4	12,6
Γ_K - 100	0-10	19,54	18,3	3,7	14,6	17,0	13,6
	10-20	18,44	24,9	6,1	18,8	13,9	12,1
Γ_{Na} -200	0-10	15,23	15,7	5,3	10,4	10,9	10,4
	10-20	15,46	24,8	8,2	16,6	8,9	9,5
Γ_K - 200	0-10	14,77	18,1	4,8	13,3	14,5	10,8
	10-20	15,26	24,8	9,6	15,2	13,7	11,9
Γ_{Na} -300	0-10	12,81	16,4	7,0	9,4	11,2	12,2
	10-20	13,38	24,4	8,0	16,4	10,6	11,8
Γ_K -300	0-10	15,42	20,4	7,2	13,2	11,5	13,0
	10-20	15,10	24,8	6,9	17,9	12,6	12,1

$\Delta(-)^*$ - потери влаги за период колошение – цветение

Анализ данных таблицы 4.5.1.3, показал, что растения озимой ржи потребляют меньше влаги в начальной фазе роста, чем в фазе колошение - цветение. В фазу цветения растения сильнее транспирируют влагу, почва верхнего корнеобитаемого слоя высыхает (Данилова, Оленченко, 2016).

Последней культурой в звене полевого севооборота был ячмень. Данные по влажности почвы в период вегетации ячменя представлены в таблице 4.5.1.4.

Анализируя данные таблицы 4.5.1.4, можно сказать, что влажность почвы верхнего и нижнего слоев в период колошения ячменя практически одинакова, 2016 год был дождливым, за вегетационный период выпало большое количество осадков. Поэтому сложно сказать о влиянии гидрогеля на рост и развитие растений ячменя. Однако отмечается разница в вариантах.

Таблица 4.5.1.4 - Влажность почвы в период вегетации в зоне внесения гидрогеля (ячмень-2016 г).

Вариант	Глубина, см	Влажность, %						
		всходы-3-й лист	стебли	колошение	$\Delta(-)^*$	цветение	стадия - налив	молочно-восковая спелость
Контроль	0-10	8,7	6,6	19,6	9,8	9,8	13,0	24,8
	10-20	13,3	11,2	24,8	14,8	10,0	24,9	25,0
$\Gamma_{Na} - 100$	0-10	11,3	6,6	18,8	9,4	9,4	12,9	24,7
	10-20	15,5	10,8	24,9	13,6	11,3	24,8	24,8
$\Gamma_K - 100$	0-10	9,4	7,4	17,0	7,2	9,8	11,2	17,0
	10-20	13,6	9,5	19,6	8,5	11,1	24,8	24,9
$\Gamma_{Na} - 200$	0-10	9,6	8,5	16,8	7,3	9,5	14,7	14,1
	10-20	14,7	9,9	24,9	12,0	12,9	24,8	24,9
$\Gamma_K - 200$	0-10	13,4	10,7	17,5	7,0	10,5	16,4	24,9
	10-20	14,5	14,7	24,9	14,5	10,4	24,8	24,9
$\Gamma_{Na} - 300$	0-10	14,4	6,7	21,8	10,3	11,5	24,8	20,4
	10-20	18,5	9,8	24,7	10,8	13,9	25,1	24,8
$\Gamma_K - 300$	0-10	10,8	6,8	24,8	12,3	12,5	24,9	17,5
	10-20	14,4	9,8	24,9	13,4	11,5	25,1	24,9

$\Delta (-)^*$ - потери влаги за период колошение – цветение

В таблице 4.5.1.5 показано соотношение содержания влаги в корнеобитаемой зоне по годам исследования.

Таблица 4.5.1.5 - Соотношение содержания влаги в прикорневой зоне по годам исследования ($K = \frac{0-10 \text{ см}}{10-20 \text{ см}}$).

Вариант	К				
	2012г	2013г	2014г	2015г	2016г
Контроль	0,69	1,16	0,5	0,17	0,66
$\Gamma_{Na} - 100$	1,02	0,98	1,62	0,92	0,69
$\Gamma_K - 100$	1,13	1,29	0,8	0,60	0,85
$\Gamma_{Na} - 200$	0,76	0,74	2,18	0,65	0,60
$\Gamma_K - 200$	1,34	1,17	2,16	0,5	0,48
$\Gamma_{Na} - 300$	0,91	1,39	3,31	0,9	0,95
$\Gamma_K - 300$	1,02	1,94	1,43	1,04	0,92

Влагосодержание в корнеобитаемой зоне различно по вариантам и годам полевого опыта (табл. 4.5.1.5). В 2013 г. иссушение верхнего слоя почвы наблюдалось в вариантах с гидрогелем на калиевой основе (В-415 К) со всеми дозами внесения, у геля на натриевой основе (Ритин-10) – 300 кг/га. В 2014 г. наблюдалось влагоудерживание в верхнем слое почвы у гидрогеля на натриевой основе (Ритин -10) при всех дозах внесения, у геля В-415 К с большими дозами внесения (200 кг/га и 300 кг/га) (Данилова, Оленченко, 2016). В таблице 4.5.1.6 показана взаимосвязь между содержанием влаги в корневой зоне гидрогелей.

Таблица 4.5.1.6 - Соотношение содержания влаги в прикорневой зоне с гидрогелем на натриевой и калиевой основе по годам исследования

$$\left(K = \frac{0-10 \text{ см}}{10-20 \text{ см}} \right).$$

2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Контроль -0,69	Контроль -1,16	Контроль- 0,5	Контроль -0,17	Контроль -0,66
ГГ _{Na-100} - 1,02	ГГ _{Na-100} - 0,98	ГГ _{Na-100} - 0,8	ГГ _{Na-100} -0,92	ГГ _{Na-100} - 0,69
ГГ _{Na-200} - 0,76	ГГ _{Na-200} -0,74	ГГ _{Na-200} - 2,16	ГГ _{Na-200} -0,65	ГГ _{Na-200} - 0,60
ГГ _{Na-300} -0,91	ГГ _{Na-300} - 1,39	ГГ _{Na-300} - 3,31	ГГ _{Na-300} -0,9	ГГ _{Na-300} -0,95
ГГ _{K-100} - 1,13	ГГ _{K-100} - 1,29	ГГ _{K-100} - 1,62	ГГ _{K-100} - 0,60	ГГ _{K-100} - 0,85
ГГ _{K-200} - 1,34	ГГ _{K-200} - 1,17	ГГ _{K-200} - 2,18	ГГ _{K-200} - 0,5	ГГ _{K-200} - 0,48
ГГ _{K-300} - 1,02	ГГ _{K-300} - 1,94	ГГ _{K-300} - 1,43	ГГ _{K-300} - 1,04	ГГ _{K-300} - 0,92

При сравнении показателей влажности в верхнем слое почвы в вариантах опыта с гидрогелем на натриевой основе (Ритин -10) за годы исследования, можно сказать, что в 2014 г. удерживал влагу гидрогель с большими дозами внесения (табл. 4.5.1.6). В вариантах опыта с гидрогелем на калиевой основе (В-415 К) иссушение верхнего слоя почвы происходило интенсивнее в 2013 г. с дозой внесения 300 кг/га, а в 2014 г. гель удерживал влагу (табл. 4.5.1.6), так как в 2013 году было теплее и засушливее, а в 2014 году – более влажный вегетационный период (Данилова, Оленченко, 2016). Наибольшая влагоудерживающая способность гидрогеля на основе натрия была отмечена в 2014 г. при больших дозах внесения. Это третий год после внесения гидрогеля. Кроме того, существует тенденция к уменьшению удержания воды гидрогелем на основе натрия на 4-5 год

последствия. В вариантах эксперимента с гидрогелем на основе калия наибольшая влажность была отмечена в первые три года добавления гидрогеля во всех дозах. Через 4-5 лет после внесения гидрогель на основе калия имеет тенденцию к снижению водоудерживающей способности, как и гидрогель на основе натрия.

4.5.2 Динамика изменения плотности дерново-подзолистой супесчаной почвы в полевом севообороте

Агрофизические и водно-физические свойства почвы являются одним из основных условий ее агроэкологического состояния, определяют развитие корневой системы и урожайность сельскохозяйственных культур.

Изучение закономерностей между плотностью почвы и развитием растений является одной из важных задач теоретического обоснования рациональных способов обработки почвы. Чтобы обеспечить приток влаги к семенам, почва ниже горизонта залегания семян должна быть достаточно уплотнена, тогда влага, накопленная в нижележащих ее слоях, будет беспрепятственно подниматься по капиллярам (Mengold, Sheley, 2007; Табынбаева и др., 2017).

Отбор образцов почвы для определения плотности производился с помощью цилиндра объемом 100 см^3 в слое почвы 0-10, 10-20 см. Плотность почвы измеряли в осенний период перед уборкой урожая. Определение плотности почвы проводилось в звене полевого севооборота. Способность полимерных гелей влиять на плотность почвы доказана в работах ученых (Казанский и др., 1988; Azzam, 1985). В работе (Кузнецов, 2003) показано, что при введении в песок высоких доз полимерного геля (около 0,25 % для полиакриламидного геля) его плотность снижается с 1,6 до 1,15–1,06 г/см^3 . В опытах Абросимовой Л.Н. (1960) установлено, что в течение вегетационного периода в суглинистой дерново-подзолистой почве плотность оструктуренной почвы в конце вегетации не превышает 1,17-1,26 против 1,24-1,44. г/см^3 под контролем. Кроме того, повышение водостойкости агрегатов после введения полимеров создает

благоприятные условия для поглощения и фильтрации воды. В наших исследованиях, проведенных на Агрофизическом стационаре, в полевом севообороте за 2012-2014 гг. установлено, что плотность почвы пахотного слоя различается в зависимости от изучаемых вариантов. В таблице 4.5.2 представлена динамика изменения плотности почвы за период 2012-2014 гг.

Таблица 4.5.2 - Динамика изменения плотности дерново-подзолистой супесчаной почвы в звене севооборота, г/см³ (среднее за 2012 - 2014 гг.)

Варианты опыта	2012г		2013г		2014г	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
Контроль	1,24±0,1	1,28±0,09	1,22±0,1	1,28±0,1	1,24±0,09	1,29±0,1
ГГ _{Na} - 100	1,18±0,09	1,24±0,1	1,17±0,09	1,26±0,1	1,17±0,09	1,24±0,09
ГГ _K - 100	1,16±0,1	1,23±0,1	1,18±0,09	1,24±0,1	1,17±0,11	1,25±0,1
ГГ _{Na} - 200	1,14±0,09	1,26±0,1	1,16±0,1	1,23±0,09	1,15±0,1	1,23±0,1
ГГ _K - 200	1,13±0,1	1,23±0,09	1,17±0,1	1,26±0,1	1,14±0,09	1,22±0,1
ГГ _{Na} - 300	1,12±0,1	1,25±0,1	1,14±0,1	1,24±0,1	1,12±0,1	1,24±0,1
ГГ _K - 300	1,12±0,1	1,26±0,09	1,13±0,09	1,22±0,1	1,13±0,1	1,22±0,09

Выявлено, что плотность почвы слоя 0-10 см находится в пределах 1,16 - 1,18 г/см³ в вариантах с дозой гидрогеля 100 кг/га, в вариантах с дозой 200 кг/га - от 1,13 до 1,17 г/см³, а в вариантах с дозой 300 кг/га - плотность почвы 1,12 г/см³. Плотность почвы в слое 0-20 см на контроле находилась в пределах 1,26 - 1,29 г/см³. В вариантах с гидрогелем плотность немного уменьшилась. Так в варианте с дозой 100 кг/га плотность почвы находилась в пределах 1,23-1,26 г/см³, в вариантах гидрогелей с дозой 200 кг/га - в пределах 1,22-1,26 г/см³, а в вариантах с дозой 300 кг/га - плотность почвы 1,22 - 1,25 г/см³.

В верхнем, корнеобитаемом (0-10 см) слое, почва достаточно рыхлая и обеспечивает активное развитие корневой системы растений. Наименьшие показатели плотности (1,12 г/см³) наблюдались в вариантах обоих типов

гидрогелей при внесении большой (300 кг/га) дозы, в этих вариантах наблюдалось ее снижение на 0,09 г/см³ по сравнению с контролем. В вариантах с дозой гидрогеля 200 кг/га - 0,07-0,08 г/см³, а в вариантах с дозой 100 кг/га - 0,03-0,05 г/см³. Эти показатели говорят о том, что использование полимерных гелей действительно снижает плотность дерново-подзолистой почвы.

4.6 Влияние водопоглощающих полимеров разной химической структурной основы на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы

Агрохимические свойства почвы – совокупность химических свойств почвы, которые характеризуют плодородие почвы, её пригодность для возделывания сельскохозяйственных культур. Также агрохимические свойства почвы, определяют режим и условия питания растений, процессы превращения вносимых в почву удобрений. В таблице 4.6.1 представлено содержание основных питательных элементов в почве в эксперименте с капустой до закладки опыта и после вегетации культуры. Все показатели элементов питания в почве определены в химической лаборатории ФГБНУ АФИ по соответствующим ГОСТам: рН – ГОСТ 26483-85; влага – ГОСТ 28268-89; органическое вещество – ГОСТ 26213-91; N-NH₄ – ГОСТ 26489-85; N-NO₃ – ГОСТ 26951-86; P₂O₅ – ГОСТ 26207-91; K₂O – ГОСТ 26207-91; подвижный фосфор – ГОСТ Р 54650-2011; подвижный калий – ГОСТ Р 54650-2011; общий азот – ГОСТ 26107-84.

Из данных таблицы 4.6.1 видно, что перед закладкой опыта во всех вариантах отмечено повышенное содержание K₂O, особенно в варианте с обработкой корней капусты гелем. После уборки культуры отмечается заметное снижение аммиачного, нитратного азота и подвижного фосфора в вариантах с гидрогелем, по сравнению с контрольным вариантом. Значение рН почвы снизилось незначительно.

Таблица 4.6.1- Содержание основных элементов питания в почве
(Арофизический стационар, капуста, 2010 г)

Варианты опыта	pH _{KCl} , ед. pH	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
<i>перед закладкой опыта</i>					
контроль	6,1±0,4	15,5±1,3	56,6±3	240±5,3	562±2
гель в почве	5,9±0,3	18,8±1,7	63,1±3,3	255±7	563±7
обработка корней гелем	5,9±0,3	12,4±1,9	59,1±1,5	265±5,2	1179±6,1
<i>после уборки культуры</i>					
контроль	5,7±0,4	17,9±1,5	6,8±0,4	205±3,6	667±7,6
гель в почве	5,5±0,4	16,7±1,4	5,4±0,6	187±4	865±5,3
обработка корней гелем	5,6±0,3	11,9±1,7	4,5±1,5	162±6,2	1184±4,6

В таблице 4.6.2 представлено содержание основных элементов питания в почве в эксперименте с морковью.

Таблица 4.6.2 - Содержание основных элементов питания в почве
(Арофизический стационар, морковь, 2010 г)

Варианты опыта	pH _{KCl} , ед. pH	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
<i>перед закладкой опыта</i>					
контроль	5,7±0,4	14,1±1,3	61,9±3,5	235±5,7	451±6,5
гель в почве	5,6±0,3	19,1±2,3	19,1±3	240±5,6	465±5,2
инкрустация семян	5,8±0,4	20,13±1,1	59,1±2	225±3,6	483±4
<i>после уборки культуры</i>					
контроль	5,9±0,3	16,1±1,7	21,9±2,1	230±4,6	532± 4,5
гель в почве	5,7±0,3	21,7±2	18,1±2	249±5,6	635±3,1
инкрустация семян	5,6±0,3	22,8±3	24,7±3,4	277±3,6	737±2,2

В эксперименте с морковью перед закладкой опыта в вариантах с гидрогелем отмечено повышенное содержание аммиачного азота. После уборки моркови содержание аммиачного азота также осталось повышенным в вариантах с гидрогелем. Повысилось содержание калия в конце вегетации во всех вариантах опыта с гидрогелем.

В таблице 4.6.3 показано содержание питательных элементов в почве в эксперименте с картофелем.

Таблица 4.6.3 - Содержание основных элементов питания в почве (картофель, 2011 г)

Варианты	РН, ед.рН	N-NH ₄ , МГ/КГ	N-NO ₃ , МГ/КГ	P ₂ O ₅ , МГ/КГ	K ₂ O, МГ/КГ	Влага, %
<i>перед закладкой опыта</i>						
контроль	5,5±0,3	6,42±0,2	5,57±0,3	402±2	253±2	14,1±0,5
Доза геля 70 кг/га	5,6±0,4	6,11±0,1	5,36±0,3	382±2,4	213±1,6	14,3±0,6
Доза геля 100 кг/га	5,9±0,3	6,27±0,2	6,03±0,3	381±3,4	228±2	14,7±0,6
<i>после уборки культуры</i>						
контроль	4,7±0,4	8,47±0,1	5,2±0,4	409±1,4	120±2,2	13,6±0,4
Доза геля 70 кг/га	5,2±0,4	7,88±0,2	6,0±0,4	223±2,2	110±2	13,8±0,5
Доза геля 100 кг/га	6,1±0,3	10,7±0,3	6,5±0,4	244±2,3	115±2,1	13,9±0,4

Из данных таблицы 4.6.3 видно, что в вариантах с гидрогелем значения рН выше, чем в контрольном варианте, а содержание фосфора и калия ниже. Можно предположить, что, поскольку гидрогель на калиевой основе, ассимиляция этих элементов в вариантах с гидрогелем происходила быстрее, что способствовало лучшему развитию корневой системы (Данилова, Оленченко, 2016) в период клубнеобразования. В таблице 4.6.4 показано содержание основных элементов питания в почве в опыте с азотными удобрениями.

Таблица 4.6.4 - Содержание основных элементов питания в почве
(пшеница, 2011 г)

Варианты опыта	pH, ед. рН	N-NH ₄ , мг/кг	N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	влага, %
<i>перед закладкой опыта</i>						
N ₀ + гель	5,1±0,3	8,84±0,4	9,04±1,1	703±3,9	253±6,4	16,3±1,2
N ₀ + б/геля	5,4±0,3	8,14±0,4	7,72±1	730±4	189±6	14,3±1,3
N ₆₀ + гель	5,5±0,4	9,36±0,5	10,5±1,1	718±3,8	178±6,3	18,7±1,3
N ₆₀ + б/геля	5,4±0,3	7,39±0,6	7,13±1,1	695±3,9	113±2,9	15,8±1,1
N ₉₀ + гель	5,6±0,4	8,15±0,7	8,18±1,1	474±7	125±3	16,6±1,2
N ₉₀ + б/геля	5,5±0,4	7,33±0,6	8,36±0,8	602±7,4	130±2,9	11,4±1,2
N ₁₂₀ + гель	5,6±0,3	9,47±1	7,96±0,8	544±7,1	158±4,1	17,9±1,3
N ₁₂₀ + б/геля	5,5±0,4	7,71±0,9	8,89±0,9	517±7	123±4	14,1±1,3
N ₁₅₀ + гель	5,6±0,4	9,83±1	9,48±0,8	605±7,3	150±4,2	18,0±1,2
N ₁₅₀ + б/геля	5,5±0,4	8,84±0,9	8,00±0,9	495±6,9	125±4,1	14,4±1,2
<i>после уборки культуры</i>						
N ₀ + гель	5,3±0,3	8,76±1,1	4,80±1,2	797±8	224±7,7	16,8±0,7
N ₀ + б/геля	5,4±0,3	7,20±1,2	4,30±1,2	659±7,9	167±7,4	17,7±0,8
N ₆₀ + гель	5,6±0,4	9,48±1,1	6,00±1,3	745±8,1	313±7,7	18,2±0,6
N ₆₀ + б/геля	5,7±0,4	10,4±0,8	7,80±1,3	677±7,9	184±7,3	17,1±0,8
N ₉₀ + гель	5,6±0,3	7,32±0,7	3,70±1,1	729±8,2	178±6,9	17,5±0,7
N ₉₀ + б/геля	5,5±0,3	8,16±0,7	6,20±1,1	892±7,6	310±8,2	17,9±0,7
N ₁₂₀ + гель	5,5±0,4	8,52±0,8	6,20±1,1	972±8	173±7	18,1±0,7
N ₁₂₀ + б/геля	5,5±0,3	11,2±1,2	6,80±1,2	859±7,4	248±7,4	18,1±0,7
N ₁₅₀ + гель	5,8±0,4	8,88±1,1	5,00±1	1208±10	246±7,2	18,8±0,8
N ₁₅₀ + б/геля	5,7±0,4	8,76±1,1	3,50±1	996±8,2	227±7,1	19,2±0,8

Данные таблицы показывают, что в пробах почвы, взятых перед закладкой опыта, значение рН по вариантам колеблется от 5,1 до 5,6. Нитратный и аммиачный азот находится в пределах 7,13-9,83 мг/кг, немного снижено содержание калия. Фосфор находится в пределах 495-730 мг/кг почвы. Влажность почвы в вариантах с гидрогелем превышала влажность в других вариантах. Это способствовало лучшему усвоению питательных веществ, в первую очередь азота. Анализируя данные таблицы 4.6.4 после уборки урожая, можно сказать, что совместное использование азотных удобрений и гидрогеля привело к увеличению содержания обменного калия и фосфора в вариантах опыта. Отмечено снижение аммонийного и нитратного азота, особенно в следующих вариантах: N₆₀ + гель;

N₉₀ + гель; N₁₂₀ + гель; N₁₅₀ + гель. Вероятно, что азот из азотных удобрений использовался для роста и развития яровой пшеницы, особенно в сочетании с гидрогелем. Значение рН немного увеличилось.

В таблице 4.6.5 приведены данные химического анализа дерново-подзолистой средне окультуренной супесчаной почвы перед закладкой опыта в Агрофизическом стационаре (полевой севооборот). Из данных таблицы 4.6.5 видно, что при среднем уровне окультуренности в почве очень низкое содержание калия. В таблице 4.6.6 показано содержание основных питательных элементов после культур севооборота.

Таблица 4.6.5 - Содержание основных элементов питания в почве
(Агрофизический стационар, полевой севооборот)

№№ пп	Уровень окультуренности почвы	рН (сол.)	Аммиачный азот, мг/кг	мг на кг почвы	
				P ₂ O ₅	K ₂ O
перед закладкой опыта (2012 г)					
1	Средний	5,2-5,3	12,2-12,6	231-246	97-118

Таблица 4.6.6 - Содержание основных элементов питания в почве (Агрофизический стационар, полевой севооборот)

Анализируемый показатель	Ед. измер.	Варианты опыта						
		контроль	ГГ _{Na-100}	ГГ _{K-100}	ГГ _{Na-200}	ГГ _{K-200}	ГГ _{Na-300}	ГГ _{K-300}
<i>после культуры ячменя (2012 г)</i>								
рН _{сол}	ед. рН	5,7±0,4	5,6±0,4	5,6±0,3	5,5±0,4	5,3±0,3	5,8±0,4	5,8±0,4
Орган. вещ-во	%	3,63±0,4	3,9±0,45	3,82±0,45	3,98±0,5	3,83±0,4	3,7±0,5	3,4±0,4
N-NH ₄	мг/кг	7,4±0,6	12,6±1,3	10,8±1,2	11,7±1,3	12,3±1,2	14,1±1,2	15,3±1,3
P ₂ O ₅	мг/кг	258,8±3,7	262,2±3,5	287,5±4	281,6±3,4	287±3	303±1,8	300±2
K ₂ O	мг/кг	170,1±2	139,6±1,5	127±2	105±1,6	146,7±2,7	150,4±3	161,5±2,8
<i>после многолетних трав I г.п. (2013 г)</i>								
рН _{сол}	ед. рН	5,9±0,3	5,9±0,3	6,0±0,4	6,0±0,3	5,3±0,3	5,8±0,4	5,7±0,3
Орган. вещ-во	%	3,63±0,4	3,89±0,45	3,82±0,45	3,98±0,5	3,83±0,4	3,66±0,5	3,37±0,4
Азот общий	%	0,098±0,09	0,095±0,09	0,097±0,09	0,109±0,1	0,107±0,1	0,091±0,09	0,085±0,09
P ₂ O ₅	мг/кг	289±3,5	287±3,6	302±3,5	300±3,4	287±3	323±3,5	300±3,2
K ₂ O	мг/кг	165±2	134±2	122±2	94±1,8	149±2	141±2,5	177±3
<i>после многолетних трав II г.п. (2014 г)</i>								
рН _{сол}	ед. рН	5,4±0,4	5,4±0,3	5,6±0,3	5,8±0,4	5,5±0,3	5,6±0,3	5,4±0,4
Орган. вещ-во	%	4,28±0,5	3,79±0,4	3,71±0,4	3,76±0,5	3,34±0,42	3,57±0,4	3,46±0,5
N-NH ₄	мг/кг	6,19±0,4	6,42±0,4	4,88±0,4	6,65±0,4	11,5±1,2	9,26±1,2	8,63±1,2
N-NO ₃	мг/кг	4,50±0,7	3,80±0,7	3,50±0,7	3,30±0,6	3,80±0,6	3,00±0,7	2,8±0,4
P ₂ O ₅	мг/кг	224±3,2	245±3,1	240±3	255±3,2	242±3	245±3,2	255±3,3
K ₂ O	мг/кг	161±2,6	143±2,7	188±4,6	237±4,2	161±3,9	121±4	125±4

Окончание таблицы 4.5.6

<i>после озимой ржи (2015 г)</i>								
рНсол	ед. рН	5,4±0,3	5,5±0,4	5,6±0,4	5,7±0,3	5,5±0,4	5,4±0,4	5,4±0,3
Орган. вещ-во	%	3,78±0,4	3,72±0,4	3,73±0,45	3,68±0,5	3,41±0,5	3,47±0,43	3,38±0,4
Азот общий	%	0,082±0,09	0,085±0,09	0,079±0,09	0,087±0,1	0,09±0,1	0,081±0,09	0,082±0,09
P ₂ O ₅	мг/кг	214±2,5	225±2,6	230±2,6	227±2,5	235±2,6	226±2,6	231±2,5
K ₂ O	мг/кг	141±1,6	123±1,4	122±1,4	127±1,5	121±1,4	123±1,5	122±1,4
<i>после ячменя (2016 г)</i>								
рНсол	ед. рН	5,4±0,4	5,6±0,3	5,7±0,3	5,4±0,4	5,5±0,4	5,4±0,3	5,4±0,3
Орган. вещ-во	%	3,73±0,5	3,7±0,4	3,71±0,5	3,65±0,5	3,46±0,5	3,49±0,4	3,41±0,4
Азот общий	%	0,078±0,09	0,082±0,09	0,08±0,09	0,085±0,09	0,089±0,1	0,083±0,09	0,081±0,1
P ₂ O ₅	мг/кг	206±1,5	215±1,8	221±1,6	216±1,81	223±1,8	218±1,6	222±1,8
K ₂ O	мг/кг	121±1,5	114±1,5	112±1,6	117±1,6	110±1,5	113±1,5	111±1,6

Анализируя данные таблицы 4.6.6, можно сказать, что в первый год после внесения гидрогелей наблюдается тенденция к увеличению значений рН почвы по сравнению с значениями до постановки опыта (Данилова, Оленченко, 2016).

Содержание аммиачного азота в вариантах с гидрогелем на калиевой и натриевой основе было повышенное по сравнению с контролем и особенно в вариантах с высокими (300 кг/га) дозами внесения. При внесении гидрогелей в дозе 100 кг/га содержание аммиачного азота увеличилось на 3,4-5,2 мг/кг, при дозе внесения 200 кг/га – на 4,3 - 4,9 мг/га и до 6,7-7,9 мг/кг – при 300 кг/га. Также содержание подвижного фосфора увеличивалось от 3,4 до 28,7 мг/кг при внесении гидрогелей в дозе 100 кг/га, на 22,8 – 28,2 мг/кг – при 200 кг/га и особенно в вариантах с высокими дозами гидрогеля (300 кг/га) – на 41,2-44,2 мг/кг. Подвижный калий снизился в сравнении с контролем на 23,4 – 65,1 мг/кг при внесении гидрогелей в дозах 100 и 200 кг/га, только в вариантах гидрогелей с дозой внесения 300 кг/га наблюдается снижение подвижного калия на 8,6 – 19,7 мг /га в сравнении с контрольным вариантом.

На второй год последствий (2013 г.) после многолетних трав 1-го года пользования, содержание аммиачного азота во всех вариантах с гидрогелями практически не отличается от контроля. Подвижный фосфор после трав также снизился, но по сравнению с контрольным вариантом его содержание в вариантах с гидрогелем выше и практически на том же уровне. Отмечено повышение в вариантах гидрогеля с дозой внесения 300 кг/га. Разница составила от 11 до 34 мг/га. Подвижный калий значительно снизился в вариантах с дозами гидрогеля 100 и 200 кг/га по сравнению с контролем, только гидрогель на калиевой основе повысил содержание калия на 12 мг/кг.

В 2014 году на третий год последствий после многолетних трав второго года пользования наблюдается повышение аммиачного азота в вариантах с гидрогелями и снижение нитратного азота в зависимости от дозы внесения. Так аммиачный азот повысился при дозе внесения 100 кг/га на 0,23 мг/кг, доза геля 200 кг/га обеспечила повышение азота от 0,46 до 5,31 мг/кг и при внесении 300

кг/га разница с контролем составила 2,44 – 3,07 мг/кг. Нитратный азот снижался с повышением дозы полимера. При внесении гелей в дозах 100 и 200 кг/га разница с контролем составила от 0,7 до 1,2 мг/кг, внесение геля в дозе 300 кг/га понизило содержание нитратного азота на 1,5-1,7 мг/кг. Возможно это связано с выносом этого элемента растениями.

Содержание подвижного фосфора повышалось в зависимости от дозы внесения полимера. Разница составила от 16 до 31 мг/кг по сравнению с контролем. Содержание подвижного калия значительно понизилось в вариантах с высокими дозами внесения гелей. По сравнению с контрольным вариантом в этих вариантах калий снизился на 36-40 мг/кг.

На четвертый год последствий гидрогелей после озимой ржи содержание основных элементов питания заметно снизилось по сравнению с первым годом внесения. Содержание общего азота составляло от 0,079 до 0,090%. Подвижный фосфор повышался в зависимости от дозы внесения от 11 до 16 мг/кг при дозе внесения 100 кг/га, от 13 до 21 мг/кг – при 200 кг/га и на 12-17 мг/кг при внесении гелей в дозе 300 кг/га. Содержание подвижного калия в вариантах с гидрогелем понизилось. Калий находился в пределах 121-127 мг/кг, разница с контролем 14-20 мг/кг.

В 2016 году (пятый год последствий) после ячменя отмечено влияние гидрогеля на содержание подвижного фосфора и подвижного калия. С увеличением дозы полимера разница в обеспеченности подвижным фосфором повышалась от 9-15 мг/кг (контроль; 100 кг/га геля) до 10-17 мг/кг (200 кг/га гидрогеля) и 12-16 мг/кг (300 кг/га гидрогеля). Влияние гидрогеля на подвижный калий проявилось в снижении содержания этого элемента в вариантах с гидрогелем по сравнению с контролем. Снижение калия в вариантах с гидрогелем отмечено в пределах 4-11 мг/кг. Содержание общего азота незначительно отличалось от контроля. Влияние гидрогелей на содержание органического вещества было несущественным в период всей ротации севооборота.

Таким образом, наличие гидрогеля в почве оказывает существенное влияние

на трансформацию питательных элементов. За 5 лет севооборота наблюдалось повышение содержания подвижного фосфора в вариантах с гидрогелем в зависимости от дозы внесения гидрогеля по сравнению с контролем. А вот содержание подвижного калия с увеличением дозы гидрогеля наоборот снижалось

4.7 Влияние гидрогелей на гидрофизические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы в полевых условиях и в условиях модельной почвенной засухи («засушник»)

Изучение действия полимерных гелей на гидрофизические свойства почвы проводили при моделировании почвенной засухи («засушник») и в полевых условиях в период 2015-2017 гг. В начале вегетации растения ячменя и пшеницы в «засушнике» поливали по показаниям почвенного влагомера (влажность поддерживалась около 70% НВ). После фазы кушения полив прекратили и изучали влияние почвенной засухи (55-60 % НВ) (Данилова, 2018). В таблице 4.7.1 показана объемная влажность почвы в «засушнике», измеренная почвенным влагомером на культуре ячменя в 2015 году.

Таблица 4.7.1 - Объемная влажность почвы («засушник») – ячмень, сорт «Ленинградский» - 2015г (по Даниловой, 2018).

Варианты опыта	Влажность, %														
	Глубина см	29.05	норма полива мм	02.06	норма полива мм	05.06	норма полива мм	08.06	норма полива мм	10.06	норма полива мм	23.06	16.06	29.07	18.08
Контроль	0-10	10,7	1,0	10,5	0,5	10,4	1,5	9,24	0,78	9,3	0,7	6,4	4,2	4,1	4,1
	10-20	11,4		10,6		11,1		10,8		11,3		6,1	4,1	4,1	4,2
Ритин- 10 (10-12 см)	0-10	14,2	0,6	12,7	0,6	11,1	1,5	11,6	0,71	11,3	0,7	6,4	4,2	4,1	4,0
	10-20	11,7		10,5		11,8		10,2		11,3		5,8	3,8	4,2	4,0
В-415 К (10-12 см)	0-10	13,6	0,7	12,4	0,6	11,6	1,5	13,0	0,64	10,7	0,7	5,2	4,5	5,4	4,0
	10-20	10,5		11,1		11,2		10,8		11,2		6,1	4,1	4,2	3,9
Ритин-10 (20-22 см)	0-10	11,2	0,4	9,7	0,6	10,4	0,5	8,6	0,47	9,7	0,6	7,0	4,4	3,8	5,8
	10-20	23,8		12,7		24,8		22,4		20,3		8,6	4,7	4,2	7,4
В-415 К (20-22 см)	0-10	10,7	0,4	9,2	0,4	10,6	0,5	9,32	0,47	9,6	0,7	6,6	4,2	4,3	3,7
	10-20	24,4		24,0		24,6		21,4		13,1		8,8	4,3	4,3	4,9

Примечание: Ритин -10 (10-12 см) и Ритин -10 (20-22 см) – гидрогель на натриевой основе, внесенный на глубину слоя почвы 10-12см и 20-22 см; В-415 К (10-12 см) и В-415 К (20-22 см) – гидрогель на калиевой основе, внесенный на глубину 10-12 см и 20-22 см

Из данных таблицы 4.7.1, видно, что влажность почвы в вариантах с гидрогелями Ритин-10 и В-415 К, размещенными в слое 10-12 см, не отличается от контроля, однако при внесении на глубину пахотного слоя (20-22 см) влажность находилась на уровне НВ. При прекращении полива, значения влажности дерново-подзолистой супесчаной почвы во всех вариантах с гидрогелями сравнивались с контролем. В полевых условиях в течение периода вегетации влажность почвы поддерживалась полимером и в корнеобитаемом слое (10-12 см), и на глубине 20-22 см только благодаря выпадению осадков (Данилова, 2018). В таблице 4.7.2 показана влажность почвы под культурой ячменя в полевых условиях, измеренная с помощью почвенного влагомера МГ -4.

Таблица 4.7.2 - Объемная влажность почвы (полевые условия) - ячмень, сорт «Ленинградский» -2015 г (по Даниловой, 2018).

Варианты опыта	Влажность, %											
	Глубин а, см	02.06	05.06	08.06	10.06	16.06	23.06*	30.06	07.07	16.07	29.07	18.08
Контроль	0-10	12,1	9,7	9,2	8,8	5,9	19,0	6,3	4,2	6,7	9,4	5,3
	10-20	13,1	11,6	12,4	11,1	7,0	6,6	5,8	4,0	5,1	11,2	5,4
Ритин-10 (10-12см)	0-10	22,7	23,4	13,9	11,6	6,2	10,5	23,4	4,6	4,8	15,9	6,1
	10-20	14,5	12,9	14,6	15,9	8,8	6,9	6,2	4,34	4,7	5,1	3,8
В-415 К (10-12см)	0-10	24,8	24,4	13,7	10,5	5,7	7,2	20,2	4,3	6,0	22,5	7,4
	10-20	11,8	13,1	13,3	13,4	11,5	8,2	5,3	4,8	6,0	5,8	3,9
Ритин-10 (20-22см)	0-10	10,8	10,0	8,9	11,9	6,0	23,0	5,9	4,1	6,8	7,9	4,5
	10-20	23,2	24,8	23,3	14,0	11,3	8,5	20,1	5,2	13,1	6,8	12,8
В-415 К (20-22см)	0-10	8,9	9,8	9,4	11,6	6,5	19,8	5,4	4,8	6,2	9,1	4,6
	10-20	24,8	24,7	24,3	19,6	10,3	6,9	21,6	5,5	6,5	8,7	8,1

Примечание: Ритин-10 (10-12 см) и В-415 К (10-12 см) – гидрогель, внесенный в слой 10-12см; Ритин-10 (20-22 см) и В-415 К (20-22 см) – гель, внесенный в слой 20-22 см.

*- после дождя

Исследования, проведенные в 2016 году на пшенице, показали, что "гидрогель не проявил себя как водоудерживающая почвенная добавка в условиях модельной почвенной засухи. Положительное действие гидрогеля отмечено только при раннем появлении всходов пшеницы в опытных вариантах в «засушнике» с внесением гидрогеля слоем 10-12 см. В дальнейшем, гидрогель

сохранял влагу только за счет поливов, после прекращения полива, влажность почвы в гидрогелевых вариантах практически не отличалась от контроля" (Данилова, 2018, с.5). В таблицах 4.7.3 и 4.7.4 показана объемная влажность почвы в «засушник» и в полевых условиях, измеренная с помощью почвенного влагомера.

Таблица 4.7.3 - Объемная влажность почвы («засушник») – пшеница, сорт «Дарья»2016 (по Даниловой, 2018).

Варианты опыта	Глубина, см	Влажность, %										
		31.05	норма полива мм	07.06	норма полива мм	16.06	норма полива мм	22.06	29.07	14.07	25.07	05.08
Контроль	0-10	6,92	1,17	4,8	1	4,6	1,4	6,74	5,2	4,8	4,8	4,7
	10-20	10,1		7,3		6,0		7,4	5,7	4,84	4,9	4,9
Ритин-10 (10-12см)	0-10	7,12	1,05	5,8	1,4	4,3	1,4	6,62	4,94	6,0	5,8	5,72
	10-20	8,9		6,0		4,9		6,38	5,2	5,5	5,3	4,8
В-415 К (10-12см)	0-10	7,0	0,92	4,82	1,3	4,2	1,4	6,32	5,82	5,24	4,2	4,5
	10-20	8,9		5,92		4,74		6,9	5,0	4,64	4,3	4,6
Ритин-10 (20-22см)	0-10	6,76	0,4	4,0	0,5	4,0	0,42	5,5	5,32	4,6	4,0	4,2
	10-20	13,8		7,0		6,2		12,3	10,5	5,52	4,74	4,4
В-415 К (20-22см)	0-10	5,12	0,4	3,6	0,5	3,86	0,39	6,44	5,06	4,4	4,44	4,6
	10-20	11,6		7,6		6,12		11,1	9,54	5,54	5,1	5,0

Примечание: Ритин-10 (10-12 см) и Ритин -10 (20-22 см) –полимер с натриевой основой, внесенный на глубину слоя почвы 10-12см и 20-22 см.; В-415 К (10-12 см) и В-415 К (20-22 см) – гидрогель с калиевой основой, внесенный на глубину 10-12см и 20-22 см.

В полевых условиях влияние полимерного геля варьируется в зависимости от варианта испытания. 2016 год характеризовался очень высокой влажностью. Влага задерживалась в корнеобитаемой зоне (10-12 см) и даже отмечено избыточное количество.

Таблицы 4.7.5 и 4.7.6 показывают объемную влажность почвы, измеренную с помощью влагомера («засушник», полевые условия -2017 г).

Таблица 4.7.4 - Объемная влажность почвы (полевые условия) – пшеница, сорт «Дарья»- 2016 г (по Даниловой, 2018)

Варианты опыта	Глубина см	Влажность, %							
		31.05	07.06	16.06*	22.06*	29.06*	14.07*	25.07*	05.08
Контроль	0-10	9,6	4,72	11,24	16,4	13,0	11,04	20,4	17,0
	10-20	16,3	5,3	12,2	20,4	19,5	18,3	25,0	24,9
Ритин-10 (10-12 см)	0-10	21,7	8,7	13,8	24,6	24,8	24,6	23,1	23,44
	10-20	18,4	4,9	11,3	20,9	24,4	25,0	24,9	16,3
В-415 К (10-12см)	0-10	18,42	8,84	12,6	24,2	22,9	23,7	24,7	24,9
	10-20	13,0	4,6	11,3	18,22	21,3	21,0	25,08	24,9
Ритин-10 (20-22 см)	0-10	7,7	3,8	10,7	13,8	12,44	11,08	24,7	20,4
	10-20	15,12	8,9	11,0	24,5	24,8	24,8	25,2	24,8
В-415 К (20-22см)	0-10	6,5	3,6	9,8	10,6	13,12	13,2	24,74	17,5
	10-20	21,02	8,9	10,3	24,8	24,6	24,9	25,08	24,9

Примечание: Ритин-10 (10-12 см) и Ритин-10 (20-22 см) – гидрогель (натриевая основа), внесенный на глубину слоя почвы 10-12см и 20-22 см.; В-415 К (10-12 см) и В-415 К (20-22 см) – гель (калиевая основа), внесенный на глубину 10-12см и 20-22 см.

*- после дождя

Таблица 4.7.5 - Объемная влажность почвы («засушник») – ячмень, сорт «Атаман» -2017 г.

Варианты опыта	Глубина, см	Влажность,%										
		30 мая	норма полива мм вод.сл.	07 июня	норма полива мм вод.сл	15 июня	22 июня	29 июня	04 июля	18 июля	09 августа	16 августа
Контроль	0-10	8,9	1,5	6,8	1	6,5	7,4	4,2	3,6	3,8	3,7	3,4
	10-20	12,3		11,9		11,2	10,0	6,5	4,7	4,3	4,2	4,2
Ритин-10 (10-12 см)	0-10	12,1	1,0	8,4	0,7	8,7	8,2	5,8	4,8	4,4	4,2	4,1
	10-20	11,6		11,8		11,7	9,7	6,6	4,8	5,7	4,5	4,0
В-415 К (10-12 см)	0-10	13,9	0,9	9,3	0,8	11,6	7,4	9,9	7,9	4,3	4,0	3,8
	10-20	11,3		10,8		13,8	14,4	12,1	7,3	6,4	4,4	4,1
Ритин-10 (20-22 см)	0-10	8,6	0,5	6,8	0,5	8,3	9,9	7,0	7,0	4,7	4,5	4,2
	10-20	17,5		25,1		12,8	14,0	14,2	7,9	5,1	5,8	4,7
В-415 К (20-22 см)	0-10	8,2	0,5	7,8	0,5	4,3	6,5	8,8	5,6	4,7	4,4	4,0
	10-20	21,0		25,2		16,4	17,9	12,3	11,4	9,2	6,5	6,3

Примечание: Ритин-10 (10-12 см) и Ритин-10 (20-22 см) – полимерный гель на натриевой основе, внесенный на глубину слоя почвы 10-12см и 20-22 см.; В-415 К (10-12 см) и В-415 К (20-22 см) – гидрогель на калиевой основе, внесенный на глубину 10-12см и 20-22 см.

Анализируя данные табл. 4.7.5, можно отметить, что влажность почвы в условиях модельной почвенной засухе («засушник») при внесении полимерного геля в корнеобитаемую зону (10-12 см) не отличалась от контроля. При размещении гидрогеля в пахотном слое (20–22 см) влажность сохранялась на уровне НВ = 25 % поливом, затем наблюдается постепенное снижение влажности почвы и после фазы цветения влагосодержание в вариантах с гидрогелем становится одинаковым как на контроле.

Таблица 4.7.6 - Объемная влажность почвы (полевые условия) – ячмень, сорт «Атаман»- 2017 г.

Варианты опыта	Глубина, см	Влажность, %								
		30 мая	07 июня*	15 июня*	22 июня*	29 июня*	04 июля*	18 июля	09 августа	16 августа
Контроль	0-10	11,4	19,7	19,2	18,4	17,0	19,04	9,9	6,5	6,6
	10-20	14,3	24,9	22,2	20,4	21,5	23,3	13,1	12,4	12,8
Ритин-10 (10-12 см)	0-10	21,7	22,6	23,8	24,6	23,4	24,8	12,0	10,1	6,9
	10-20	13,4	18,7	17,3	18,9	19,3	18,4	14,3	12,3	13,6
В-415 К (10-12 см)	0-10	20,42	22,8	22,6	24,2	22,7	23,6	13,0	9,6	7,6
	10-20	13,0	17,7	11,3	16,2	14,3	15,0	12,9	11,1	11,4
Ритин-10 (20-22 см)	0-10	11,7	22,0	20,7	19,8	20,4	17,08	12,5	7,2	5,6
	10-20	24,8	19,1	24,0	24,5	24,8	24,8	12,8	14,2	13,3
В-415 К (20-22 см)	0-10	12,5	22,1	19,8	20,6	20,12	18,2	10,5	6,7	7,0
	10-20	24,7	18,8	24,3	24,8	24,6	24,9	18,3	12,7	13,5

Примечание: Ритин -10 (10-12 см) и Ритин-10 (20-22 см) – полимер на натриевой основе, внесенный на глубину слоя почвы 10-12 см и 20-22 см.; В-415 К (10-12 см) и В-415 К (20-22 см) – гидрогель на калиевой основе, внесенный на глубину 10-12 см и 20-22 см.

Данные таблицы 4.7.6 показывают, что влажность почвы в полевых условиях в период с 30 мая по 4 июля во всех вариантах с гидрогелем (в слое 10-12 и в слое 20-22 см) находилась в пределах НВ. Это связано с тем, что в этот период выпало много осадков (77 мм) и гидрогель удерживал эту влагу в почве.

4.8 Влияние гидрогелей на биологическую активность почвы в полевых условиях и в условиях модельной почвенной засухи («засушник»)

Биологическая активность почвы — интегральный показатель, характеризующий общее содержание ферментов, которые высвобождаются в течение жизни растений и почвенных микроорганизмов и накапливаются в почве после деструкции микробных и растительных клеток. Показатели биологической активности почвы: биомасса и количество различных групп почвенных микроорганизмов, их активность, ферментативная активность, количество и скорость накопления продуктов жизнедеятельности почвенных организмов, трансформация и круговорот элементов и соединений (Купревич, 1951). Почвенные микроорганизмы могут длительное время находиться в состоянии покоя, переносить неблагоприятные условия и не реализовывать свою потенциальную активность, т.е. общая численность и биомасса совершенно не отражают их активность (Безкоровайная, 2001). Формирование микробных сообществ почвы во многом определяется ее водно-воздушным и тепловым режимом (Заварзин, 2004). Большинство групп микроорганизмов наиболее активны в нейтральной среде, микробиологические процессы в почве активируются при нейтрализации кислых и понижении значений рН щелочных почв (Рижия и др., 2017). Есть сведения (Емцев, Мишустин, 2005), что количество групп почвенных микроорганизмов уменьшается с глубиной. Уменьшение численности микробной популяции с глубиной может быть вызвано ухудшением водно-воздушного режима или накоплением каких-либо метаболитов в нижних горизонтах почвы. Более глубокие слои почвы могут характеризоваться большим количеством углекислого газа в составе почвенных газов, что способствует уменьшению количества микроорганизмов и, соответственно, снижению микробиологической активности (Максимова и др., 2010; Рижия и др., 2017). Считается, что верхний слой почвы более активен с точки зрения энергии дыхания. Установлено (Абросимова, 1983), что малые дозы АЛС (сополимерный акрилатно–лигносульфонатный структурообразователь) при внесении в почву в

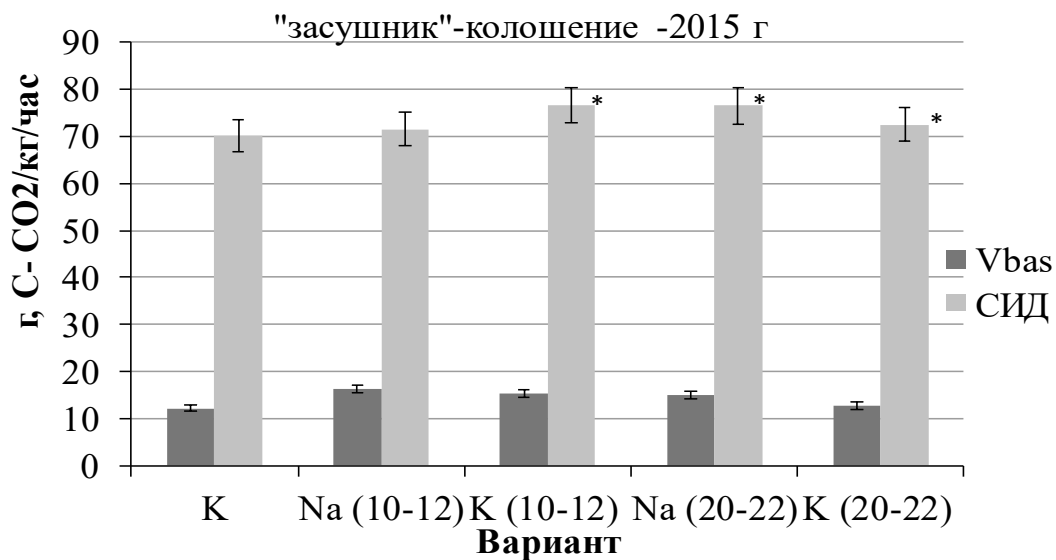
количестве 0,1 % от массы почвы АЛС (0,1 %), значительно активируют жизнедеятельность микробиоты. В полевых исследованиях (Li et al., 2014) установлено, что внесение в почву полимерных гелей Jaguar C (JC) и Jaguar S (JS), способствовало образованию макро почвенных агрегатов (размер частиц >0.25 мм) и увеличению количества микроорганизмов в почве при возделывании озимой пшеницы. Обработка посевов пшеницы полимером JC (путем опрыскивания) повысила урожайность культуры, улучшила эффективность использования доступного углерода почвенными микроорганизмами и увеличила микробное дыхание. В таблице 4.8.1 представлены показатели (базальное и микробное дыхание, метаболический коэффициент) микробиологической активности почвы.

На рисунке 4.8.1 показана биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы под действием гидрогеля: а) – («засушник»); б) – полевые условия (фаза развития ячменя – колошение). Расчетные экспериментальные данные представлены в (Приложении 21).

Таблица 4.8.1 - Показатели биологической активности почвы при внесении гидрогеля.

Варианты	БД, мг/СО ₂ /г/час	СИД, мг / СО ₂ /г/час	qСО ₂
<i>«Засушник» - 2015г- ячмень(фаза - колошение)</i>			
Контроль	0,012	0,070	0,171
ГГ Na(10-12 см)	0,016	0,071	0,225
ГГ К (10-12 см)	0,015	0,076	0,197
ГГ Na(20-22 см)	0,014	0,076	0,184
ГГ К (20-22 см)	0,012	0,072	0,166
<i>Полевые условия – 2015г- ячмень(фаза - колошение)</i>			
Контроль	0,013	0,083	0,156
ГГ Na(10-12 см)	0,010	0,091	0,109
ГГ К (10-12 см)	0,010	0,116	0,086
ГГ Na(20-22 см)	0,007	0,093	0,075
ГГ К (20-22 см)	0,012	0,091	0,131
<i>«Засушник»-2015г -ячмень (фаза – восковая спелость)</i>			
Контроль	0,005	0,016	0,312
ГГ Na(10-12 см)	0,005	0,021	0,238
ГГ К (10-12 см)	0,005	0,017	0,294
ГГ Na(20-22 см)	0,004	0,015	0,266
ГГ К (20-22 см)	0,004	0,015	0,266
<i>Полевые условия – 2015г- ячмень (фаза – восковая спелость)</i>			
Контроль	0,005	0,016	0,312
ГГ Na(10-12 см)	0,006	0,016	0,375
ГГ К (10-12 см)	0,004	0,010	0,40
ГГ Na(20-22 см)	0,005	0,013	0,384
ГГ К (20-22 см)	0,004	0,013	0,307
<i>«Засушник» - 2016 г -яровая пшеница (фаза - колошение)</i>			
Контроль	0,002	0,007	0,285
ГГ Na(10-12 см)	0,002	0,011	0,181
ГГ К (10-12 см)	0,002	0,010	0,20
ГГ Na(20-22 см)	0,003	0,011	0,272
ГГ К (20-22 см)	0,003	0,007	0,428
<i>Полевые условия – 2016 г- яровая пшеница (фаза - колошение)</i>			
Контроль	0,004	0,012	0,333
ГГ Na(10-12 см)	0,002	0,008	0,25
ГГ К (10-12 см)	0,004	0,009	0,444
ГГ Na(20-22 см)	0,002	0,010	0,20
ГГ К (20-22 см)	0,003	0,012	0,25
<i>«Засушник»-2016 г - яровая пшеница (фаза - восковая спелость)</i>			
Контроль	0,007	0,027	0,259
ГГ Na(10-12 см)	0,007	0,055	0,127
ГГ К (10-12 см)	0,008	0,060	0,133
ГГ Na(20-22 см)	0,007	0,053	0,132
ГГ К (20-22 см)	0,007	0,056	0,125
<i>Полевые условия – 2016 г - яровая пшеница (фаза – восковая спелость)</i>			
Контроль	0,007	0,029	0,241
ГГ Na(10-12 см)	0,006	0,022	0,272
ГГ К (10-12 см)	0,007	0,027	0,259
ГГ Na(20-22 см)	0,007	0,031	0,225
ГГ К (20-22 см)	0,006	0,029	0,207

а)



б)

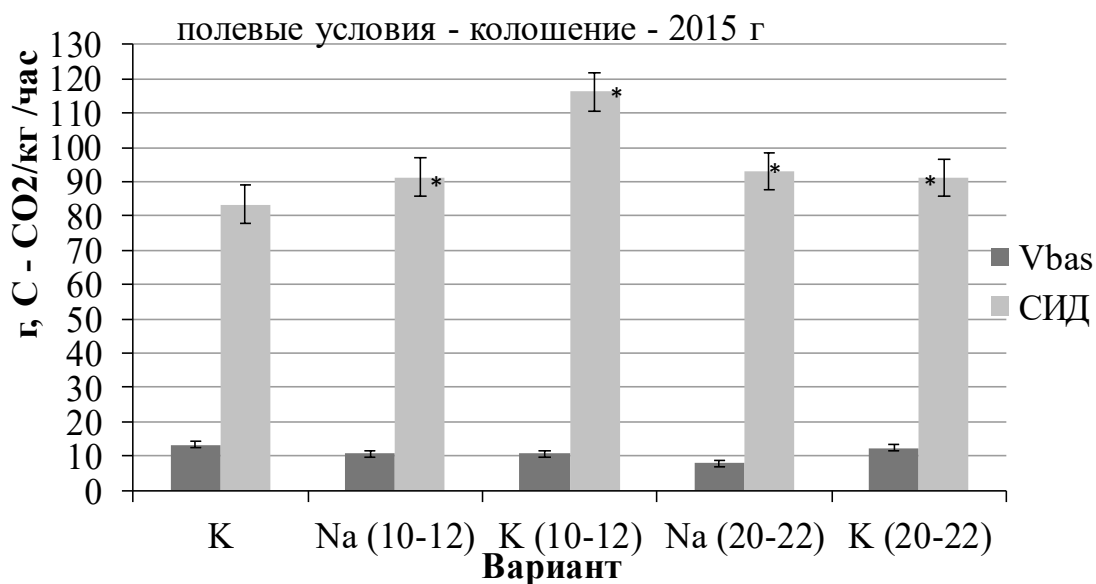


Рис.4.8.1 - Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогеля (по Даниловой, Хомякову, Конончуку, 2021).

Обозначения: V_{bas} - базальное дыхание; СИД - микробное дыхание

а) – «засушник»; б) – полевые условия (фаза развития ячменя – колошение)

К – контроль; Na (10–12) и К (10–12) – гидрогель, внесенный в слой 10–12 см;

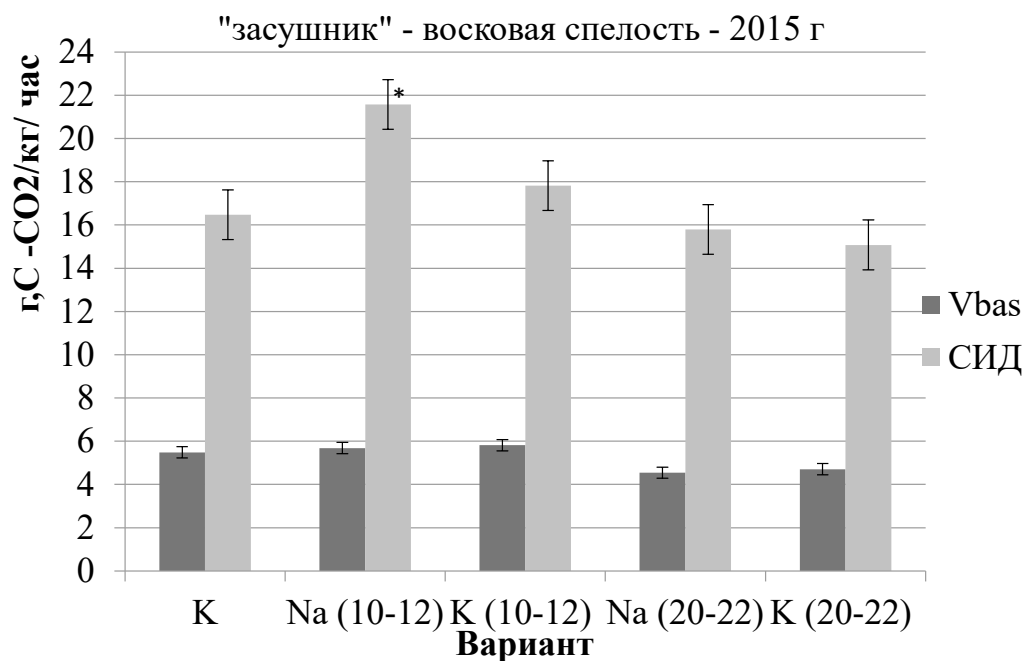
Na (20–22) и К (20–22) – гидрогель, внесенный в слой 20–22 см.

Показаны средние (M) и стандартные отклонения ($\pm SD$). Достоверность отличия от контроля: * $p \leq 0,05$

«Продуцирование CO_2 почвенными микроорганизмами рассматривается как базальное дыхание (БД) или дыхательный потенциал. Анализ гистограммы на рисунке 4.8.1, показал, что базальное дыхание в полевых условиях при размещении гидрогеля в корнеобитаемый слой (10-12 см) и на глубину 20-22 см ниже, чем базальное дыхание в вариантах с гелем в «засушнике», а микробное дыхание (СИД) выше в полевых условиях. Статистический анализ не показал достоверных различий ($p < 0,001$) в базальном дыхании между контролем и вариантами с гидрогелем в начале вегетационного периода как в «засушнике», так и в полевых условиях. Размещение гидрогеля в верхнем слое (10-12 см) почвы в «засушнике» значительно увеличивало микробное дыхание ($p = 0,05$) в варианте с гидрогелем на основе калия; в варианте с гидрогелем на основе натрия существенных различий не обнаружено. Сравнение контрольного варианта с вариантами, в которых гидрогель вносили в слой 20-22 см, выявило достоверные ($p < 0,05$) различия в обоих вариантах. В полевых условиях введение гидрогеля в верхний слой (10-12 см) способствовало значительному ($p = 0,05$) усилению микробного дыхания, особенно в варианте с гидрогелем на основе калия. Добавление полимерного геля в слой 20-22 см имело достоверные ($p < 0,05$) различия в варианте с гелем Ритин -10 и ($p = 0,05$) в варианте с гидрогелем В -415 К по сравнению с контрольным вариантом. Базальное дыхание в вариантах с гидрогелями (при внесении в слой 10-12 см и в слой 20-22 см) было ниже, чем в контроле, и не имело достоверных различий»¹. На рисунке 4.8.2 (а, б) показаны гистограммы биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы в конце вегетации.

¹ Данилова Т.Н. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей / Т.Н. Данилова, Ю.В. Хомяков, П.Ю. Конончук // Вестник защиты растений. - 2021. - Т.104. - № 2. - С.97-104.

а)



б)

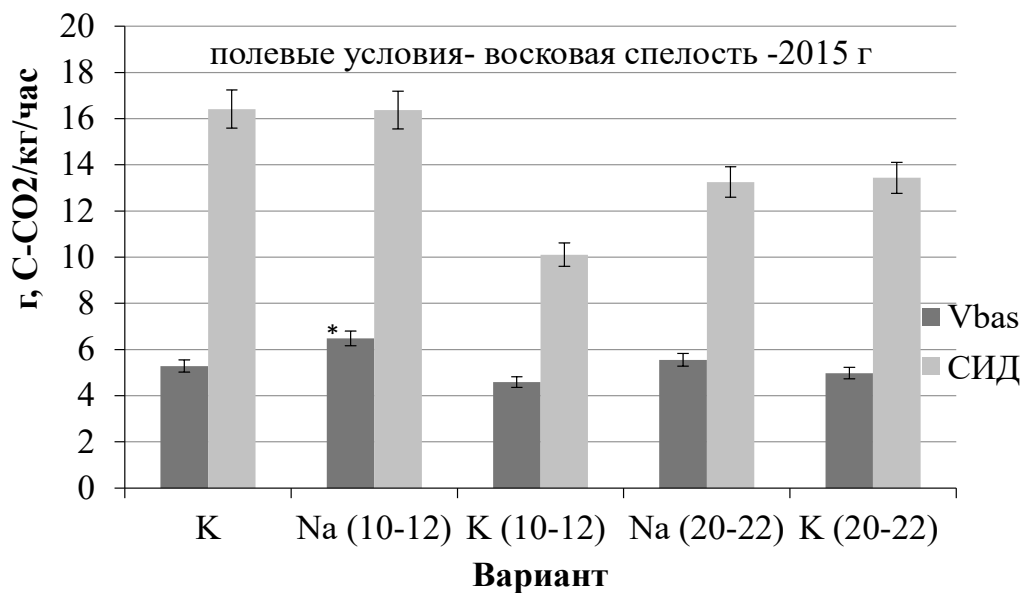


Рис.4.8.2 - Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогеля (по Даниловой, Хомякову, Конончуку, 2021).

Обозначения: V_{bas} - базальное дыхание; СИД - микробное дыхание.

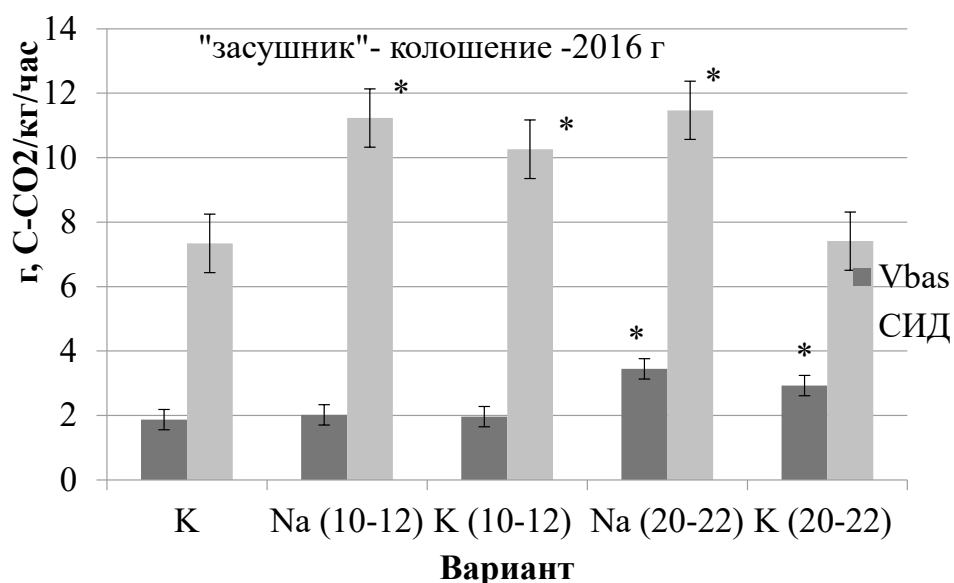
а) – «засушник»; б) – полевые условия (фаза развития ячменя – восковая спелость). К – контроль; Na (10–12) и К (10–12) – гидрогель, внесенный в слой 10–12 см; Na (20 –22) и К (20 –22) – гидрогель, внесенный в слой 20 –22 см.

Показаны средние (\bar{M}) и стандартные отклонения ($\pm SD$).

Достоверность отличия от контроля: * $p \leq 0,05$

Гистограммы (рисунок 4.8.2), показывают, что микробиологическая активность дерново-подзолистой почвы в конце вегетационного периода понизилась, как в «засушнике», так и в полевых условиях. В «засушнике» базальное дыхание (БД) в вариантах с внесением гидрогеля в корнеобитаемый слой не отличается от контроля. Размещение гидрогеля в слое 20-22 см в «засушнике» не привело к достоверному повышению базального дыхания (Данилова и др..., 2021), оно оказалось ниже, чем в контроле и в вариантах с внесением полимерного геля в верхний слой (10-12 см). В полевых условиях базальное дыхание достоверно отличалось ($p < 0,05$) только с гидрогелем Ритин - 10, размещенным в слое 10–12 см. Сравнение вариантов с гидрогелем, размещенным в слое 20-22 см с контролем достоверных отличий не обнаружено. Микробное дыхание (СИД) в «засушнике», в вариантах с внесением гидрогеля в корнеобитаемый слой (10-12 см) достоверно ($p = 0,05$) отличалось от контроля, а в полевых условиях, микробное дыхание не имело достоверные различия между вариантами с гидрогелем и контролем (Данилова, Хомяков, Конончук, 2021). На рисунках 4.8.3 и 4.8.4 представлены гистограммы 2016 г., полученные в «засушнике» и в полевых условиях под культурой яровой пшеницы.

а)



б)



Рис.4.8.3 - Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогеля (по Даниловой, Хомякову, Конончуку, 2021).

Обозначения: V_{bas} - базальное дыхание; СИД - микробное дыхание

а) – «засушник»; б) – полевые условия (фаза развития пшеницы – колошение)

К – контроль; Na (10–12) и К (10–12) – гидрогель, внесенный в слой 10–12 см;

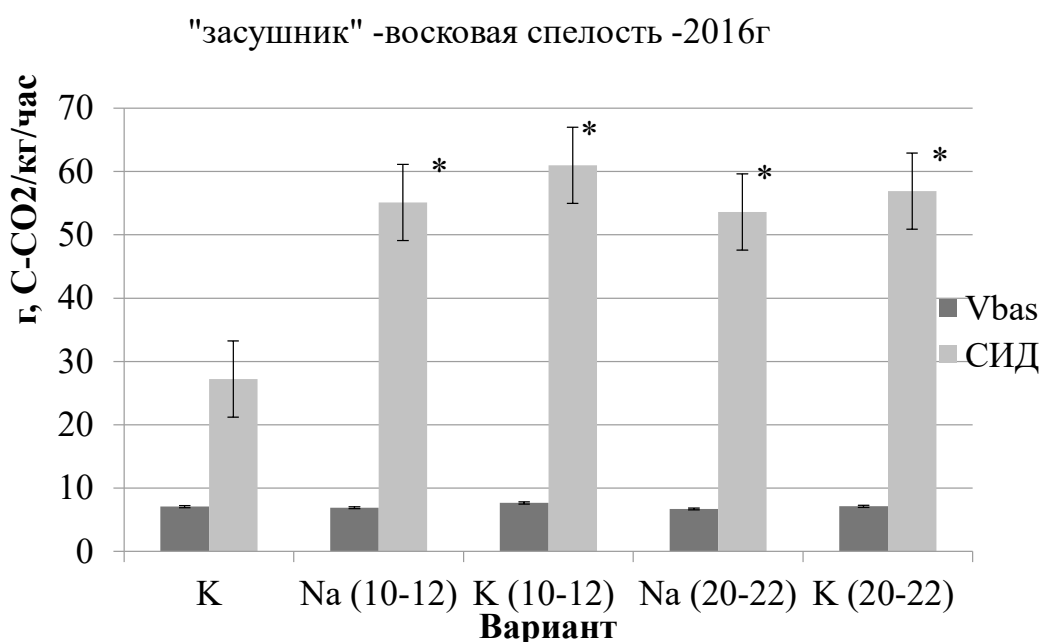
Na (20 –22) и К (20 –22) – гидрогель, внесенный в слой 20 –22 см.

Показаны средние (М) и стандартные отклонения ($\pm SD$).

Достоверность отличия от контроля: * $p \leq 0,05$

Гистограммы (рисунок 4.8.3 а) показывают, что в начале вегетации (фаза-колошение) базальное дыхание в «засушнике» в вариантах с гелем, размещенным в корнеобитаемом (10-12 см) слое не существенно отличалось от контроля. Статистический анализ показал достоверное ($p < 0,05$) отличие базального дыхания от контрольного варианта только в вариантах с гидрогелями Ритин -10 и В -415 К при размещении в слое 20-22 см. Микробное дыхание (СИД) в вариантах опыта с гидрогелем имело достоверные различия по сравнению с контрольным вариантом. В полевых условиях (рисунок 4.8.3 б) базальное дыхание только с гидрогелем В-415 К (калиевая основа), при размещении в верхнем корнеобитаемом слое, достоверно ($p=0,05$) отличалось от контроля. При сравнении контроля с остальными вариантами с гидрогелем, достоверных ($p < 0,001$) различий не обнаружено. Внесение гидрогеля как в верхний корнеобитаемый слой, так и в слой 20-22 см не способствовало увеличению микробного дыхания в полевых условиях. В вариантах с гидрогелем микробное дыхание было ниже, чем на контроле. На рисунке 4.8.4 показана биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы в конце вегетации.

а)



б)

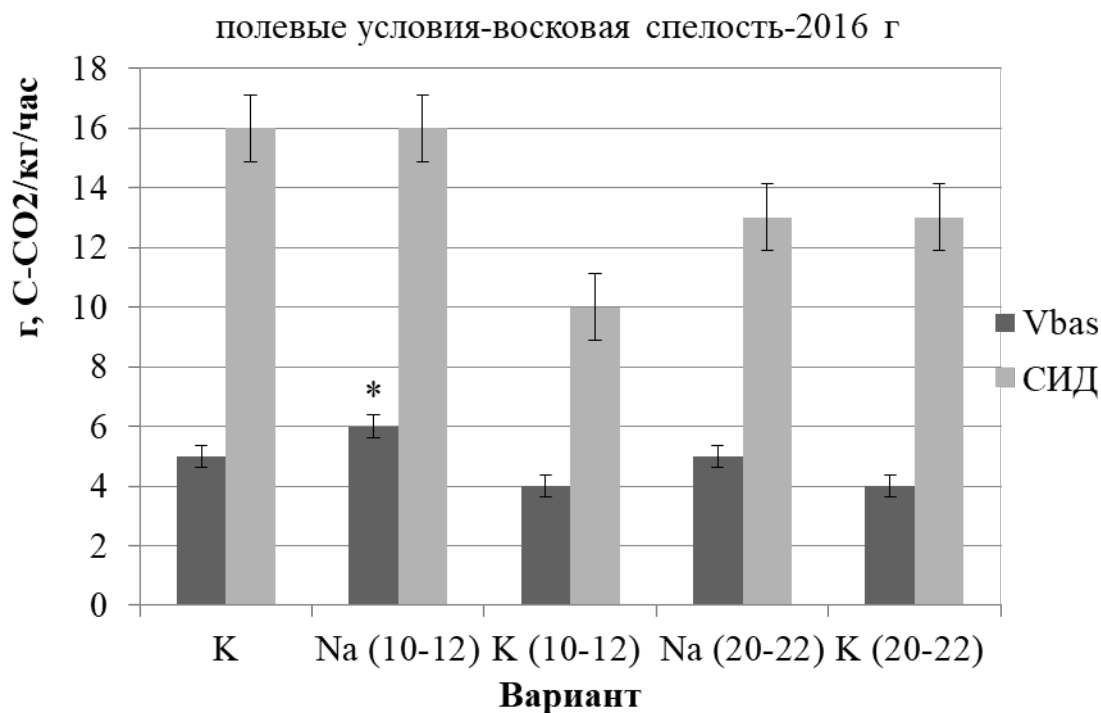


Рис.4.8.4 - Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогеля (по Даниловой, Хомякову, Конончуку, 2021).

Обозначения: V_{bas} - базальное дыхание; СИД - микробное дыхание.

а) – «засушник»; б) – полевые условия (фаза развития пшеницы– восковая спелость). К – контроль; Na (10–12) и К (10–12) – гидрогель, внесенный в слой 10–12 см; Na (20 –22) и К (20 –22) – гидрогель, внесенный в слой 20 –22 см.

Показаны средние (М) и стандартные отклонения (\pm SD). Достоверность отличия от контроля: * $p \leq 0,05$

Гистограммы (рисунок 4.8.4 а), показывают, что в «засушнике» в фазе-восковой спелости, базальное дыхание в вариантах с гидрогелем, не отличается от контроля. Микробное дыхание (СИД) в «засушнике» во всех вариантах опыта с гидрогелем имело достоверные ($p < 0,05$) различия в сравнении с контролем. В полевых условиях (рисунок 4.8.4 б) базальное дыхание достоверно ($p=0,05$) отличалось только в варианте с гидрогелем Ритин -10, размещенным в слое 10-12 см. Микробное дыхание (СИД) в вариантах с гидрогелем также не отличалось от контроля. Статистический анализ не показал достоверных ($p < 0,001$) различий между вариантами с гидрогелем и контрольным вариантом (Данилова, Хомяков, Конончук, 2021). В таблице 4.8.2 показана эффективность использования

доступного углерода микроорганизмами в «засушнике» и в полевых условиях. Показатель qCO_2 служит индексом стресса микробного сообщества, чем ниже индекс, тем лучше состояние микробного сообщества (Мостовая и др., 2015; Сушко и др., 2016).

Таблица 4.8.2 - Эффективность использования доступного углерода микробным сообществом (по Даниловой, Хомякову, Конончуку, 2021).

Варианты опыта	Метаболический коэффициент (qCO_2)	
	10–12 см	20–22 см
«засушник» - фаза колошение		
контроль	0.173 ±0,2	
ГГ _{Na}	0.224 ±0,2	0.194 ±0,1
ГГ _K	0.201 ±0,2	0.138 ±0,2
полевые условия - фаза колошение		
контроль	0.160 ±0,2	
ГГ _{Na}	0.139 ±0,2	0.162 ±0,2
ГГ _K	0.117 ±0,3	0.150 ±0,1
«засушник» - фаза восковая спелость		
контроль	0.333±0.07	
ГГ _{Na}	0.335 ±0.1	0.287±0.08
ГГ _K	0.326 ±0.03	0.312±0.07
полевые условия - фаза восковая спелость		
контроль	0.317 ±0.04	
ГГ _{Na}	0.338 ±0.07	0.418 ±0.06
ГГ _K	0.460 ±0.06	0.364 ±0.05

«Метаболический коэффициент (qCO_2) в фазу колошения в «засушнике» в вариантах с гидрогелем, внесенным в слой 10-12 см (0,201 – 0,224) немного превышал этот показатель в контрольном варианте (0,173), т.е. эффективность использования доступного углерода микроорганизмами понижена. В полевых условиях, в эту же фазу развития, в вариантах с гидрогелем, микроорганизмы эффективно используют доступный углерод, так как метаболический коэффициент ниже (0,117 – 0,139), чем на контрольном варианте (0,160). Можно предположить, что внесение гидрогеля в полевых условиях способствовало

улучшению водно-физических свойств почвы и снижению стресса микробного сообщества. Проведенный статистический анализ метаболического коэффициента по вариантам опыта не показал достоверных различий между вариантами с гидрогелем и контролем. Между вариантами с гидрогелем также не обнаружено существенных различий. Однако в фазу восковой спелости в полевых условиях наблюдается превышение метаболического коэффициента в вариантах с гидрогелем. Предполагаем, что причина такого превышения связана с влажностью почвы. В разделе 4.7 (нашей работы) представлены данные по объемной влажности дерново-подзолистой супесчаной почвы в «засушнике» и в полевых условиях за период вегетации зерновых культур. Так в вариантах с гидрогелем в полевых условиях объемная влажность почвы в фазу восковой спелости выше, чем на контроле. В «засушнике» влажность очень низкая. Вероятно, что в полевых условиях в результате выпадения осадков и наличия гидрогеля произошло повышение влажности почвы, что привело к снижению биологической активности микроорганизмов в конце вегетации»².

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что наличие гидрогеля достоверно ($p \leq 0,05$) повышало микробное дыхание, как в верхнем корнеобитаемом слое почвы, так и в слое 20–22 см в начале вегетации, т.е. в фазу колошения и в «засушнике», и в полевых условиях. Тип гидрогеля (натриевая и калиевая основа) не оказывает ингибирующего действия на жизнедеятельность почвенной микрофлоры. «Базальное дыхание в вариантах опыта с гидрогелем незначительно отличалось от контроля, статистический анализ существенных различий не выявил как в начале вегетации (в фазу колошения), так и в фазу восковой спелости. Избыток или недостаток влаги в почве может приводить к снижению биологической активности почвенных микроорганизмов» (Данилова, Хомяков, Конончук, 2021, с.102).

² Данилова Т.Н. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей / Т.Н. Данилова, Ю.В. Хомяков, П.Ю. Конончук // Вестник защиты растений. - 2021. - Т.104. - № 2. - С.97-104.

ГЛАВА 5. РОСТ И РАЗВИТИЕ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕЛЕЙ

5.1 Исследование воздействия гидрогелей на развитие корней в условиях миниризотрона

В условиях миниризотрона изучали влияние гелей на рост и развитие корневой системы зерновых (пшеница, ячмень) культур (Данилова, 2018). Первоначально влияние гидрогеля на развитие корневой системы исследовали на водной основе. В качестве источника элементов минерального питания в опыте предлагается использовать одно-нормальный раствор Кнопа. Состав раствора представлен в таблице 5.1.1. Семена пшеницы, сорт Дарья, предварительно проращивались в чашках Петри при комнатной температуре в воде, затем высаживались в малый ризотрон по 10 штук на секцию (рис.5.1.1). И как вариант непосредственно в набухшем гидрогеле, однако, в набухшем геле семена не смогли прорасти, они загнивали, так как не хватало достаточно кислорода. Но уже проросшие семена при помещении в набухший гидрогель, прекрасно себя чувствовали и росли.



Рис.5.1.1- Миниризотрон.

Таблица 5.1.1 – Химический состав питательного раствора «Кнопа»

Наименование минерального удобрения (соли)	Химическая формула	Количество соли на 1 м ³ воды, в гр.
Макроэлементы		
Кальций азотнокислый	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1000
Калий фосфорнокислый	KH_2PO_4	250
Калий азотнокислый	KNO_3	250
Магний сернокислый	MgSO_4	250
Микроэлементы		
Железо сернокислое	FeSO_4	22
Борная кислота	H_3BO_3	3
Марганец сернокислый	MnSO_4	2
Медный купорос	CuSO_4	0.2
Сульфат цинка	ZnSO_4	0.2
Молибденовокислый аммоний	$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	0.2

На рисунке 5.1.2 показаны проростки пшеницы, помещенные в воду и в набухший гидрогель.

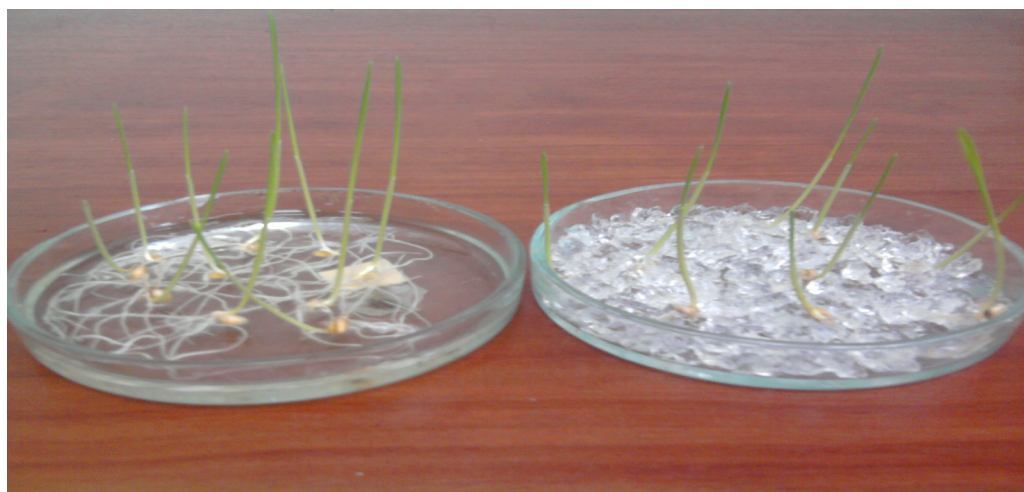


Рис.5.1.2 - Проросшие семян пшеницы (слева — в воде; справа — в гидрогеле)

Проростки пшеницы высаживали на пористую корнеобитаемую среду (ПКС) по 10 штук и подавали питательный 1 н. раствор Кнопа. После закрепления проростков пшеницы на корнеобитаемой среде, на расстоянии 7-8 см от

проростков размещали сплошным слоем набухший гидрогель. На рисунке 5.1.3 показаны 5-дневные проростки пшеницы, которые уже хорошо прикрепились на ПКС, на рисунке 5.1. 4 показаны 12- дневные и 21 –дневные проростки пшеницы.



Рис.5.1.3- Проростки пшеницы, высаженные на ПКС.



Рис.5.1.4 - Корневая система пшеницы на ПКС миниризотрона (а – 12-дневные проростки; б – 21-дневные проростки).

Из рисунка 5.1.4 (а, б) видно, что корневая система пшеницы, достигая гидрогель, проходила через него и росла вниз по корнеобитаемой среде до тех пор, пока была подача питательного раствора. При прекращении подачи питательного раствора Кнопа, пористая корнеобитаемая среда и гидрогель высыхали. Интересный результат был получен в эксперименте с ауксином.

Ауксины – это стимуляторы роста растений, в нашем случае ауксин применялся для стимуляции роста и ветвления корневых волосков. Перед помещением гидрогеля на ПКС, проводили набухание геля в воде и в ауксине. На ПКС набухший гидрогель размещали по 4 полоски: с левой стороны ризотрона – гидрогель + вода; с правой стороны – гидрогель + ауксин. Далее наблюдали за развитием корневой системой пшеницы. На рисунке 5.1.5 показано как происходит рост корневых волосков пшеницы на корнеобитаемой среде в зависимости от варианта опыта.



Рис. 5.1.5 - Корневая система пшеницы на ПКС: а) – 12-дневные проростки; б) – 21-дневные проростки (4 вертикальные полоски слева гидрогель + вода, 4 полоски справа гидрогель + ауксин).

На рисунке 5.1.5 (а) хорошо видно, что корневые волоски направлены в сторону полосок с гидрогелем и даже проходят через них. На рисунке 5.1.6 (б) наблюдается хорошее ветвление корневых волосков.



Рис.5.1.6 - Корневая система пшеницы на ПКС: а) корневая система пшеницы в фазу колошения (вертикальные полосы слева - гидрогель + вода, справа - гидрогель + ауксин); б) полосы с гидрогелем и ауксином.

На рисунке 5.1.6 видно, что корневые волоски пшеницы в варианте гидрогель + вода располагаются в полосках с гелем, а в варианте гидрогель+ ауксин корневые волоски расположены между полосками гидрогеля и не проходят через гранулы геля, т.е. ауксин ингибирует корневую систему.

5.2 Изучение влияния гидрогелей на рост и развитие корневых систем в автоматизированной вегетационной светустановке - ризотроне

Более детальные исследования развития корней ячменя под влиянием гидрогелей выполнены в автоматизированной вегетационной светустановке - ризотроне. Созданная серия ризотронов предусматривает интенсивное выращивание различных растений на пористой тонкослойной КС (корнеобитаемая среда) при свободном естественном размещении корневых систем на поверхности влагопроводящего пористого пленочного материала при неограниченном снабжении корней растений водой, элементами минерального питания и воздухом. При этом сохраняются все преимущества непрерывности снабжения корневых систем водой, элементами минерального и органического питания, а также

кислородом воздуха, что присуще «идеальной» макроструктурной почве при оптимальном ее влагосодержании (Ермаков, 1998; Каталог готовой товарной наукоемкой продукции, 2010). На рисунке 5.2.1 представлена автоматизированная светоустановка – ризотрон.



Рис.5.2.1 - Вегетационная светоустановка- ризотрон

Семена ячменя, сорт Ленинградский, предварительно проращивались в чашках Петри при комнатной температуре в воде. Корнеобитаемая тонкопористая ткань размещалась на ризотроне и пропитывалась питательным раствором Кнопа. Далее на ризотрон высаживались растения ячменя по 10 штук на секцию. При закладке опыта высота растений была 1,5-2 см, длина корневой системы - 1,0-1,5 см. Вегетационная светоустановка работала в режиме подсветки 14 часов. Растения пшеницы подсвечивались с 23.00 ч. до 13.00 ч. Температура в помещении поддерживалась в пределах $t = +24-26^{\circ}\text{C}$. На рисунке 5.2.2 показаны высаженные на ПКС с гидрогелем растения ячменя.

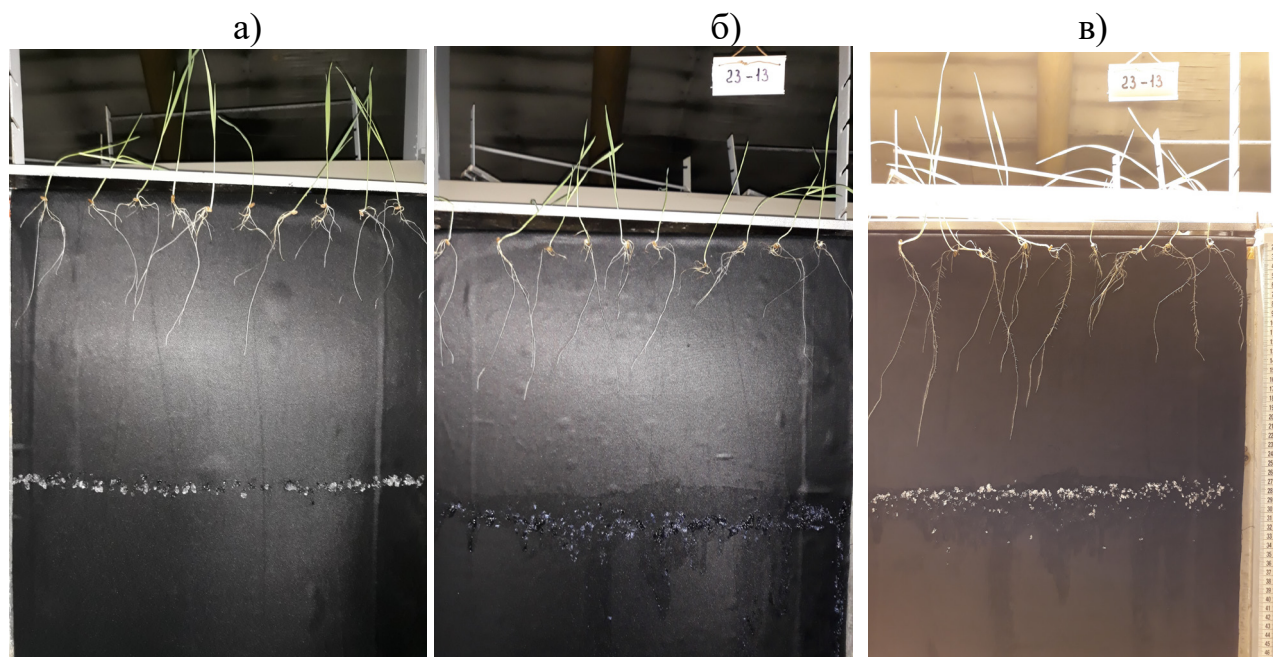


Рис.5.2.2 - Растения ячменя, высаженные на ПКС с гидрогелем: а) Ритин-10; б) Аквасин; в) Аквасорб.

На рисунке 5.2.2 (а, б, в) показано, как размещены набухшие гидрогели Ритин -10, Аквасин и Аквасорб на корнеобитаемой среде. Гидрогель предварительно увлажняли в течение суток, затем в набухом состоянии наносили на тонкопористую ткань. Гель на ПКС наносили сплошным слоем на расстоянии 30 см от растений ячменя. По рисунку (рис.5.2.2 б) видно, что гидрогель Аквасин плохо держится на вертикальной тонкопористой корнеобитаемой среде. Наблюдается сползание геля вниз по корнеобитаемой ткани, в дальнейшем пришлось отказаться от этого варианта. Гидрогель В-415 К не использовали в исследованиях, т.к. водонасыщенные гранулы гидрогеля оказались большими по размеру и не удерживались на корнеобитаемой среде.

На рисунке 5.2.2 (а, б, в) видно, что растения ячменя хорошо развиты, высота растений достигла 12-15 см. Корневые волоски закрепились на корнеобитаемой среде, начали расти вниз по пористому увлажненному материалу, длина корней от 10 до 17 см. В правой части ризотрона наблюдался краевой эффект в развитии корневой системы, т.е. корневая система растений в этой части отставала в развитии от остальных. Дальнейшие наблюдения за развитием

корневой системы ячменя показали, что, достигнув гранул гидрогеля корневые волоски проходили через него.

На рисунке 5.2.3 (а, б) видно, что корневая система ячменя достигла набухших гранул гидрогелей Ритин-10 и Аквасорб. Это произошло через 10 дней после высадки растений на корнеобитаемую среду. Некоторые корневые волоски даже прошли через гранулы геля до глубины 35 см. Растения ячменя достигли высоты 28-30 см, длина корней составила -25-27 см. На рисунке видно, что в развитии корневой системы растений ячменя краевой эффект сохранился, корневая система лучше развита в левой части ризотрона.

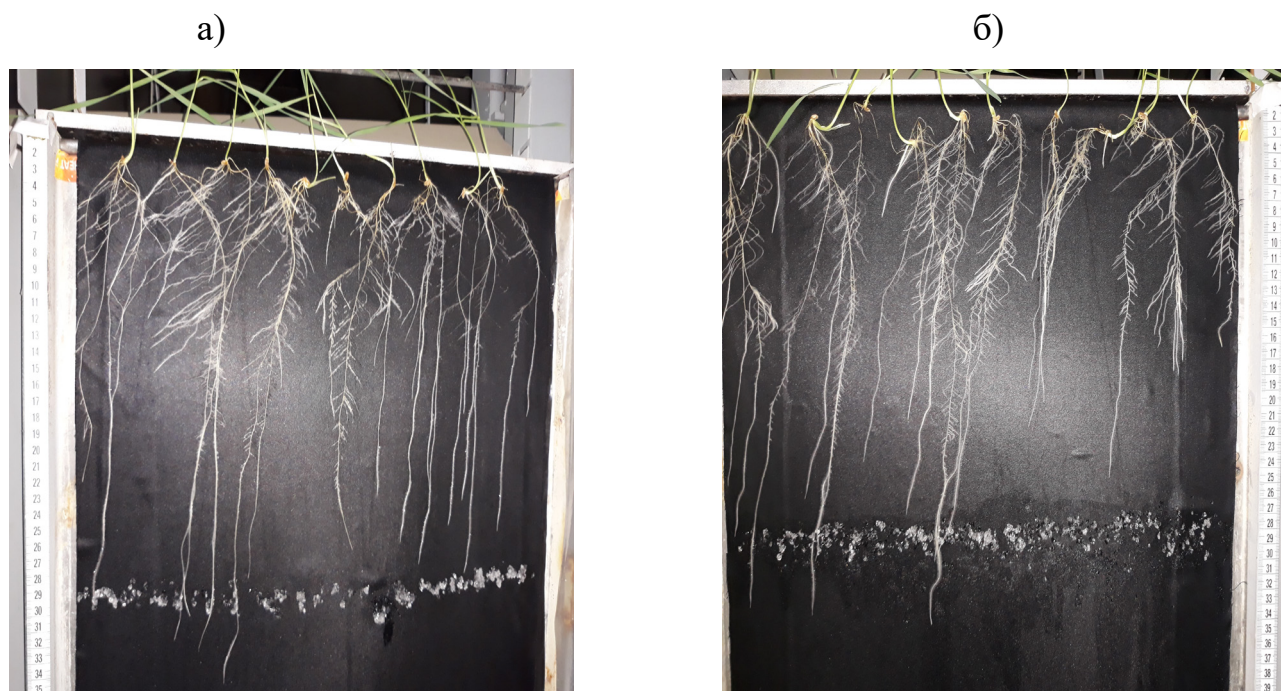


Рис.5.2.3 - Корневая система ячменя достигла гранул гидрогеля:
а) Ритин-10; б) Аквасорб.

На рисунке 5.2.4 (а, б) представлена корневая система растений ячменя через 2 недели после высадки проростков на корнеобитаемую среду.

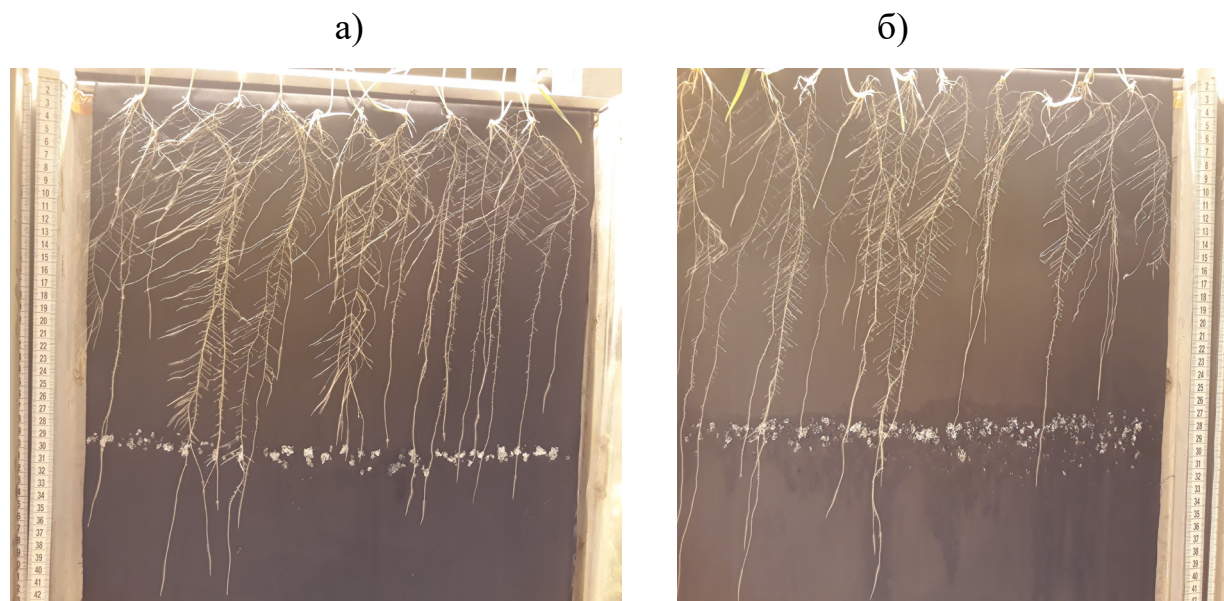


Рис.5.2.4 - Корневая система ячменя прошла через гранулы гидрогеля:
а) Ритин-10; б) Аквасорб

На рисунке 5.2.4 (а) мы видим, что корневая система растений ячменя в варианте с гидрогелем Ритин – 10 хорошо развита и разветвлена. Большинство корней достигли гидрогеля на отметке 30 см. Отдельные корни достигли 38-40 см. Высота растений при этом составила 30-32 см. Краевой эффект уже менее выражен. В варианте с гидрогелем Аквасорб (рис.5.2.4 (б)) корневая система растений ячменя менее разветвлена, чем у растений с гидрогелем Ритин-10. Высота растений 28-30 см, отмечено пожелтение листьев у некоторых растений. Корни достигли отметки 30 см, некоторые опустились до 38-40 см. Но краевой эффект остался и растения ячменя, расположенные на правой стороне ризотрона, имеют слабо развитую корневую систему. В дальнейшем, чтобы посмотреть влияние гидрогеля на развитие корневой системы растений ячменя, отключили подачу питательного раствора. При этом все остальные параметры: подсветка и температура остались. В результате через три дня гидрогель высох, корневая система растений, и сами растения тоже высохли. Следовательно, без подачи раствора и без поддержания влажности воздуха в пределах 85-90% (влажность, необходимая для насыщения гидрогеля) гидрогель высыхает.

5.3 Развитие корневых систем растений под действием гидрогелей в полевых условиях

Развитие и распределение корневых систем растений в почве зависит от ее структуры и агрофизических свойств (Колосов, 1962). В подзолистых почвах большая часть корней располагается в пахотном слое (до 80-95% от общей массы). Рост, ветвление и распространение корней в почве зависит от содержания в ней воды и распределения ее по отдельным горизонтам. Постоянная и бесперебойная подача воды к корням необходима для нормального формирования и роста всех его органов и получения высокого урожая. Корни растений распространяются в почве в зависимости от влажности и содержания питательных веществ (Кротов, 1996).

Корневая система составляет довольно большую часть растения. Общая поверхность корневой системы примерно в 100 раз превышает площадь надземной части. Корень заканчивается корневым чехликом, защищающим корень от внешних воздействий. Поглощение воды и питательных веществ происходит в области корневых волосков. Основная функция корневых волосков - увеличивать всасывающую поверхность корня. Набухший гидрогель содержит большое количество воды, что приводит к вращению корневой системы (в частности, корневых волосков) в гранулы гидрогеля.

Для углубления корневой системы важно, чтобы почва не имела физиологически сухих прослоек, т.е. в ней не должно быть слоев, имеющих влажность почвы ниже коэффициента завядания. Лучший рост корней происходит при влажности почвы на 4-5 % больше влажности завядания. Растения зерновых культур лучше развиваются при относительно низких температурах (8-12°C). Корни развиваются лучше, если температура почвы на 6-12°C ниже температуры воздуха. Продуктивность растений значительно снижается, если температура почвы выше температуры воздуха.

В Северо-Западной зоне засушливым периодом считается конец мая - начало июня. Внесение геля в корнеобитаемый слой (5-7 см) почвы обеспечило хорошее развитие корней яровой пшеницы в фазе кущения, основная масса

располагалось в зоне внесения гидрогеля (Данилова, 2018). На рисунке 5.3.1 (а, б, в) показана корневая система пшеницы в фазе кущения.

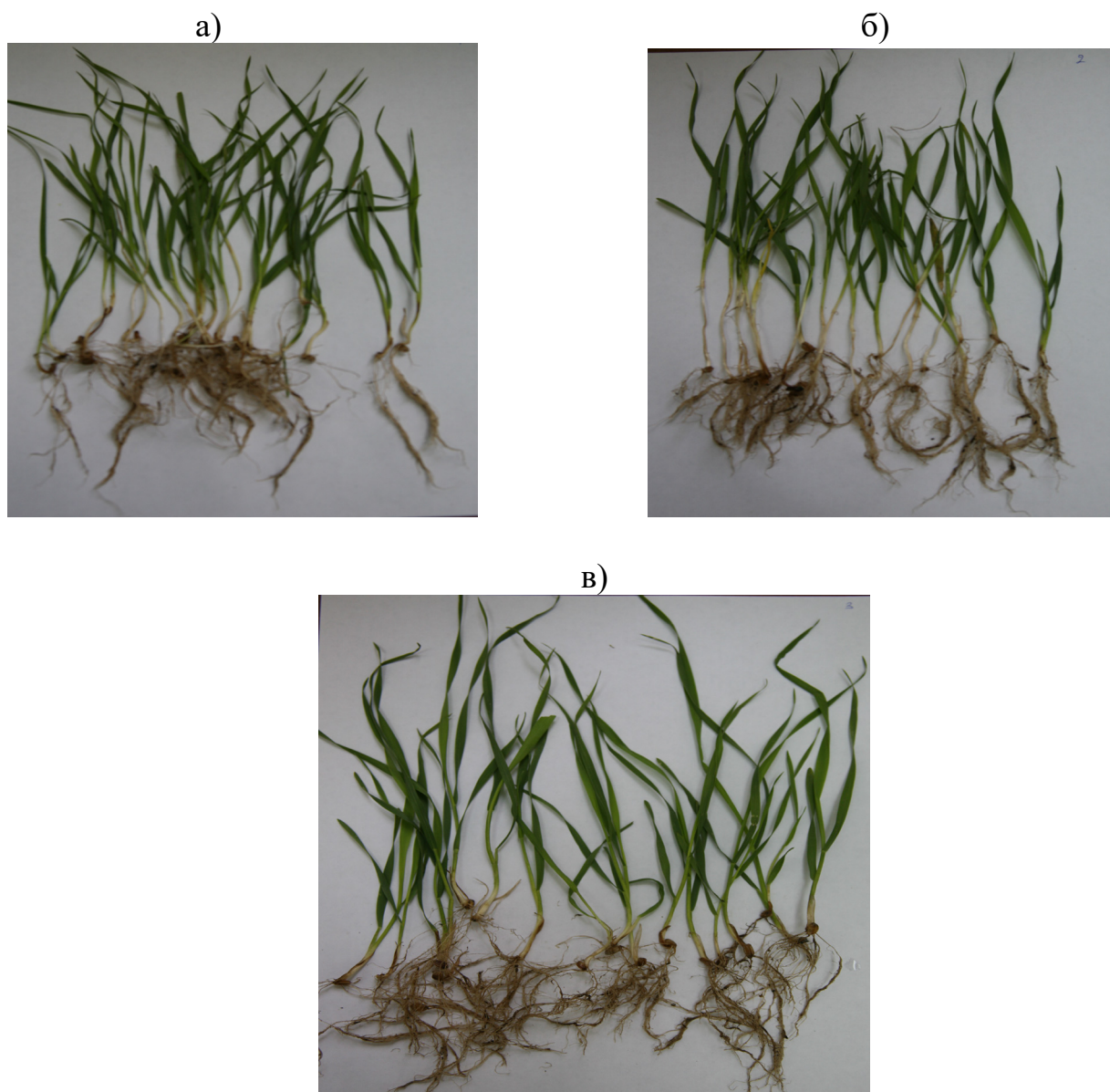


Рис.5.3.1 - Корневая система пшеницы в фазу кущения: а) контроль; б) семена, обработанные гелем; в) гель, внесенный в почву.

Анализируя рисунок 5.3.1, можно сказать, что в варианте с внесением гидрогеля в почву корневая система яровой пшеницы более развита, имеет большее количество корневых волосков. Поскольку гидрогель был внесен в корнеобитаемый слой (5-7 см), то основная масса корней располагалась в зоне гидрогеля, где было достаточно влаги для развития корневых волосков (Данилова, 2018). На рис. 5.3.2 показана корневая система многолетних трав в I гп. (клевер +

тимофеевка).

а)



б)



в)



г)



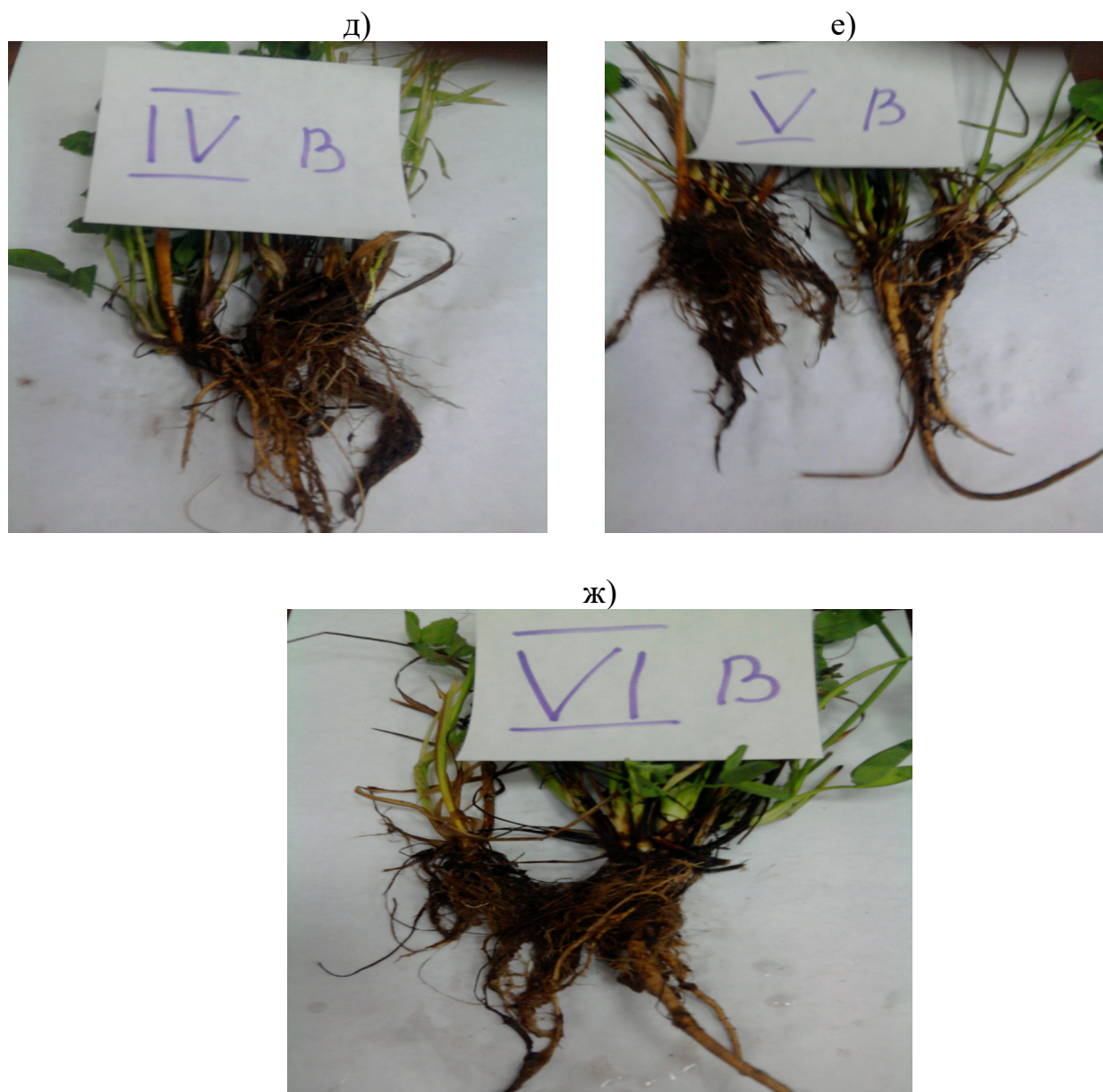


Рис.5.3.2 - Корневая система многолетних трав (клевер + тимфеевка) в начале отрастания: К-контроль; I В - ГГ_{Na-100}; II В - ГГ_{К-100}; III В - ГГ_{Na-200}; IVB - ГГ_{К-200}; V В- ГГ_{Na-300}; VI В - ГГ_{К-300}.

Если проанализировать рисунок 5.3.2, то можно сказать, что основная масса корней клевера лугового и тимфеевка расположена в зоне внесения гидрогеля. Влага, которую аккумулирует гидрогель, способствует лучшему развитию корневой системы, и активно влияет на рост и развитие растений (Данилова, Оленченко, 2018). В первый год пользования в многолетних травах наблюдалось преобладание клевера, следовательно, корневая система клевера более мощная. На

рисунке 5.3.3 (а, б, в, г, д) представлена корневая система яровой пшеницы в варианте опыта с азотными удобрениями.



Рис. 5.3.3 - Корневая система пшеницы в варианте с гидрогелем на фоне азотных удобрений: а) без добавления азотных удобрений; б) с дозой N_{60} ; в) с дозой N_{90} ; г) с дозой N_{120} ; д) с дозой N_{150} .

Фенотипическое проявление действия удобрений и гидрогеля - большая протяженность вторичной боковой сети корневой системы с выраженным ее разрастанием в очагах накопления питательных веществ и воды. Несложно заметить, что наиболее благоприятные условия для развития корневой системы формируются при внесении удобрений вместе с гидрогелем. На рисунке 5.3.4 показано расположение гранул гидрогеля на корневой системе пшеницы.



Рис.5.3.4 - Гидрогель на корнях яровой пшеницы

На рисунке 5.3.4 можно видеть, как располагается гидрогель на корнях яровой пшеницы. При поступлении влаги гранулы гидрогеля набухают, корневые волоски растений проникают через них, и таким образом получают необходимое количество влаги в течение вегетационного периода.

5.4 Исследование действия полимерных гелей на развитие корневой системы зерновых культур в условиях модельной почвенной засухи

В стрессовых условиях связь между надземной массой и массой корней очень сложная. При почвенной засухе происходит удлинение стеблей, а корни становятся тоньше, чем в более оптимальных для роста и развития растений условиях. Устойчивость корневой системы к действию высокой температуры и

недостаточной водообеспеченности ниже, чем надземной части растений (Ионова, 2010, 2011). Недостаток влаги в почве, особенно в период налива зерна, оказывает значительное влияние на формирование структуры урожая и общую продуктивность сельскохозяйственных растений. На рисунке 5.4.1 представлена корневая система зерновых культур в условиях модельной почвенной засухи (вегетационные сосуды - «засушник»).

а)



б)



в)





Рис.5.4.1 - Корневая система зерновых культур в условиях почвенной засухи (вегетационные сосуды – «засушник»): а) – контроль; б) - ГГ_{Na} (10-12 см); в) - ГГ_к (10-12 см); г) - ГГ_{Na} (20-22 см); д) - ГГ_к (20-22 см)

Анализируя рисунок 5.4.1, можно сказать, что в вариантах с гидрогелем корневая система зерновых культур развита лучше, чем в контрольном варианте. При размещении геля в слой 10-12 см, основная масса корней располагалась именно в зоне внесения гидрогеля. В вариантах гидрогеля, при размещении в слое 20-22 см корневая система злаковых культур была более разветвленной. На рисунке 5.4.2 представлена корневая система зерновых культур в полевых условиях (вегетационные сосуды).

а)



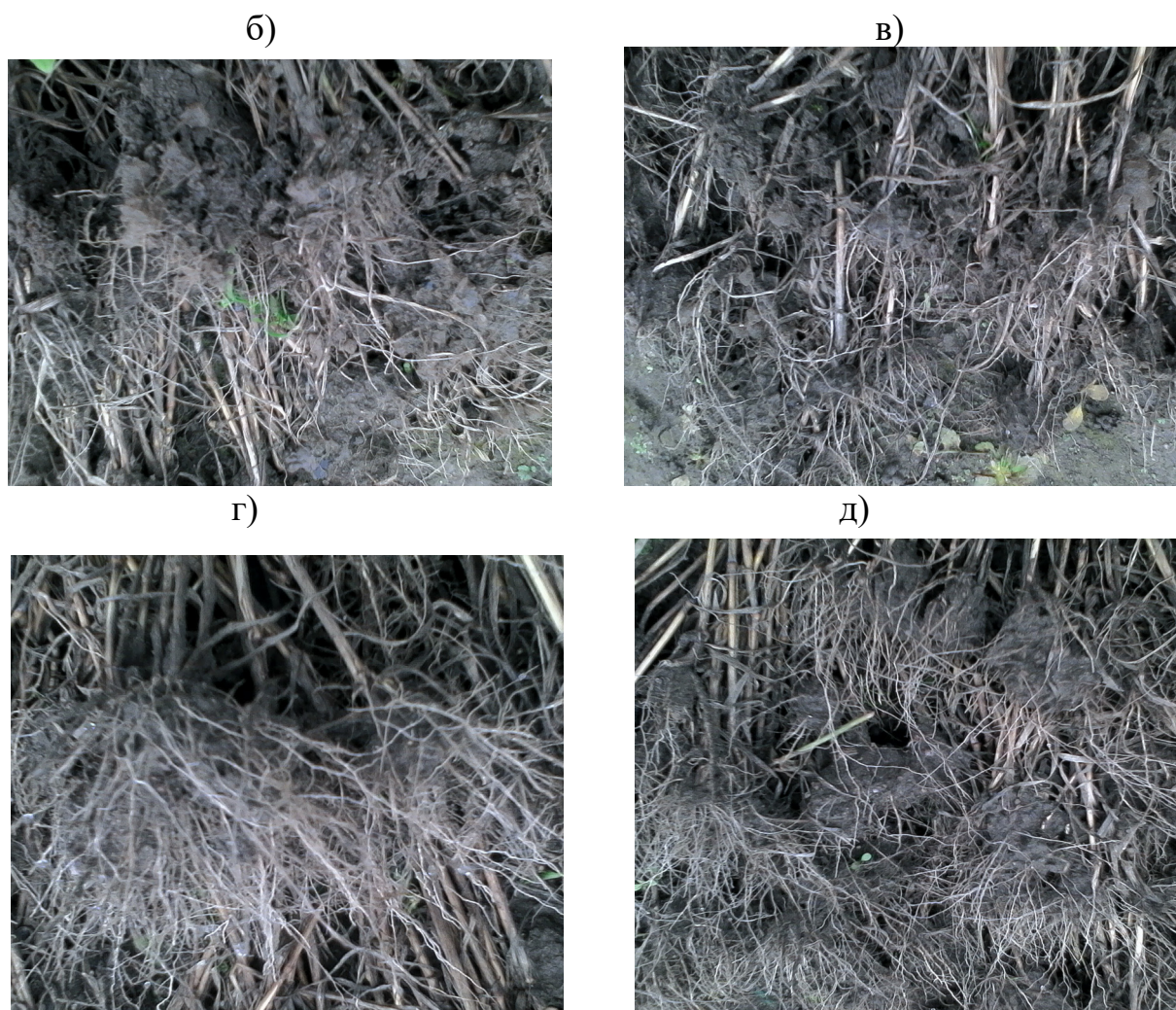


Рис.5.4.2 - Корневая система зерновых культур в полевых условиях (вегетационные сосуды): а) – контроль; б) - ГГ_{Na} – Ритин-10, размещенный в слое (10-12 см); в) - ГГ_к – В-415 К, размещенный в слое (10-12 см); г) - ГГ_{Na} – Ритин-10, размещенный в слое (20-22 см); д) - ГГ_к – В-415 К, размещенный в слое (20-22 см)

Анализируя рисунок 5.4.2, можно сказать, что корневая система растений лучше развивается в вариантах, когда гидрогель наносится в слой 20-22 см, чем в контрольном варианте и в вариантах, где гидрогель вносился в слой 10-12 см. В этих вариантах (слой 20-22 см), корневая система зерновых культур более разветвленная. Сравнивая корневую систему зерновых культур из «засушника» и полевых условий, можно сказать, что корневые волоски в полевых условиях развиты лучше и более утолщены, чем корневые волоски зерновых культур в условиях модельной почвенной засухи «засушник».

ГЛАВА 6. РОСТ, РАЗВИТИЕ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ГИДРОГЕЛЕЙ

6.1 Воздействие геля на водообеспечение яровой пшеницы в зависимости от способа внесения

В 2010 году в Меньковском филиале АФИ были проведены исследования действия гидрогеля Ритин-10 на влагообеспечение яровой пшеницы и изучены способы внесения гидрогеля. Гидрогель вносился в почву, на глубину корнеобитаемого слоя (5-7 см) в дозе 20 г/м² и высевали семенами, инкрустированными гелем (Данилова, 2016). На рисунке 6.1.1 показаны опытные деланки яровой пшеницы.



Рис.6.1.1 - Делянки яровой пшеницы (на переднем плане – контроль, далее – посев инкрустированными гидрогелем семенами и самая дальняя делянка – гидрогель, внесенный в почву).

Оценивая эффективность гидрогеля «Ритин-10» в полевом эксперименте, следует отметить, что «на делянках пшеницы, засеянной инкрустированными гидрогелем семенами, наблюдалось более раннее появление всходов (на 3 дня раньше, чем на контроле и в варианте, где гель был внесен в почву). Это объясняется тем, что за период «посев – всходы» выпало всего 16,7 мм осадков, однако данного количества было достаточно, чтобы семена, обработанные гидрогелем, набухли и проросли. Но с наступлением жаркой, засушливой погоды,

когда с третьей декады июня и до второй декады августа температура воздуха находилась в пределах 28–32°C, начал работать гидрогель, внесенный в почву. Наблюдалось улучшение состояния растений и по внешнему виду, и по приросту биомассы по сравнению с другими вариантами» (Данилова, 2018, с.49). По фазам развития проводились фенологические и биометрические наблюдения. В таблице 6.1.1 представлены данные о приросте биомассы растений яровой пшеницы.

Таблица 6.1.1 - Прирост биомассы яровой пшеницы, сорт «Эстер»
(МФ ФГБНУ АФИ, 2010 г.)

Варианты опыта/ фаза развития	Биомасса, кг/м ²	Высота растений, см	Фаза развития
Контроль	0,064±0,08	11,9 ±0,7	всходы-3-й лист
Гель в почве	0,060±0,07	11,1±0,71	
Инкрустация семян	0,073±0,08	12,05±0,72	
Контроль	0,078±0,1	15,8±0,8	кущение
Гель в почве	0,075±0,1	15,82±0,81	
Инкрустация семян	0,095±0,1	16,95±0,8	
Контроль	0,172±0,14	20,7±0,82	выход в трубку
Гель в почве	0,154±0,15	22,05±0,8	
Инкрустация семян	0,196±0,15	21,5±0,81	
Контроль	0,533±0,3	41,2±1,2	колошение
Гель в почве	0,659±0,33	40,2±1,3	
Инкрустация семян	0,749±0,32	43,35±1,3	
Контроль	0,997±0,28	74,9±0,9	цветение
Гель в почве	1,026±0,3	76,25±0,9	
Инкрустация семян	1,151±0,3	74,8±1	
Контроль	1,159±0,2	96,1±2,4	молочная спелость
Гель в почве	1,222±0,2	105,9±2,5	
инкрустация семян	1,149±0,2	94,8±2,4	
Контроль	0,667±0,4	103,6±1,3	восковая спелость
Гель в почве	1,078±0,5	106,9±1,4	
Инкрустация семян	0,749±0,4	103,8±1,3	
Контроль	0,624±0,4	103,3±1,1	полная спелость
Гель в почве	0,956 ±0,42	105,9±1,2	
Инкрустация семян	0,680±0,4	104,05±1,1	

Относительный показатель влияния гидрогеля на прирост биомассы пшеницы представлен на рисунке 6.1.2 (а, б).

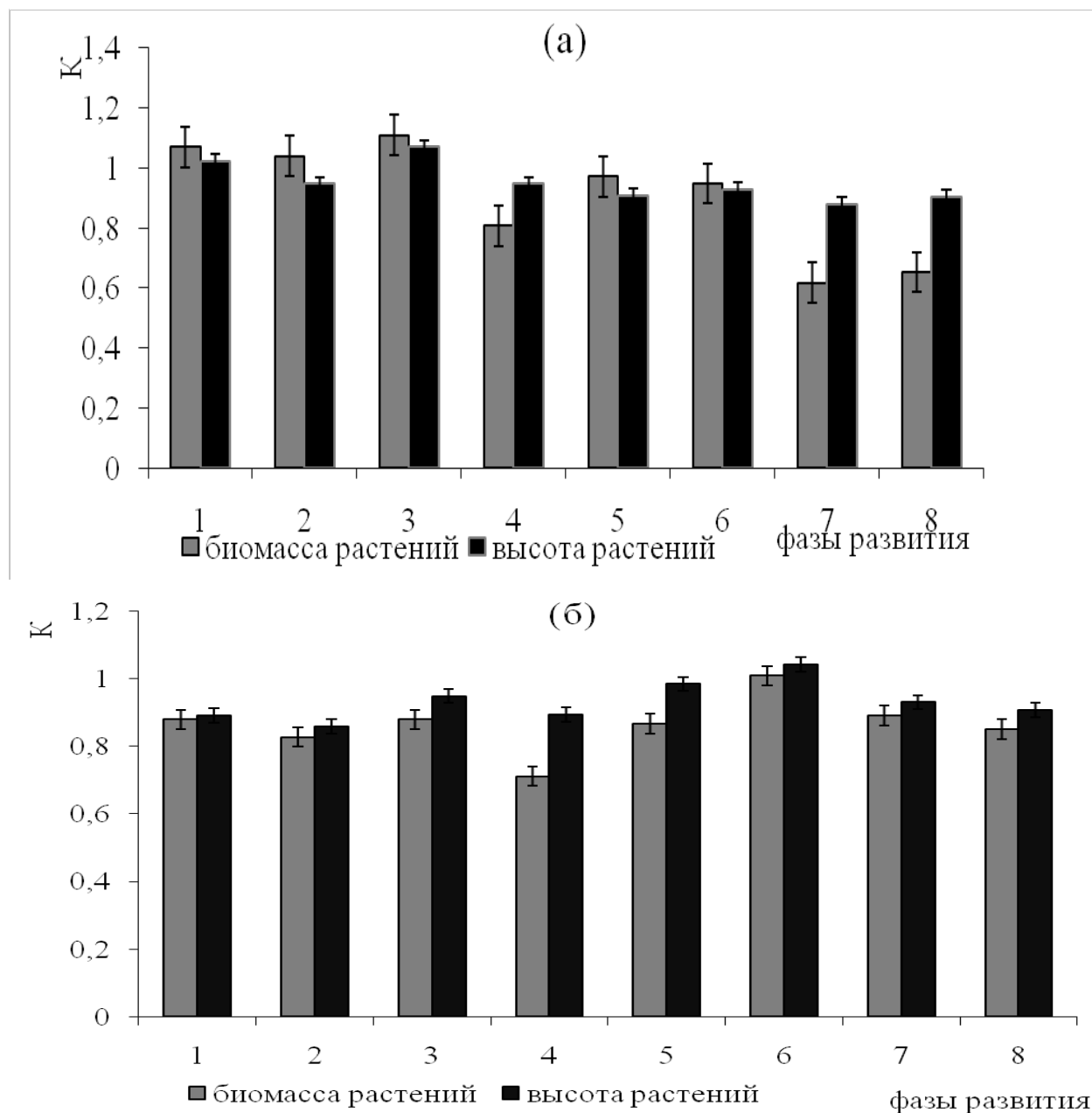


Рис. 6.1.2 - Относительный показатель влияния гидрогеля на прирост биомассы пшеницы. Приведены средние (M) и стандартные отклонения (\pm SD).

Обозначения: (а) – гидрогель, внесенный в почву; (б) – семена, инкрустированные гидрогелем.

Фазы развития: 1- всходы - 3-й лист; 2 - кущение; 3 - выход в трубку; 4 - колошение; 5 - цветение; 6 - молочная спелость; 7 - восковая спелость; 8 - полная спелость.

Относительный показатель: $K_h = \frac{h_\Gamma}{h_K}$; $K_m = \frac{m_\Gamma}{m_K}$,

где: h – высота растений; m – биомасса растений (фитомасса), индексы Г и К – опыт и контроль соответственно.

Гистограмма на рисунке 6.1.2 а, б показывает, что хорошее нарастание фитомассы отмечено во все фазы развития в вариантах с полимером. Незначительное снижение было отмечено в период колошения, когда происходило формирование колоса, и, естественно, в конце вегетации, когда физиологические процессы затухают. В таблице 6.1.2 показана влажность почвы в период вегетации яровой пшеницы.

Таблица 6.1.2 - Влажность почвы по фазам развития яровой пшеницы (МФ ФГБНУ АФИ - 2010г.).

Варианты опыта	Фаза развития	W, %	Осадки, мм
контроль	всходы — 3-й лист	9,9	30,1
гель в почве		12,5	
инкрустация семян		10,56	
контроль	кущение	13,7	57,2
гель в почве		15,6	
инкрустация семян		14,86	
контроль	выход в трубку	13,2	49,5
гель в почве		14,0	
инкрустация семян		12,85	
контроль	колошение	13,5	112,3
гель в почве		22,0	
инкрустация семян		15,4	
контроль	цветение	10,7	82,1
гель в почве		13,0	
инкрустация семян		10,9	
контроль	молочная спелость	10,9	47,0
гель в почве		11,35	
инкрустация семян		11,03	
контроль	восковая спелость	10,5	21,6
гель в почве		12,6	
инкрустация семян		9,5	
контроль	полная спелость	5,8	18,1
гель в почве		10,0	
инкрустация семян		9,2	

Из данных таблицы 6.1.2 видно, что в критические фазы развития яровой пшеницы (фаза кущения - колошение) влажность почвы в вариантах с гидрогелем

была выше, чем в контроле. Это способствовало лучшему развитию не только корневой системы, но и росту и развитию культуры. В таблице 6.1.3 представлена эвапотранспирация яровой пшеницы на контроле и в варианте с гидрогелем.

Таблица 6.1.3 - Эвапотранспирация и коэффициент развития пшеницы (МФ ФГБНУ АФИ, 2010 г)

Месяц	Май	Июнь			Июль			Август	
Декада	III	I	II	III	I	II	III	I	
контроль									
K_c	0,3	0,3	0,3	1,19	1,19	1,19	1,19	0,26	
ET_o	2,9	2,9	3,5	3,7	4,5	4,6	4,8	4,3	мм/дек
K_s	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	
ET_c	0,79	0,79	0,95	4,0	4,91	5,0	5,19	1,02	мм/дек
Осадки	46,4	32,6	25,0	89,1	29,7	15,1	14,2	11,8	мм
гидрогель									
K_c	0,3	0,3	0,3	1,19	1,19	1,19	1,19	0,26	
ET_o	2,9	2,9	3,5	3,7	4,5	4,6	4,8	4,3	мм/дек
ET_c	0,87	0,87	1,05	4,4	5,4	5,5	5,71	1,12	мм/дек
Осадки	46,4	32,6	25,0	89,1	29,7	15,1	14,2	11,8	мм

Примечание: K_c – коэффициент развития культуры; ET_o –эталонная эвапотранспирация; K_s - коэффициент водного стресса; ET_c –потенциальная

На рисунке 6.1.3 представлена потенциальная эвапотранспирация яровой пшеницы в период вегетации. В условиях водного стресса $K_s < 1$ (контроль). При отсутствии водного стресса $K_s = 1$ (гель в почве и инкрустация семян).

Наибольшее влияние гидрогеля отмечается в период от фазы кущения до фазы цветения и особенно в фазу трубкования (167 - 195 календарные дни). Это самые критические фазы в развитии яровой пшеницы, когда происходит формирование урожая, и недостаток влаги в указанные периоды существенно сказывается на урожайности культуры (Данилова, 2016).

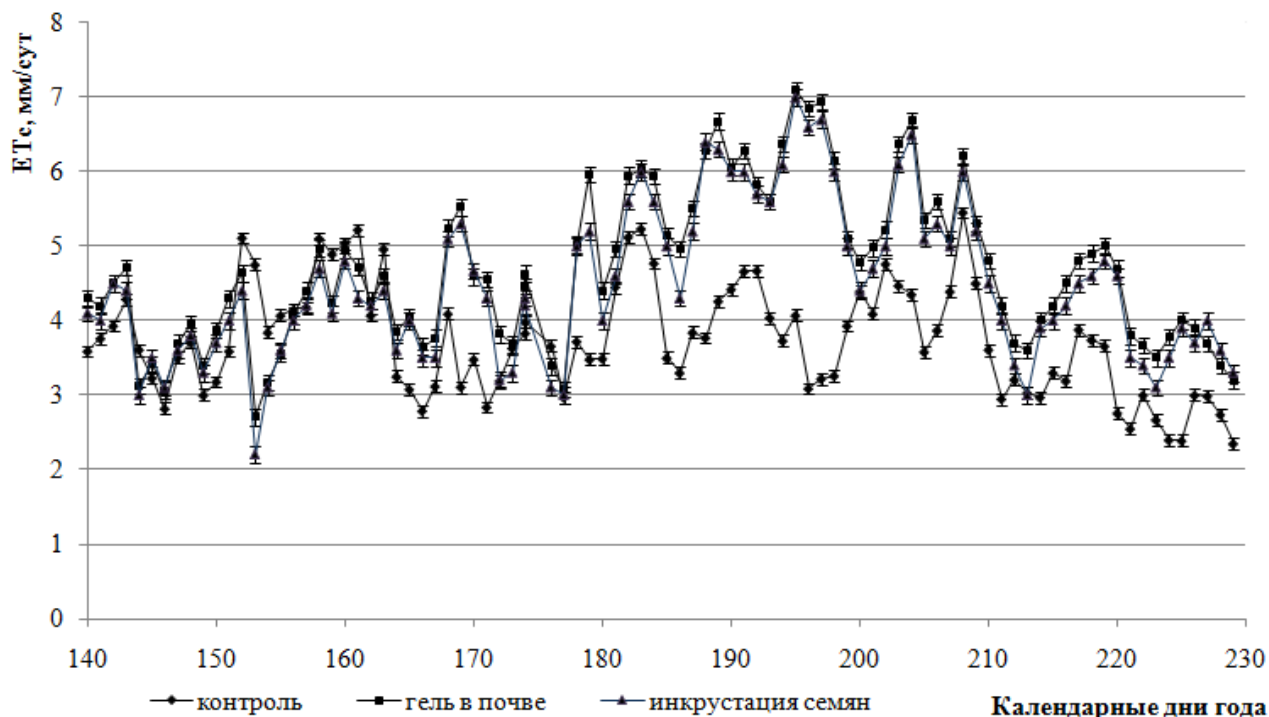


Рис.6.1.3 - Потенциальная эвапотранспирация яровой пшеницы в период вегетации.

«Гистограмма (рис. 6.1.3) показывает, что эвапотранспирация яровой пшеницы в период вегетации происходила более интенсивно в варианте с гидрогелем, внесенным в почву, и в варианте с инкрустированными гелем семенами, чем в контроле. Это объясняется тем, что в вариантах с гидрогелем доступной влаги было достаточно для транспирации. Соответственно, и урожайность культуры в данных вариантах была более высокой, чем в контроле. Результаты статистического анализа эвапотранспирации яровой пшеницы в период вегетации показали достоверные различия между эвапотранспирацией в контроле и в вариантах с гидрогелем, внесенным в почву, и с семенами, инкрустированными гидрогелем ($p < 0,001$). Однако между вариантами с гидрогелем, внесенным в почву, и с инкрустированными гидрогелем семенами существенных различий не обнаружено ($p < 0,39$). Поэтому более экономически оправданным и эффективным агроприемом является посев инкрустированными семенами, чем внесение гидрогеля в почву»¹. На рисунке 6.1.4 показаны колосья

¹ Данилова, Т.Н. Регулирование водного режима дерново-подзолистых почв и влагообеспеченности растений при помощи водопоглощающих полимеров /Т.Н. Данилова // Агрофизика. - 2016. - № 1. - С. 8 - 16.

яровой пшеницы в зависимости от способов внесения гидрогеля.

а)



б)



в)



Рис. 6.1.4 - Колосья пшеницы: а - контроль; б – гель в почве; в – инкрустация семян.

Анализ рисунка 6.1.4, показал, что колосья пшеницы в варианте с Ритин -10 визуально отличаются от контроля, они крупнее. Данные по урожайности подтверждают это (таблица 6.1.4).

Таблица 6.1.4 - Урожайность яровой пшеницы сорт «Эстер», ц/га (по Даниловой, 2016)

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	
	I	II	III	среднее	ц/га	%
Контроль	25,3	23,8	26,3	25,1	-	-
Гель в почве	26,8	28,2	28,8	27,9	2,8	11,2
Инкрустация семян	27,1	27,9	28,2	27,7	2,6	10,4
НСР ₀₅ (А)	2,1 ц/га					
НСР ₀₅ (В)	1,15 ц/га					

Наиболее высокая прибавка урожая, 11,2%, была отмечена в варианте с гидрогелем, внесенным в почву. Посев инкрустированными семенами также привел к повышению урожайности на 10,4 % по сравнению с контролем (Данилова, 2016). В таблице 6.1.5 представлены результаты химического анализа колоса и соломы пшеницы.

Показатели питательных элементов определены в химической лаборатории ФГБНУ АФИ по соответствующим ГОСТам: азот, сырой протеин – ГОСТ 13496.4-93; фосфор – ГОСТ 26657-97; калий – ГОСТ 30504-97; кальций, магний – ГОСТ 30502-97.

Таблица 6.1.5 – Содержание основных питательных элементов в растительных образцах пшеницы (сорт Эстер, 2010 г)

Варианты опыта	Показатели			
	Азот, %	Сырой протеин, %	Фосфор, %	Калий, %
<i>Колос (молочно-восковая спелость)</i>				
Контроль	0,54±0,1	3,38±0,3	0,19±0,1	1,76±0,5
Гель в почве	0,54±0,1	3,38±0,3	0,22±0,1	1,22±0,4
Инкрустация семян	0,58±0,2	3,62±0,4	0,22±0,1	1,10±0,2
<i>Солома (молочно-восковая спелость)</i>				
Контроль	0,43±0,1	2,69±0,1	0,07±0,1	0,42±0,1
Гель в почве	0,43±0,1	2,69±0,1	0,09±0,1	0,43±0,1
Инкрустация семян	0,44±0,1	2,75±0,2	0,11±0,1	0,44±0,1
<i>Колос (полная спелость)</i>				
Контроль	1,10±0,2	6,88±0,3	0,11±0,1	0,55±0,1
Гель в почве	1,15±0,2	7,19±0,4	0,16±0,2	0,55±0,2
Инкрустация семян	1,15±0,2	7,19±0,4	0,18±0,1	0,55±0,1
<i>Солома (полная спелость)</i>				
Контроль	0,54±0,1	3,38±0,5	0,15±0,09	0,51±0,1
Гель в почве	0,44±0,1	2,75±0,6	0,15±0,09	0,49±0,1
Инкрустация семян	0,43±0,1	2,69±0,5	0,15±0,1	0,47±0,1

Из данных таблицы 6.1.5 видно, что в вариантах с гидрогелем основные показатели (азот, сырой протеин) в фазу молочно-восковой и полной спелости в колосе превышают эти же показатели на контроле. В соломе отмечается снижение содержания азота и сырого протеина в фазу полной спелости в вариантах с гидрогелем. В таблице 6.1.6 представлены результаты химического анализа зерна пшеницы по вариантам опыта.

Таблица 6.1.6 – Анализ зерна пшеницы, сорт Эстер (МФ АФИ, 2010 г)

Варианты опыта	Показатели					
	Азот, %	Сырой протеин, %	Фосфор, %	Калий, %	Кальций, %	Магний, %
Контроль	0,53±0,2	3,31±0,6	0,16±0,1	1,10±0,2	0,42±0,2	0,17±0,1
Гель в почве	0,68±0,3	4,25±0,7	0,19±0,1	1,08±0,2	0,54±0,2	0,17±0,1
Инкрустация семян	0,69±0,2	4,31±0,6	0,16±0,1	1,20±0,3	0,50±0,2	0,17±0,1

Анализируя данные таблицы 6.1.6, можно сказать, что влияние гидрогеля сказалось на такие показатели зерна, как азот, сырой протеин, калий и кальций. По сравнению с контролем эти показатели были выше, особенно в варианте с инкрустированными гелем семенами.

Таким образом, размещение геля в корнеобитаемой зоне почвы и инкрустирование семян увеличили прирост биомассы растений и повысили продуктивность культуры по сравнению с контролем. Эвапотранспирация в вариантах с гидрогелем происходила более интенсивно, что положительно влияло на рост и развитие яровой пшеницы (Данилова, 2016).

6.2 Водообеспечение яровой пшеницы под действием геля на фоне азотных удобрений

Присутствие гидрогеля в корнеобитаемом слое существенно влияет на прирост биомассы. В литературе есть сведения (Ханин, 2010), что использование полимера Праестола по фону минеральных удобрений повысило число продуктивных стеблей на 16,6 - 19,0 % по отношению к контролю. Наибольшее влияние гидрогеля наблюдалось в критические фазы вегетационного периода, т.е. во время кущения - трубкования, когда для формирования корневой системы и роста биомассы требовалось достаточное количество влаги (Тибирьков, Филин, 2012).

Изучение действия гидрогеля на фоне азотных удобрений (МФ ФГБНУ АФИ, 2011 г) показало, что биомасса растений яровой пшеницы сорта Эстер увеличивалась в течение вегетационного периода, особенно в вариантах, где гидрогель вносился на фоне азотных удобрений с дозами N_{90} , N_{120} , N_{150} . Результаты представлены в таблице 6.2.1.

Таблица 6.2.1 – Влияние гидрогеля на прирост биомассы и высоту растений пшеницы на фоне азотных удобрений

Варианты опыта	Фаза развития							
	кущение	выход трубку	вколошение	цветение	цветение-налив	МОЛОЧНАЯ СПЕЛОСТЬ	МОЛОЧНО-ВОСКОВАЯ СПЕЛОСТЬ	ВОСКОВАЯ-ПОЛНАЯ СПЕЛОСТЬ
<i>Биомасса растений яровой пшеницы, кг/м²</i>								
N ₀ +гель	0,67±0,2	1,22±0,1	1,35±0,8	1,78±0,4	2,42±0,8	2,56±0,5	1,65±0,3	1,29±0,4
N ₀ б/геля	0,65±0,2	1,19±0,1	1,26±0,8	1,49±0,3	2,09±0,7	2,21±0,5	1,44±0,3	1,76±0,4
N ₆₀ +гель	0,99±0,2	2,19±0,4	2,67±0,6	3,29±1	3,69±0,8	3,11±0,4	2,09±0,2	2,32±0,5
N ₆₀ б/геля	0,93±0,1	1,87±0,4	1,95±0,8	2,14±0,9	2,53±0,8	2,87±0,5	2,02±0,2	2,04±0,5
N ₉₀ +гель	1,42±0,2	2,8±0,3	2,8±0,7	4,39±0,8	4,12±0,8	5,6±0,95	3,33±0,4	2,43±0,5
N ₉₀ б/геля	1,40±0,2	2,59±0,3	2,77±0,6	2,31±1	2,49±0,7	4,52±0,9	3,26±0,3	1,92±0,7
N ₁₂₀ +гель	1,76±0,1	2,8±0,3	3,59±0,5	4,04±0,6	4,16±0,8	5,34±0,9	3,72±0,4	2,89±0,7
N ₁₂₀ б/геля	1,76±0,2	2,77±0,3	3,48±0,6	3,36±0,7	3,75±0,7	3,58±0,4	3,49±0,5	3,04±0,5
N ₁₅₀ +гель	1,07±0,2	2,77±0,2	4,16±0,6	4,49±0,7	4,03±0,8	4,07±0,8	3,74±0,7	3,56±0,6
N ₁₅₀ б/геля	0,98±0,2	2,83±0,3	3,57±0,5	3,65±0,8	3,26±0,8	3,32±0,4	2,67±0,7	2,85±0,5
<i>Высота растений яровой пшеницы, см.</i>								
N ₀ +гель	27,8±1,2	36,7±1,3	46,0±1,6	52,1±1,4	58,8±1	62,6±1,2	69,0±0,9	70,0±0,9
N ₀ б/геля	33,0±0,9	37,3±1,2	50,7±1,6	54,5±1,5	64,0±1,3	63,8±1,3	75,1±1,7	75,2±1
N ₆₀ +гель	32,9±0,9	38,2±1,3	49,6±1,6	56,3±1,5	62,3±1,4	65,7±1,2	70,3±0,9	70,5±1
N ₆₀ б/геля	34,5±0,9	40,6±1,6	52,4±1,7	62,5±2	66,2±1,4	72,5±1,6	77,6±1,8	78,0±1,3
N ₉₀ +гель	35,0±1,1	42,7±1,7	53,4±1,6	59,6±1,9	72,5±1,8	74,5±1,8	78,2±1,7	78,4±1,4
N ₉₀ б/геля	36,2±1	45,2±1,7	57,2±1,8	67,8±2,1	77,5±1,9	80,1±1,8	81,2±1,8	81,6±2
N ₁₂₀ +гель	37,0±0,9	44,8±1,2	58,9±1,7	65,7±2	77,1±1,8	82,6±1,5	84,5±1,7	85,0±2,5
N ₁₂₀ б/геля	38,1±1	48,4±1,3	60,3±1,9	71,5±1,9	83,4±2,2	86,6±1,6	88,9±1,3	90,0±2,6
N ₁₅₀ +гель	36,2±1,2	46,3±1,2	61,3±1,8	68,4±2,1	79,3±2	85,1±1,5	87,3±1,4	87,5±2,1
N ₁₅₀ б/геля	39,2±1,2	49,6±1,3	62,6±1,9	75,1±2	89,0±2,3	87,8±1,6	90,9±1,3	100,0±2

Во все фазы развития наблюдался усиленный рост растений с хорошей густотой стояния. Проведенные фенологические и биометрические наблюдения показали, что биомасса растений (по сравнению с контролем) достоверно ($p < 0,001$) увеличилась в период вегетации. Существенный прирост биомассы отмечен в вариантах, где гидрогель применялся совместно с азотными удобрениями в дозах N_{90} , N_{120} (Данилова, Табынбаева, 2019). На рисунке 6.2.1 показан прирост фитомассы яровой пшеницы.

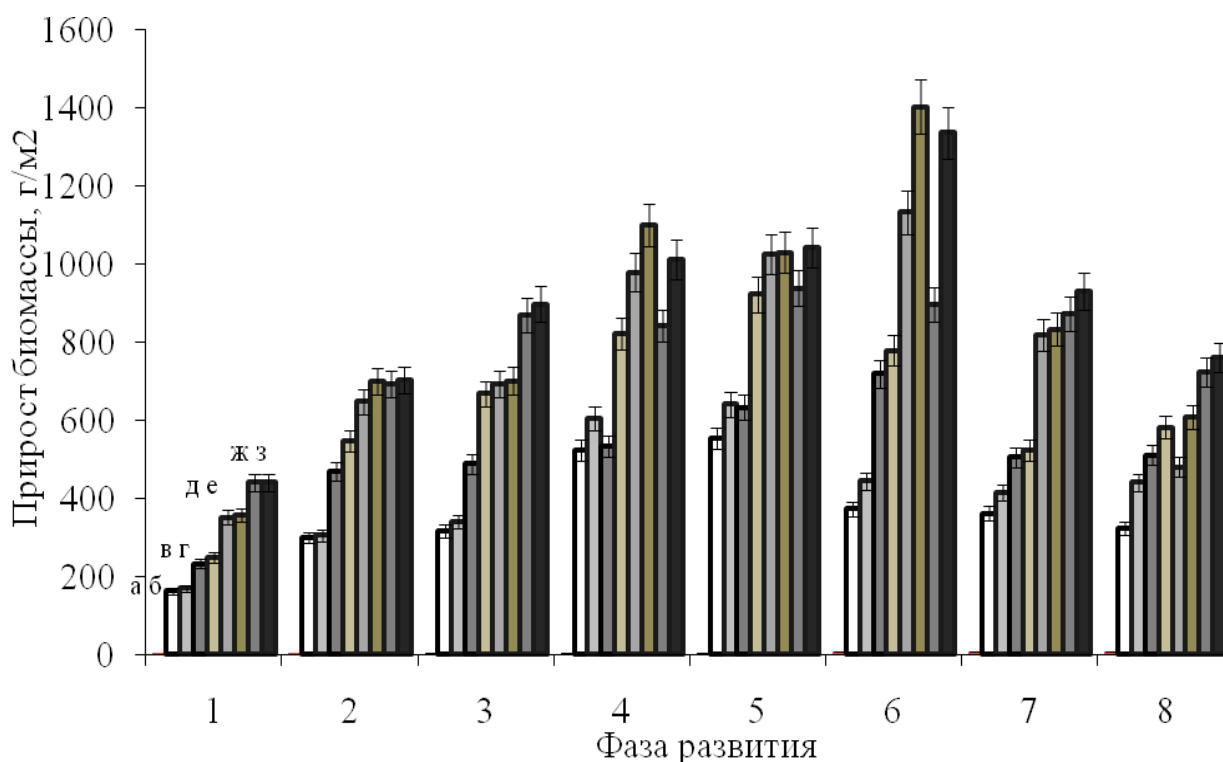


Рис. 6.2.1 - Динамика накопления биомассы у яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Эстер под влиянием гидрогеля Ритин-10 (400 кг/га) и азотных удобрений: а — контроль 1, б — контроль 2 (контроль 1 + гель); в — N_{60} , г — N_{60} + гель; д — N_{90} ; е — N_{90} + гель; ж — N_{120} , з — N_{120} + гель; фазы развития: 1 — кущение; 2 — выход в трубку; 3 — колошение; 4 — цветение; 5 — цветение—налив; 6 — молочная спелость; 7 — восковая спелость; 8 — полная спелость. Приведены средние (M) и стандартные отклонения ($\pm SD$) (Данилова, Табынбаева, 2019).

Гидрогель наиболее эффективен в стрессовых условиях роста и развития растений (высокая температура, дефицит влаги в почве) (Tue et al., 1985; Liyuan Yan, 2013; Li et al., 2014; Табынбаева и др., 2017). В таблице 6.2.2 представлены данные о влажности почвы в разные вегетационные периоды.

Таблица 6.2.2 - Влажность почвы по фазам развития, %

Варианты/ фаза	кущен ие	выход в трубку	колоше ние	Δ^*	цвете -ние	молоч- ная спелость	молочно- восковая спелость	восковая -полная спелость
N ₀ +гель	14,45	21,13	14,64	1,34	13,3	16,45	20,48	20,77
N ₀ б/геля	11,82	17,1	14,08	2,72	11,36	16,09	19,56	18,34
N ₆₀ +гель	21,65	22,11	16,72	3,12	13,6	16,28	20,77	17,86
N ₆₀ б/геля	8,6	11,51	14,94	2,84	12,1	15,2	20,48	17,44
N ₉₀ +гель	19,33	23,85	18,48	3,18	15,3	18,76	21,45	19,33
N ₉₀ б/геля	9,9	13,14	16,18	1,38	14,8	17,86	21,39	18,76
N ₁₂₀ +гель	31,6	22,9	21,2	2,5	18,7	17,4	20,52	18,65
N ₁₂₀ б/геля	14,94	16,98	18,62	2,8	15,82	17,4	18,82	17,92
N ₁₅₀ +гель	23,37	20,7	21,82	-1,18	23,0	17,65	23,08	21,65
N ₁₅₀ б/геля	6,6	19,56	19,97	-0,99	20,96	17,4	22,56	18,96

Δ^* - потери влаги за период

«Результаты анализа влажности почвы в разные периоды вегетации свидетельствуют, что гидрогель достоверно ($p < 0,05$) повышал этот показатель по сравнению с контролем. Содержание влаги в вариантах, когда азотные удобрения применялись в сочетании с гидрогелем, варьировало от 19,33 до 31,60 %, в присутствии азотных удобрений без гидрогеля — от 13,14 до 17,40 %. В контроле без гидрогеля влажность почвы в период вегетации находилась в пределах от 11,36 до 17,10 %. Следовательно, влаги, удержанной гидрогелем, оказалось достаточно для использования на транспирацию, что положительно влияло на рост, развитие и продуктивность растений» (Данилова, Табынбаева, 2019, с.80). В таблице 6.2.3 показана продолжительность вегетационного периода яровой пшеницы на МФ ФГБНУ АФИ, в таблице 6.2.4 - зависимость эвапотранспирации сельскохозяйственных культур от гидрогеля и от дозы азотных удобрений. В условиях водного стресса $K_s < 1$ (без геля). При отсутствии водного стресса $K_s = 1$ (гель + N₁₂₀).

Таблица 6.2.3 - Продолжительность вегетационного периода культуры

Культура	Начальный период (от посева до всходов)	Период роста (нарастание биомассы)	Середина периода роста и развития	Конечный период развития	Суммарный вегетационный период
Пшеница сорт «Эстер»	15	25	50	30	120 (Табл.)
	25	23	36	14	108 (МФ ГНУ АФИ)

Таблица 6.2.4 - Зависимость эвапотранспирации от коэффициента культуры (яровая пшеница), (МФ ФГБНУ АФИ, 2011г.).

Месяц Декада	Май	Июнь			Июль			Август		
	Ш	І	ІІ	ІІІ	І	ІІ	ІІІ	І	ІІ	
пшеница - N₁₂₀ б/гель										
K _c	0,3	1,16	1,13	1,13	1,14	1,11	1,11	0,22	0,20	
K _s	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	
ET _o	45,03	48,99	40,27	43,04	56,09	52,26	63,23	44,63	38,78	мм/дек
ET _c	9,32	39,21	31,4	33,56	44,12	40,79	48,43	6,77	5,35	мм/дек
Осадки	24,9	0	40,8	15,1	0,6	39,0	77,3	3,2	67,2	мм
пшеница — N₁₂₀ +гель										
K _c	0,3	1,17	1,14	1,14	1,14	1,12	1,12	0,22	0,21	
ET _o	45,03	48,99	40,27	43,04	56,09	52,26	63,23	44,63	38,78	мм/дек
ET _c	13,5	57,31	45,9	49,06	63,94	58,53	70,82	9,81	8,14	мм/дек
Осадки	24,9	0	40,8	15,1	0,6	39,0	77,3	3,2	67,2	мм

Примечание: K_c – коэффициент развития культуры; ET_o –эталонная эвапотранспирация; K_s- коэффициент водного стресса; ET_c –потенциальная

На рисунке 6.2.2 показана потенциальная эвапотранспирация яровой пшеницы на фоне азотных удобрений с гидрогелем и без него.

Эвапотранспирация яровой пшеницы в варианте с гидрогелем и дозой азотных удобрений (N₁₂₀) протекала более интенсивно, чем без гидрогеля, поскольку наличие доступной влаги в гидрогеле способствовало более рациональному ее использованию для испарения.

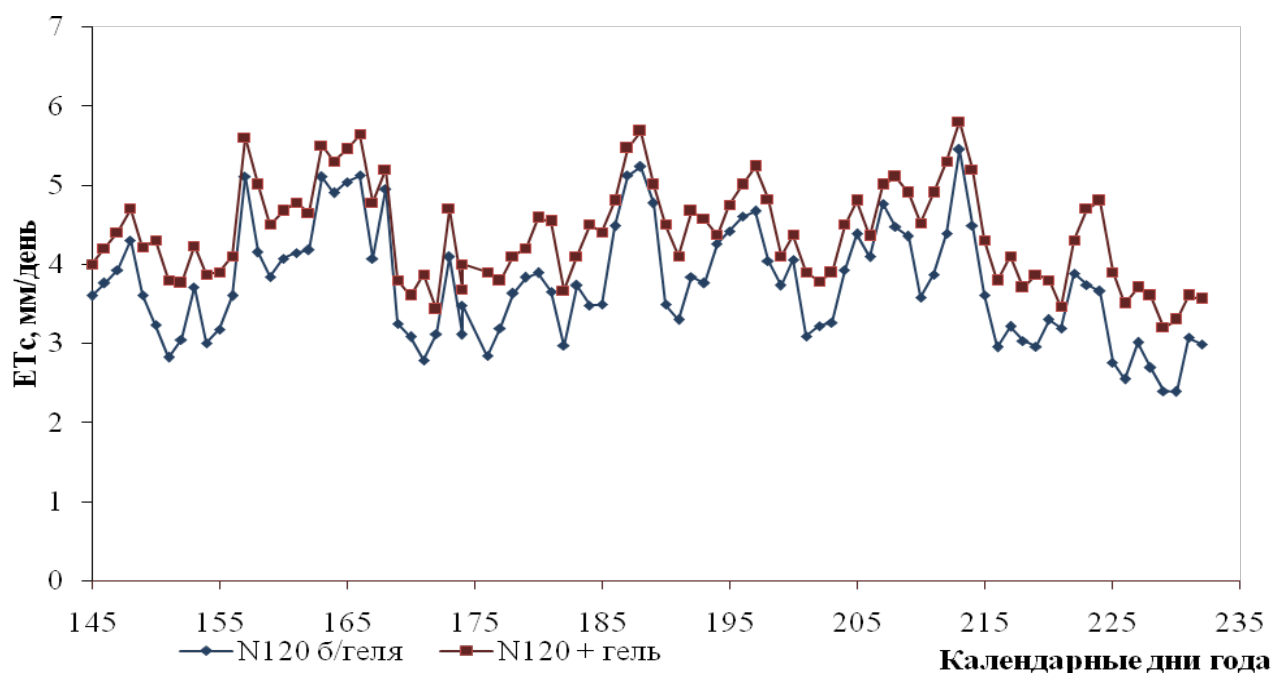


Рис.6.2.2 - Потенциальная эвапотранспирация яровой пшеницы на фоне азотных удобрений с дозой 120 кг/га.

В таблице 6.2.5 представлена урожайность яровой пшеницы в зависимости от дозы азотных удобрений.

Таблица 6.2.5 - Урожайность яровой пшеницы, сорт "Эстер", ц/га

Варианты опыта	Урожайность, ц/га			Прибавка к контролю	
	I	II	Среднее	ц/га	%
N ₀ б/геля	25,3	21,23	23,26	-	-
N ₀ +геля	25,7	28,21	26,96	3,7	15,9
N ₆₀ б/геля	30,5	31,39	30,94	7,68	33,02
N ₆₀ +геля	33,23	32,8	33,01	9,75	41,9
N ₉₀ б/геля	30,5	38,8	34,65	11,39	48,9
N ₉₀ +геля	34,2	37,8	36,5	13,24	56,9
N ₁₂₀ б/геля	31,2	34,7	32,95	9,69	41,6
N ₁₂₀ +геля	35,7	36,8	36,25	12,99	55,8
N ₁₅₀ б/геля	35,9	36,93	36,41	13,15	56,5
N ₁₅₀ +геля	38,5	41,54	40,02	16,76	72,05
НСР ₀₅ (AB)	2,51 ц/га				
НСР ₀₅ (A)	1,12 ц/га				
НСР ₀₅ (B)	1,78 ц/га				

Доля влияния фактора на фактическую урожайность яровой пшеницы сорта

«Эстер»:

повторения - 1,6% * - незначительно

случайные - 5,23%

фактор А (гель) - 6,70% - влияет, но меньше, чем удобрения

фактор В (N) - 84,84% - значимо

АВ - взаимодействие факторов - 1,63% - * - не значимо

Р - точность опыта - 2,53%

На рисунке 6.2.3 представлено графическое изображение зависимости урожайности яровой пшеницы от гидрогеля и азотных удобрений.

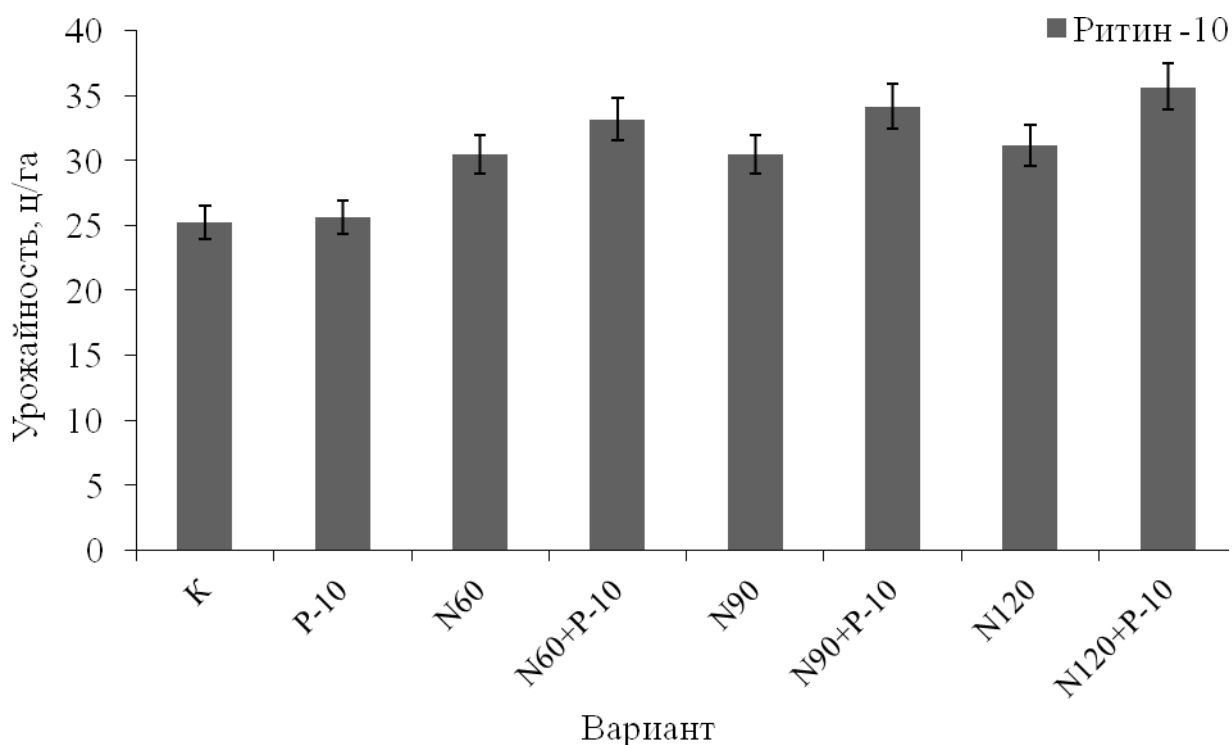


Рис. 6.2.3 - Урожайность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), сорт Эстер при применении гидрогеля и азотных удобрений (Данилова, Табынбаева, 2019)

К — контроль (без добавок), 1 — Ритин-10 (400 кг/га), 2 — N₆₀, 3 — N₆₀ + Ритин-10 (400 кг/га), 4 — N₉₀, 5 — N₉₀ + Ритин-10 (400 кг/га), 6 — N₁₂₀, 7 — N₁₂₀ + Ритин-10 (400 кг/га). Приведены средние (M) и стандартные отклонения (\pm SD) (Данилова, Табынбаева, 2019).

Обработка гидрогелем Ритин-10 привела к достоверному ($p < 0,001$) росту урожайности зерна яровой пшеницы (рис. 6.2.3) (Данилова с соавт., 2019). Этот

показатель в вариантах с гидрогелем в сочетании с азотными удобрениями колебался от 33,23 до 35,70 ц/га. Самый высокий урожай получили в варианте N₁₂₀ + Ритин-10 (урожайность зерна была на 10 ц/га больше, чем в контроле без удобрений и без геля). Прибавка урожая по вариантам составила: для N₆₀ + Ритин-10 — 20,6 %, для N₉₀ + Ритин-10 — 33,0 %, для N₁₂₀ + Ритин-10 — 38,9 % по сравнению с контролем (Данилова с соавт., 2019). Однако статистическая обработка данных показала, что влияние азотных удобрений было более значительным, чем действие гидрогеля.

Таким образом, проведенные исследования по оценке влияния гидрогеля Ритин-10 на водообеспеченность посевов пшеницы показали, что при его внесении в предпосевной период улучшается развитие корневой системы в фазу кущения. Выявлено, что гидрогель аккумулирует достаточное количество почвенной влаги для нормального роста и развития растений пшеницы в засушливые периоды вегетации, что способствует повышению урожайности культуры (Данилова, Табынбаева, 2019).

6.3 Урожайность овощных и пропашных культур под действием полимерных гелей

Изучение влияния гидрогелей на водообеспечение овощных и пропашных культур в технологическом цикле «посев - товарная продукция» выполнено в полевом мелкоделяночном эксперименте в 2010 - 2011 гг (Данилова, 2018).

«Белокочанная капуста (*Brassica oleracea L.*) весьма требовательна к влаге. Хороший рост и формирование высокого урожая возможны только при достаточном водоснабжении. Особенно чувствительна капуста к недостатку влаги в первое время после высадки рассады в открытый грунт, а также в фазе активного роста и формирования кочанов. Перед посадкой рассады влажность почвы была на уровне 14-15% НВ. В течение вегетации, в период активного роста, влажность почвы на контроле поддерживалась в пределах 12-13,2%; в варианте с гидрогелем, внесением в почву - 15,4 - 17,7 %; и в варианте обработка корневой системы раствором гидрогеля - 13,5-15,5 % (Данилова, 2018, с. 50). На рисунке

6.3.1 показана рассада капусты, сорт Куизор по вариантам опыта.

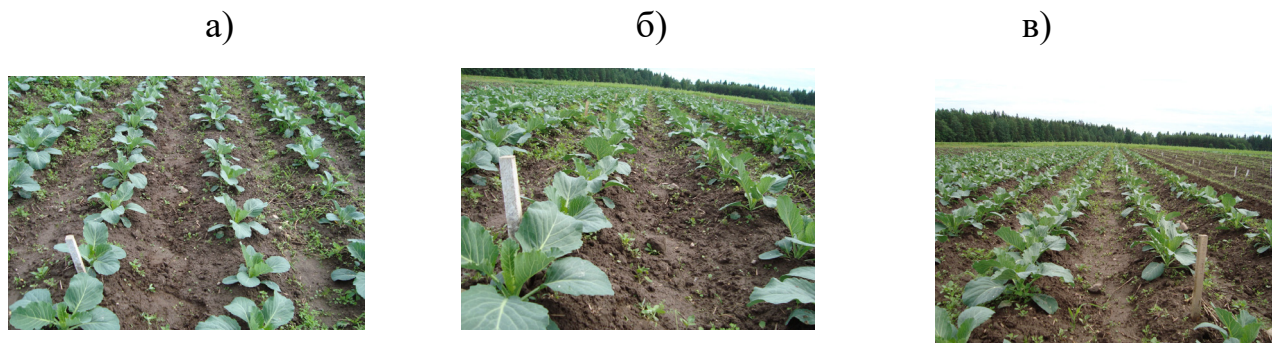


Рис.6.3.1 - Рассада капусты: а) - контроль; б) - корневая система капусты, обработанная гелем; в) - гель, внесенный в почву (Данилова, 2018).

«Повышение температуры выше 25°C отрицательно сказывается на росте и развитии растений, значительно уменьшая их величину. Кочанообразование у капусты ухудшается, повышается заболеваемость растений. В 2010 году кочанообразование совпало с засушливым периодом, когда температура воздуха была 28-32° С, влажность воздуха всего 52-54%. Влажность почвы составила: на контроле -7,2 %; в варианте с гидрогелем, внесенным в почву - 8,2%; в варианте обработка корневой системы раствором гидрогеля - 7,0 %» (Данилова, 2018, с. 50). В таблице 6.2.1 представлена урожайность капусты в зависимости от способов внесения гидрогеля.

Таблица 6.3.1 - Влияние гидрогеля на урожайность капусты (*Brassica oleracea* L.), сорт «Куизор» (Данилова, 2018).

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю		
	I	II	III	среднее	ц/га	%	
контроль	390,5	370	400	386,8	-	-	
Гель в почве	386	428,5	364	392,8	6,0	1,5	
Обработка корней гелем	411,5	458	351,5	407,0	20,2	5,2	
НСР ₀₅	80,31 ц/га						

«Высокая температура и низкая влажность воздуха отрицательно сказались на урожайности белокочанной капусты, было много пораженных гнилью кочанов. Анализируя данные таблицы 6.2.1, можно сказать, что гидрогель не проявил себя как водоудерживающая добавка, в период формирования кочана капуста

нуждалась в дополнительном поливе. Урожайность в вариантах с гидрогелем практически не отличалась от контроля» (Данилова, 2018, с.50-51).

«Морковь (*Daucus carota L.*), не очень требовательна к влаге. Но для нормального роста и развития она нуждается в бесперебойном влагообеспечении. Результаты анализа влажности почвы показали, что при посеве содержание влаги в почве было 12,3-12,8 %. Растение испытывает большую потребность во влаге в период роста корнеплода, т.е. после линьки корня. В эту фазу сильно увеличивается листовая поверхность и повышается испарение. Влажность почвы в варианте с гидрогелем, внесенным в почву находилась в пределах 14- 16,5 %, в варианте с семенами, инкрустированными гелем – 13 – 14 %, на контроле – 10-11%» (Данилова, 2018, с. 51). На рисунке 6.3.2 представлены образцы растений моркови в фазе "линька корня" в зависимости от способов внесения гидрогеля.

а)



б)



в)



Рис.6.3.2 - Растения моркови в фазу «линька корня»: а) - контроль; б) - гель, внесенный в почву в) посев инкрустированными гелем семенами

На рисунке 6.3.3 представлены растения моркови в стадии «пучковая продукция».

а)



б)



в)



Рис. 6.3.3 - Растения моркови (пучковая продукция): а) - контроль; б) - гель в почве; в) - инкрустация семян (Данилова, 2018).

На рисунке 6.3.3 (б) хорошо заметно, что в варианте с гидрогелем, внесенным в почву корнеплоды моркови имеют разветвление. Избыток влаги в

этот период привел к разветвлению, а в дальнейшем и к растрескиванию корнеплода. При уборке урожая оказалось очень много нестандартных корнеплодов. Данные по урожайности моркови представлены в таблице 6.3.2.

Таблица 6.3.2 – Влияние гидрогеля на урожайность моркови (*Daucus carota* L.), сорт Самсон (Данилова, 2018).

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	
	I	II	III	среднее	ц /га	%
Контроль	530,5	588,6	586,6	568,5	-	-
Гель в почве	517,6	485,7	520,7	508,0	- 60,5	-10,7
Инкрустация семян	682,8	645,7	658,2	662,2	93,7	16,5
НСР ₀₅	74,5 ц/га					

«Для картофеля (*Solanum tuberosum* L.) содержание влаги в почве существенно в период клубнеобразования. Образование клубней начинается в конце бутонизации – начале цветения. Это критический период водопотребления. Недостаток влаги в почве в это время приводит к сильному снижению урожая. Наиболее благоприятные условия для образования клубней создаются при влажности почвы 70 — 80 % от ППВ, но при влажности свыше 85% процесс роста клубней приостанавливается. В фазу цветения влажность почвы и на контроле, и в вариантах с гидрогелем была низкой -11-12 %, это также сказалось на урожайности. В дальнейшем выпало много осадков - 335,7 мм и влажность почвы увеличилась: на контроле до 18 %; в варианте с гидрогелем с дозой внесения 70 кг /га – 17-20 %; с дозой внесения 100 кг/ га – 20 -21,7 %» (Данилова, 2018, с.52). На рисунке 6.3.4 показаны набухшие гранулы гидрогеля, находящиеся на корневой системе картофеля.



Рис.6.3.4 - Гидрогель на корневой системе картофеля (*Solanum tuberosum* L.), (Данилова, 2018).

В таблице 6.3.3 представлена урожайность картофеля, сорта Скарб по вариантам опыта.

Таблица 6.3.3 – Влияние гидрогеля на урожайность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорт Скарб (Данилова, 2018).

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	
	I	II	III	среднее	ц/га	%
Контроль	620	460	610	560	-	-
Доза 70 кг/га	600	550	500	550	-10	- 1,8
Доза 100 кг/га	420	490	560	490	-70	- 12,5
НСР ₀₅	66,5 ц/га					

Анализируя данные таблицы 6.3.3 можно сказать, что в вариантах с гелем, внесенным в дозах 70 кг/га и 100 кг/га, оказался избыток влаги, что плохо отразилось на урожае. Внесение гидрогеля в дозе 100 кг/га способствовало снижению урожая на 12,5 % по отношению к контролю. Следовательно, «оптимальной дозой гидрогеля, необходимой для хорошего роста и развития растений картофеля в критические периоды вегетации, и обеспечения образования и роста клубней в период клубнеобразования, является доза гидрогеля меньше, чем 70 кг/га» (Данилова, 2018, с.52).

Таким образом, «на овощных культурах было выявлено, что рассада капусты лучше приживается, если при посадке корневая система погружается в насыщенный раствор геля. В эксперименте с морковью, лучшим был вариант с инкрустированными гидрогелем семенами. Наблюдалось раннее появление всходов по сравнению с контролем и с вариантом внесения геля в почву. В варианте, где гель был внесен в почву, наблюдали менее дружное появление всходов (были выпадения растений) и в онтогенезе наблюдалось разветвление корнеплода и даже его растрескивание. Поэтому, по причине избыточного поглощения влаги корневыми волосками желательнее овощные культуры (морковь, свекла) высевать инкрустированными семенами. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности испытываемых типов гидрогелей, что проявляется: в улучшении водно-физических свойств почвы, внесение гидрогеля повышает всхожесть семян, увеличивает темпы развития растений, их устойчивость к дефициту влаги и действию засухи, приводит к росту биологического урожая» (Данилова, 2018, с. 52-53).

6.4 Оценка доступности для растений влаги, удержанной гидрогелем в период вегетации и относительные показатели эффективности применения гидрогеля в полевом севообороте

Водообеспечение сельскохозяйственных культур при применении гидрогелей изучали в полевом севообороте (рисунок 6.4.1). Схема чередования культур (1 – вторая ротация зерно - травяного севооборота): 2012 г. – ячмень с подсевом многолетних трав; 2013 г. – многолетние травы первого года пользования; 2014 г. – многолетние травы второго года пользования; 2015 г. – озимая рожь; 2016 г. – ячмень (Данилова, Оленченко, 2018).



Рис.6.4.1 - Полевой севооборот (ячмень с подсевом многолетних трав).

На рисунке 6.4.2 показаны посевы ячменя с гидрогелем и контрольный вариант в фазе кущения.

а)



б)



Рис.6.4.2 - Посевы ячменя: а) с гидрогелем; б) без гидрогеля

На рисунке 6.4.2 видно, что в контрольном варианте посев ячменя более изреженный. Растения менее кустистые, отстают в росте и развитии. Наилучшее развитие растений отмечено на участках опыта при дозах геля 200 кг/га и 300 кг/га; в этих вариантах фаза кущения начиналась раньше. Впоследствии

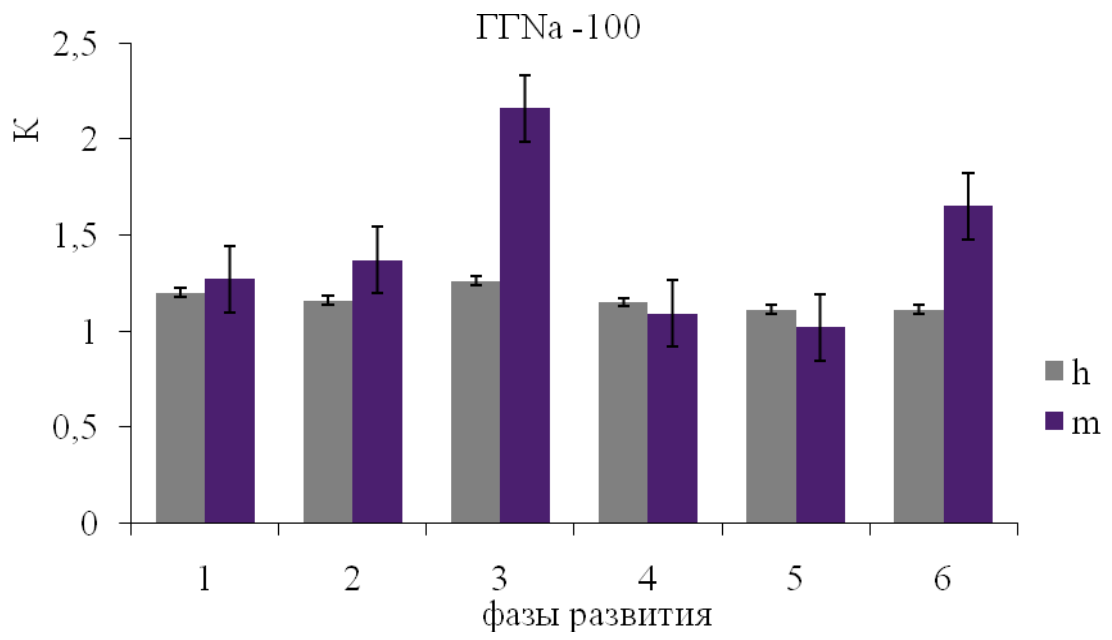
присутствие гидрогеля в корневой зоне влияло на рост биомассы. При оценке эффективности гидрогеля лучшим оказался вариант на основе натрия с дозой 300 кг/га. В таблице 6.4.1 представлен прирост биомассы ячменя по фазам развития.

Таблица 6.4.1 - Прирост биомассы ячменя по фазам развития, кг/м²

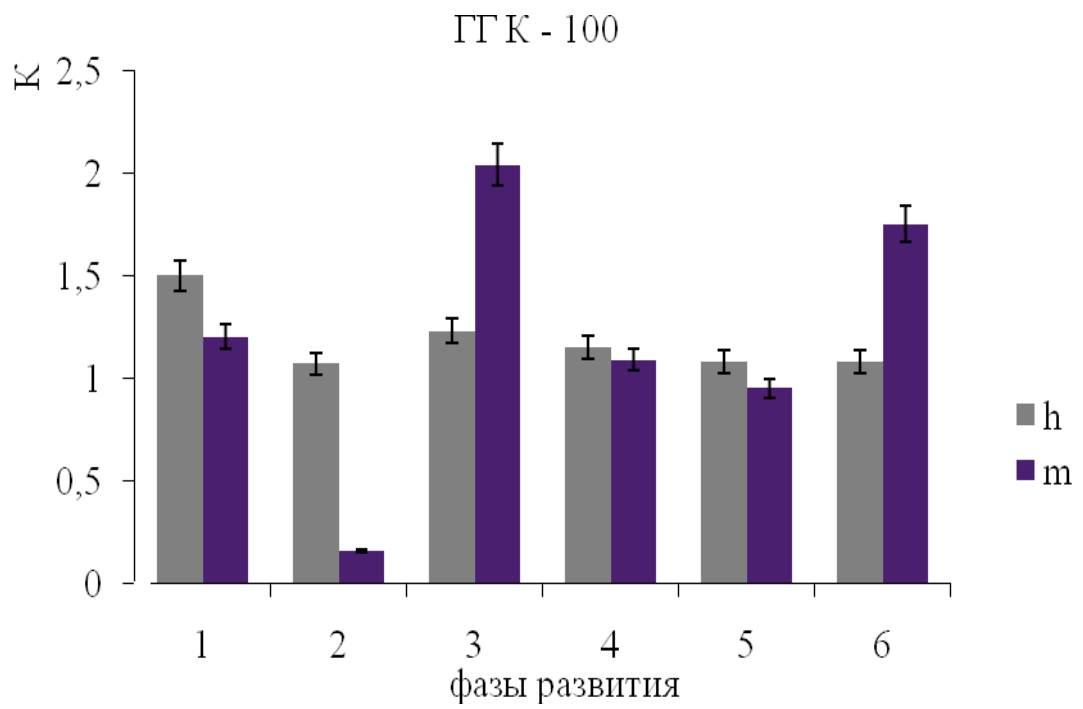
Варианты опыта	Фаза развития					
	кущение	выход в трубку	колошение	цветение	молочно-восковая спелость	восковая - полная спелость
Контроль	0,09±0,2	0,41±0,2	1,27±0,4	1,58±0,2	1,69±0,6	1,63±0,6
ГГ Na-100	0,13±0,1	0,54±0,3	1,63±0,4	1,68±0,3	2,69±0,7	2,69±0,7
ГГ K-100	0,14±0,1	0,54±0,3	1,61±0,4	1,64±0,3	2,88±0,7	2,85±0,7
ГГ Na-200	0,15±0,2	0,59±0,2	1,63±0,4	1,76±0,2	2,90±0,6	2,88±0,6
ГГ K-200	0,14±0,1	0,57±0,3	1,69±0,3	1,76±0,3	2,91±0,6	2,85±0,7
ГГ Na-300	0,16±0,1	0,62±0,2	1,78±0,4	1,78±0,2	2,76±0,6	2,66±0,6
ГГ K-300	0,14±0,12	0,58±0,2	1,76±0,4	1,76±0,3	2,72±0,7	2,40±0,6

На рисунке 6.4.3 (а, б, в, г, д, е) графически представлены диаграммы относительных показателей $K_h = \frac{h_{\Gamma}}{h_K}$; $K_m = \frac{m_{\Gamma}}{m_K}$ эффективности применения гидрогеля. При относительном показателе $K > 1$, эффективность применения гидрогеля наиболее оправдана. Диаграммы, представленные на рисунке 6.4.3 подтверждают эффективность применения гидрогелей со всеми дозами внесения.

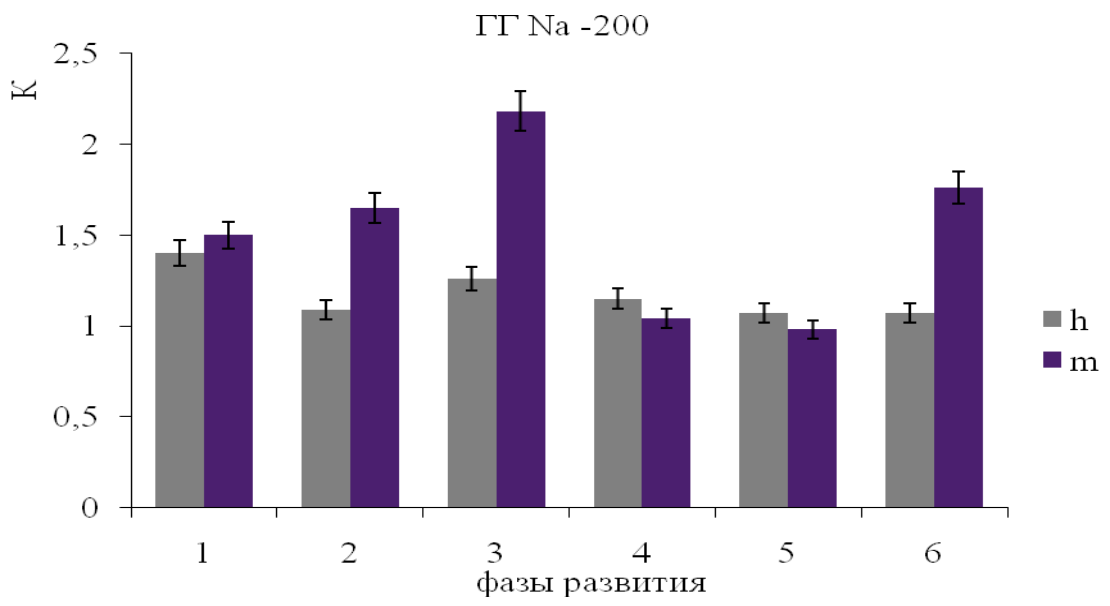
а)



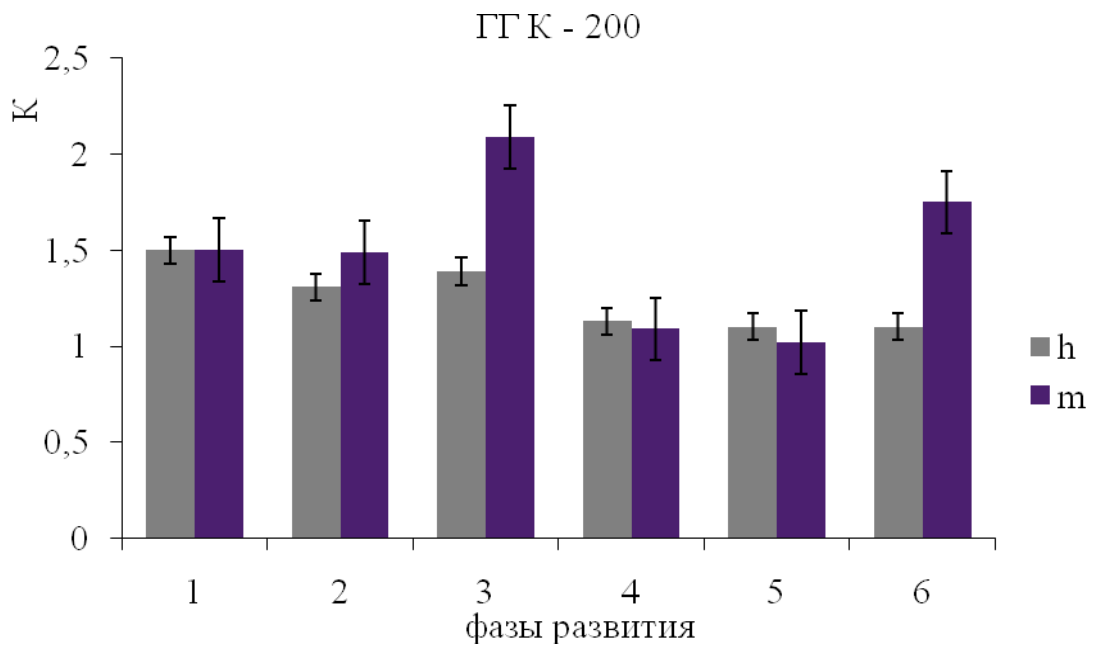
б)



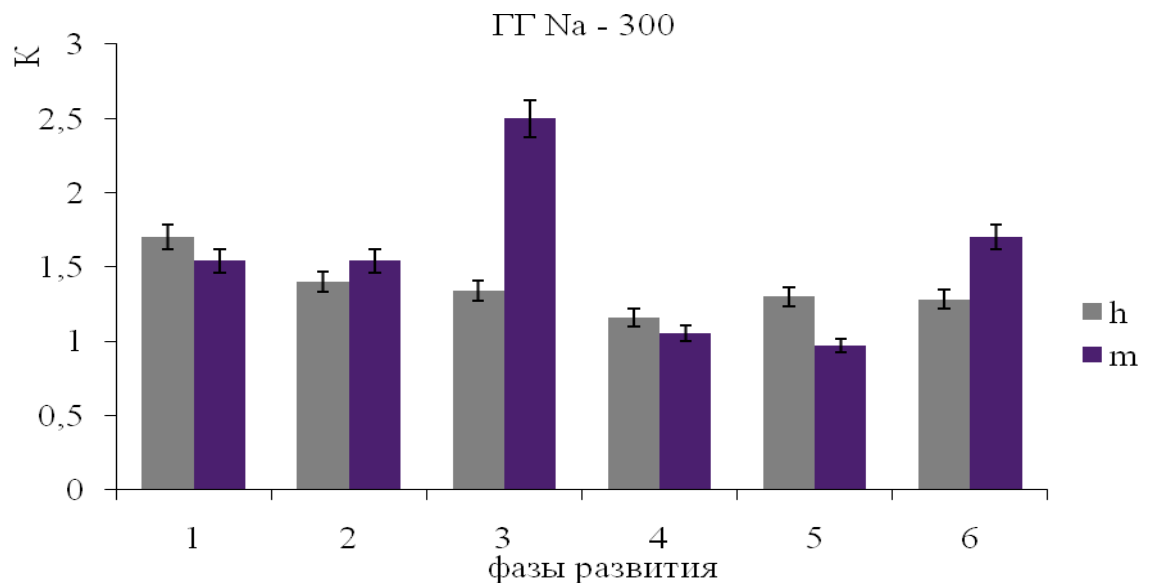
в)



г)



д)



е)

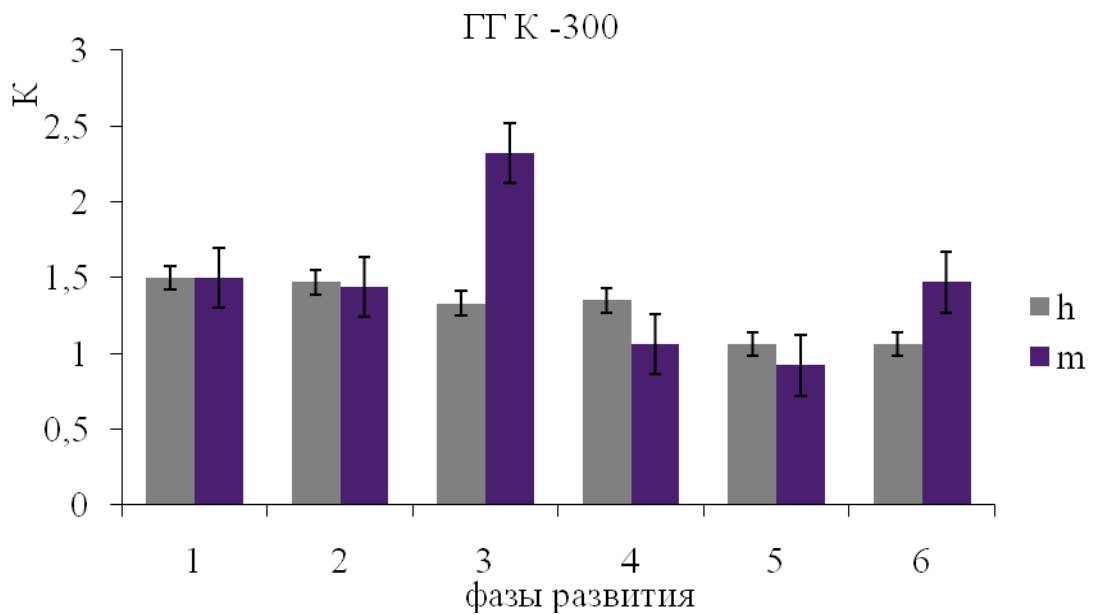


Рис. 6.4.3 - Относительные показатели эффективности применения гидрогеля. Приведены средние (M) и стандартные отклонения ($\pm SD$).

Обозначения: а - ГГ_{Na-100}; б - ГГ_{К-100}; в - ГГ_{Na-200}; г - ГГ_{К-200}; д - ГГ_{Na-300}; е - ГГ_{К-300}
 фазы развития - 1- кущение; 2 - выход в трубку; 3- колошение; 4 - цветение; 5 - молочно-восковая спелость; 6 - восковая - полная спелость

Показатели:

$$K_h = \frac{h_\Gamma}{h_K}; \quad K_m = \frac{m_\Gamma}{m_K},$$

здесь: h – высота растений; m – биомасса растений (фитомасса), индексы Г и К – опыт и контроль соответственно.

Влияние гидрогелей на водообеспечение ячменя проводилась с учетом эвапотранспирации в критические фазы развития культуры, т. е. во время кущения – трубкования (Данилова, 2016). В результате расчетов было выявлено, что в период кущения - трубкования эвапотранспирация практически не различалась по вариантам опыта. За вегетационный период выпало достаточное количество осадков (95,3 мм), а температура воздуха не превышала 18 - 20⁰С. В климатических условиях Гатчинского района Ленинградской области продолжительность вегетационного периода сокращается из-за продолжительного светового дня. Для расчета суммарного испарения необходимо знать продолжительность каждого вегетационного периода. В таблице 6.4.2 показана продолжительность вегетационного периода зерновых культур севооборота. В таблице 6.4.3 приведены усредненные коэффициенты развития культур севооборота, с помощью которых оценивается определение суммарного испарения. В таблице 6.4.4 – эвапотранспирация (ячмень + многолетние травы)

Таблица 6.4.2 - Продолжительность вегетационного периода культуры (дни).

Культура севооборота	Начальный период (от посева до всходов)	Период роста (нарастание биомассы)	Середина периода роста и развития	Конечный период развития	Суммарный вегетационный период
Ячмень, сорт «Ленинградский»	15	25	50	30	120 (Табл.11, ФАО -56)
	25	23	36	14	108 (МФ ГНУ АФИ)
Озимая рожь, сорт «Славия»	160	75	75	25	335 (табл.11, ФАО - 56)
	60	80	100	30	270 (МФ ГНУ АФИ)

Таблица 6.4.3 - Единые (усредненные по времени) коэффициенты культур K_c и средняя максимальная высота растений для, не подверженных стрессу, хорошо увлажняемых культур в субвлажном климате ($RH_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2$ м/с) с использованием уравнения Пенмана-Монтейта ET_0 .

Культура	$K_{c_{ini}}$	$K_{c_{mid}}$	$K_{c_{end}}$	Максимальная высота растений, h (м)
Зерновые культуры Ячмень	0,3	1,10	1,05	0,8-1,0
Многолетние травы (клевер + тимофеевка на сено) - периоды индивидуальной косьбы	0,3	1,10	1,05	0,8-1,0
Зерновые культуры озимая рожь	0,4	1,15	0,25-0,41	1,0

Таблица 6.4.4 - Эвапотранспирация культуры (ячмень + мн.тр.) (МФ ФГБНУ АФИ, 2012г.).

Месяц	Май	Июнь			Июль			Август		
Декада	III	I	II	III	I	II	III	I	II	
контроль										
K_c	0,3	1,15	1,14	1,14	1,16	1,16	1,14	0,23	0,21	
ET_0	41,27	60,43	63,5	61,46	60,79	60,63	60,71	50,71	18,12	мм/дек
K_s	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	
ET_c	11,27	63,24	65,87	63,75	70,51	64,16	62,98	10,61	3,5	мм/дек
Осадки	25,3	4,5	55,7	28,8	4,4	8,8	22,5	14,0	52,8	мм
гидрогель										
K_c	0,3	1,17	1,15	1,15	1,18	1,18	1,16	0,22	0,21	
ET_0	41,27	60,43	63,5	61,46	60,79	60,63	60,71	50,71	18,12	мм/дек
ET_c	12,38	70,70	73,02	70,68	71,73	71,54	70,42	11,15	3,8	мм/дек
Осадки	25,3	4,5	55,7	28,8	4,4	8,8	22,5	14,0	52,8	мм

Примечание: K_c – коэффициент развития культуры; ET_0 – эталонная эвапотранспирация; K_s – коэффициент водного стресса; ET_c – потенциальная эвапотранспирация

Эффективность действия гидрогеля на рост, развитие и продуктивность ячменя (Данилова, 2016) оценивали по эвапотранспирации культуры с учетом водного стресса (таблица 6.4.4). Коэффициент водного стресса вводится для того, чтобы сравнить потенциальную транспирацию между вариантами с гидрогелем и контролем. В условиях водного стресса $K_s < 1$ (контроль). При отсутствии водного стресса $K_s = 1$ (гидрогель) (Данилова, 2016). Графически это представлено на

рисунке 6.4.4.

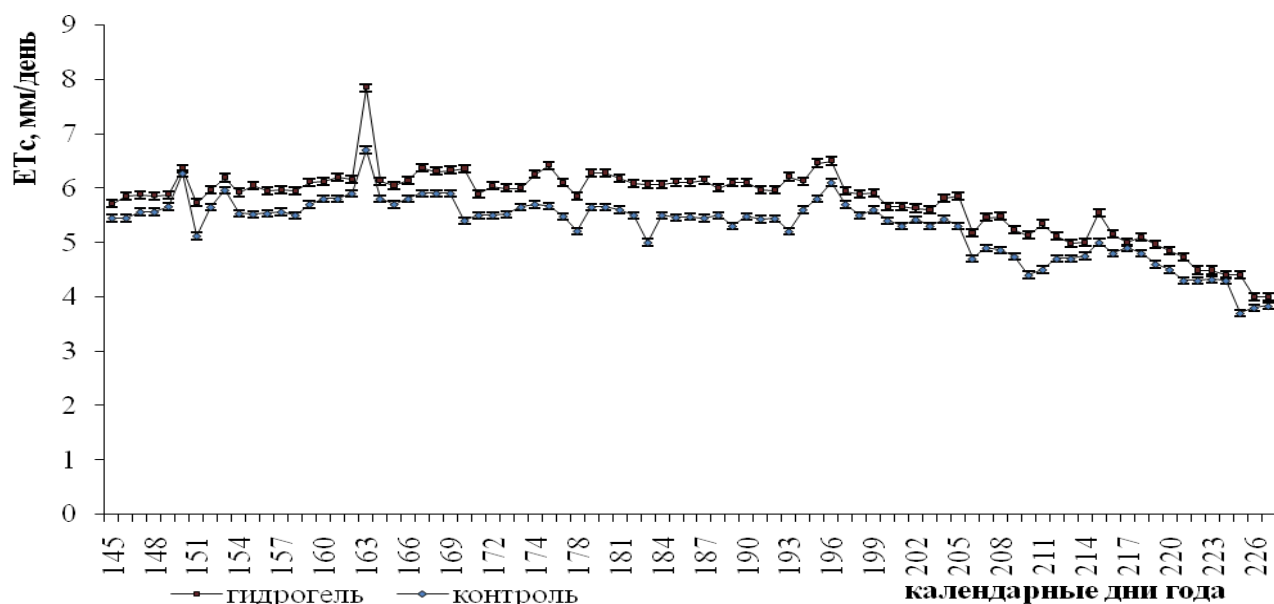


Рис. 6.4.4 - Потенциальная эвапотранспирация ячменя в вегетационный период.

Анализируя графическое изображение (рис. 6.4.4), можно сказать, что существенной разницы между эвапотранспирацией на контроле и в варианте с гидрогелем нет, так как 2012 г. был достаточно влажным. Скачок эвапотранспирации наблюдался, как показывает график на рисунке 6.4.4, во время кущения - выхода в трубку (160-165 дней). Данные по урожайности представлены в таблице 6.4.5.

Таблица 6.4.5 - Урожайность ячменя, сорт «Ленинградский» ц/га

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	
	I	II	III	среднее	ц/га	%
Контроль	27,6	28,5	25,6	27,2	-	-
ГГ _{Na-100}	31,7	34,5	36,1	34,1	6,9	20,2
ГГ _{K-100}	35,6	34,6	36,1	35,4	8,2	23,2
ГГ _{Na-200}	37,8	35,8	33,2	35,6	8,4	23,6
ГГ _{K-200}	34,4	36,4	32,8	34,5	7,3	21,2
ГГ _{Na-300}	32,3	30,8	29,1	30,7	3,5	11,4
ГГ _{K-300}	28,5	29,6	30,0	29,4	2,2	7,4
НСР ₀₅	3,34					

Избыточная влажность в варианте с калиевым гидрогелем с нормой внесения 300 кг/га привела к снижению урожайности ячменя на 2,2 ц/га. Наибольшая прибавка урожая от внесенного гидрогеля была получена в варианте с натриевым гидрогелем с дозой 200 кг/га и составила 23,6% по сравнению с контролем. Гидрогель на основе калия также хорошо себя показал в варианте с нормой внесения 100 кг/га. Увеличение урожайности от этого геля составило 23,2%. При дозе обоих гидрогелей 300 кг/га отмечается снижение урожайности. Таким образом, можно сделать вывод, что большая доза гидрогеля на фоне чрезмерной влажности (2012 год был достаточно влажным) отрицательно сказывается на урожайности зерновых культур. В таблице 6.4.6 показано содержание основных питательных веществ в образцах растений в начале вегетационного периода. Показатели питательных элементов определены в химической лаборатории ФГБНУ АФИ по соответствующим ГОСТам: сухое вещество – ГОСТ 13496.3-92; сырой протеин – ГОСТ 13496.4-93; сырая клетчатка – ГОСТ Р 52839-2007; каротин – ГОСТ 13496.17-95; углеводы – ГОСТ 26176-91.

Анализируя данные (таблица 6.4.6), можно сказать, что большой разницы между вариантами по содержанию основных показателей: сырого протеина и сырой клетчатки в начале вегетации нет. На контроле содержание сырого протеина составило 14,37%; сырой клетчатки – 26,79%; в вариантах с гидрогелем:

ГГ_{Na-100} – сырой протеин – 13,71%; сырая клетчатка – 29,14%;

ГГ_{K-100} – сырой протеин – 12,56%; сырая клетчатка – 29,57%;

ГГ_{Na-200} – сырой протеин – 8,69%; сырая клетчатка – 26,28%;

ГГ_{K-200} – сырой протеин – 13,00%; сырая клетчатка – 28,86%;

ГГ_{Na-300} – сырой протеин – 11,56%; сырая клетчатка – 28,96%;

ГГ_{K-300} – сырой протеин – 10,63%; сырая клетчатка – 26,97%.

Таблица 6.4.6 - Содержание основных питательных элементов в растительных образцах ячменя

Варианты опыта	Сухое в-во %	Азот в а.с.в. %	Сырой протеин в а.с.в. %	Сырая клетчатка в а.с.в. %	Сырая зола в а.с.в. %
фаза- колошение					
Контроль	30,0±2	2,30±0,4	14,37±1	26,79±1,1	7,61±0,7
ГГ _{Na-100}	38,2±2,1	2,19±0,4	13,71±0,9	29,14±1,2	8,62±0,7
ГГ _{K-100}	40,2±2	2,01±0,4	12,56±0,9	29,57±1,2	8,34±0,7
ГГ _{Na-200}	41,6±1,6	1,39±0,5	11,5±1	26,28±1,1	5,29±1,1
ГГ _{K-200}	42,4±1,7	2,08±0,4	13,00±0,9	28,86±1,1	7,85±1,2
ГГ _{Na-300}	36,8±1,7	1,85±0,5	11,56±1	25,96±1,2	7,60±1,2
ГГ _{K-300}	43,1±1,6	1,70±0,5	10,63±1	26,63±1,2	5,92±1,1
фаза –восковая спелость					
Контроль	31,2±1,3	3,57±0,6	22,35±1,6	28,30±1,3	9,88±0,9
ГГ _{Na-100}	31,6±1,3	2,80±0,6	17,53±1,5	31,46±1,3	11,44±0,8
ГГ _{K-100}	30,0±1,3	2,95±0,6	18,46±1,6	30,71±1,2	10,61±0,8
ГГ _{Na-200}	27,8±1,1	2,48±0,7	15,51±1,6	32,65±1	9,21±0,7
ГГ _{K-200}	33,4±0,9	2,79±0,6	17,43±1,6	31,59±1,1	9,24±0,8
ГГ _{Na-300}	31,6±0,9	3,27±0,7	20,46±1,6	30,17±1	10,1±0,7
ГГ _{K-300}	31,8±1	2,28±0,7	14,25±1,5	32,18±1	8,7±0,7

Содержание сырого протеина в вариантах с гидрогелем немного ниже, чем на контроле, а содержание сухого вещества повышается с увеличением дозы гидрогеля. Содержание сырой клетчатки в начале вегетации немного ниже в вариантах с дозой гидрогеля 300 кг/га по сравнению с контролем, однако, в конце вегетации наблюдается повышение этого показателя с увеличением дозы гидрогелей. В конце вегетации содержание протеина также ниже в вариантах с гидрогелем, чем на контроле. Сухое вещество стало снижаться с увеличением дозы гидрогеля, но показатели выше, чем на контроле.

В 2013 г. в севообороте были размещены многолетние травы первого года пользования – клевер луговой сорта Орфей и тимофеевка луговая сорта Ленинградская-204.



Рис. 6.4.5 - Отрастание многолетних трав I г.п. (полевой севооборот).

В 2013 г. во второй ротации севооборота изучали влияние пролонгированного действия гидрогеля, внесенного под покровную культуру – ячмень на развитие, рост растений клевера лугового и тимофеевки луговой и урожайность сена. В таблице 6.4.7 представлен учет перезимовавших растений клевера и тимофеевки.

Таблица 6.4.7 - Учет перезимовавших растений, мн.тр. I г.п., шт/м²
(Данилова, Оленченко, 2016).

Варианты опыта	Культура	Количество, шт./м ²
Контроль	клевер	112±3
	тимофеевка	176±4
ГГ _{Na} -100	клевер	88±4
	тимофеевка	196±5
ГГ _К -100	клевер	76±4
	тимофеевка	156±4
ГГ _{Na} -200	клевер	120±3
	тимофеевка	236±5
ГГ _К -200	клевер	128±3
	тимофеевка	220±5
ГГ _{Na} -300	клевер	96±4
	тимофеевка	176±4
ГГ _К -300	клевер	108±3
	тимофеевка	192±5

По количеству перезимовавших растений хорошо показали себя варианты с гидрогелем на натриевой и калиевой основе с дозой внесения 200 кг/га ($ГГ_{Na-200}$; $ГГ_{K-200}$) (таблица 6.4.7). Контрольный вариант перезимовал удовлетворительно. В вариантах $ГГ_{Na-100}$, $ГГ_{K-100}$, $ГГ_{Na-300}$ плохо перезимовал клевер (Данилова, Оленченко, 2016). В таблице 6.4.8 показан линейный рост растений клевера и тимофеевки за вегетационный период 2013 - 2014 годов.

Таблица 6.4.8 - Линейный рост растений клевера и тимофеевки в течение вегетации.

Варианты опыта	Высота растений, см					
	клевер луговой			тимофеевка луговая		
	06.05	05.06	24.06	06.05	05.06	24.06
2013 г.						
Контроль	7	65	96	10	78	112
$ГГ_{Na-100}$	8	60	106	10	77	114
$ГГ_{K-100}$	9	63	105	12	74	116
$ГГ_{Na-200}$	10	66	106	12	80	118
$ГГ_{K-200}$	9	69	107	11	82	118
$ГГ_{Na-300}$	8	67	106	12	78	120
$ГГ_{K-300}$	10	68	110	12	82	120
2014 г						
	04.06	24.06	07.07	04.06	24.06	07.07
Контроль	35	58	75	47	76	110
$ГГ_{Na-100}$	40	59	77	50	78	110
$ГГ_{K-100}$	38	59	78	55	79	115
$ГГ_{Na-200}$	37	64	83	56	86	120
$ГГ_{K-200}$	39	68	90	56	87	125
$ГГ_{Na-300}$	42	66	84	54	77	115
$ГГ_{K-300}$	45	67	79	58	89	120

«По метеорологическим условиям период вегетации в 2014 году был благоприятным для роста и развития растений, чем в 2013. Среднемесячные температуры (апрель - май, июль – август) были выше среднемноголетних значений на 2,8, 2,7, 2,9 и 2,5 °С соответственно. В апреле- мае (начало вегетации) осадков выпало в 2,4 раза больше нормы, в июне – в пределах нормы, июль

оказался засушливым - осадков выпало меньше нормы в 3,3 раза. Лучше росли растения на делянках опыта с гидрогелями Ритин -10 -(200 кг/га) и В - 415 К – (300 кг/га)» (Данилова, Оленченко, 2016, с.25). В таблице 6.4.9 показан ботанический состав сена многолетних трав по годам исследования.

Таблица 6.4.9 - Ботанический состав сена многолетних трав.

Варианты опыта	в % к общему количеству			
	клевер луговой		тимopheевка луговая	
	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.
Контроль	47,4	33,1	52,6	66,9
ГГ _{Na} -100	49,2	33,1	50,8	66,9
ГГ _К -100	44,2	38	55,8	62
ГГ _{Na} -200	44,9	23,3	55,1	76,3
ГГ _К -200	48,9	30,4	51,1	69,6
ГГ _{Na} -300	50,3	17,4	49,7	82,6
ГГ _К -300	58,4	23,4	41,6	76,6

Анализ ботанического состава травостоя (таблица 6.4.9), показал, что в первый год жизни незначительно преобладает тимopheевка. В вариантах с высокими дозами внесения геля (300 кг/га) больше растений клевера (Данилова, Оленченко, 2016). В таблице 6.4.10 приведены даты прохождения фенологических фаз и длительность межфазных периодов развития многолетних трав 1-го г. п.

Таблица 6.4.10 - Даты наступления фенологических фаз и продолжительность межфазных периодов у многолетних трав первого года жизни по вариантам.

№ № ПП	Варианты	Дата наступления фенологических фаз								Продолжительность межфазных периодов, дней					
		клевер луговой				тимофеевка луговая				клевер луговой			тимофеевка луговая		
		начало отрас- тания	ветв- ление	буто- ни- зация	цвете -ние	начало отрас- тания	ветв- ление	буто- ни- зация	цвете -ние	1-2	2-3	3-4	1-2	2-3	3-4
1	Контроль	22.04	12.06	18.06	27.06	30.04	28.05	12.06	26.06	51	6	9	28	15	14
2	ГГ _{Na} -100	22.04	11.06	17.06	26.06	30.04	26.05	11.06	25.06	50	6	9	26	16	14
3	ГГ _K -100	22.04	11.06	17.06	26.06	30.04	26.05	11.06	25.06	50	6	9	26	16	14
4	ГГ _{Na} -200	22.04	10.06	17.06	25.06	30.04	25.05	10.06	24.06	49	7	8	25	16	14
5	ГГ _K -200	22.04	10.06	17.06	25.06	30.04	26.05	10.06	24.06	49	7	8	26	15	14
6	ГГ _{Na} -300	22.04	10.06	16.06	25.06	30.04	25.05	10.06	24.06	49	6	8	25	15	14
7	ГГ _K -300	22.04	10.06	16.06	26.06	30.04	25.05	10.06	24.06	49	6	9	25	15	14

«Наблюдения за ростом клевера и тимофеевки первого года жизни (табл. 6.4.10) показали, что начало вегетации растений было ранним (22 апреля) чему способствовали благоприятные метеорологические условия. Среднесуточная температура воздуха в апреле была на 2,7 °С, а в мае на 5°С выше среднепогодной. В этот период выпало большое количество осадков -130,7 мм. Фазы развития растений клевера и тимофеевки (ветвление, бутонизация и цветение) наступали на один-два дня раньше в вариантах с полимерами, чем на контроле. Цветение было более ранним в вариантах с высокими дозами гидрогеля (200 кг/га и 300 кг/га), чем на контроле и при дозе внесения геля -100 кг/га. Фенологические наблюдения многолетних трав второго года пользования показали, что у клевера в вариантах с гидрогелем фаза ветвления наступала на 1-2 дня раньше, чем на контроле, а бутонизация и цветение, на 1-2 дня позже. У тимофеевки кущение наступило на 1-2 дня раньше контроля, а цветение происходило одновременно во всех вариантах опыта. Клевер луговой потребляет наибольшее количество влаги в период максимального накопления сухого вещества, т. е. от конца фазы стеблевания к началу цветения, а тимофеевка – от фазы кущения до фазы цветения (Вавилов, 1986). При этом влажность почвы должна быть не менее 75...80 % от наименьшей влагоемкости»¹.

Эффективность действия гидрогеля на рост, развитие и продуктивность многолетних трав I и II г.п. оценивали путем определения эвапотранспирации культуры за вегетационный период с учетом водного стресса. Фактор водного стресса вводится для сравнения возможного испарения между гидрогелевым и контрольным вариантами. При $K_s < 1$ (контроль) - водный стресс. При $K_s = 1$ (гидрогель)- без водного стресса (FAO -56), (Данилова, 2016). В таблице 6.4.11 показано суммарное испарение многолетних трав I – го г. п. 1-го укоса.

¹ Данилова Т.Н. Оценка пролонгированного действия гидрогелей на рост, развитие и продуктивность многолетних трав / Т.Н. Данилова, Е.А. Оленченко // Мелиорация и водное хозяйство. - 2016. - № 2. - С. 22-25.

Таблица 6.4.11 - Эвапотранспирация и коэффициент развития многолетних трав I-го года пользования (МФ ФГБНУ АФИ, 2013г.).

Месяц	Май			Июнь			
Декада	I	II	III	I	II	III	
контроль							
K_c	0,30	0,32	0,36	1,10	1,10	1,05	
ET_o	24,87	41,14	48,0	56,5	45,52	34,84	мм/дек
K_s	0,72	0,9	0,9	0,95	0,8	0,72	
ET_c	5,37	11,85	15,55	59,04	40,05	26,34	мм/дек
Осадки	3,0	86,1	31,4	44,2	38,9	11,5	мм
гидрогель							
K_c	0,30	0,32	0,37	1,14	1,14	1,05	
ET_o	24,87	41,14	48,0	56,5	45,52	34,84	мм/дек
ET_c	7,46	13,17	17,76	64,41	51,9	36,58	мм/дек
Осадки	3,0	86,1	31,4	44,2	38,9	11,5	мм

Примечание: K_c – коэффициент развития культуры; ET_o – эталонная эвапотранспирация; K_s – коэффициент водного стресса; ET_c – потенциальная эвапотранспирация

На рисунке 6.4.6 показана – потенциальная эвапотранспирация многолетних трав I-го года пользования.

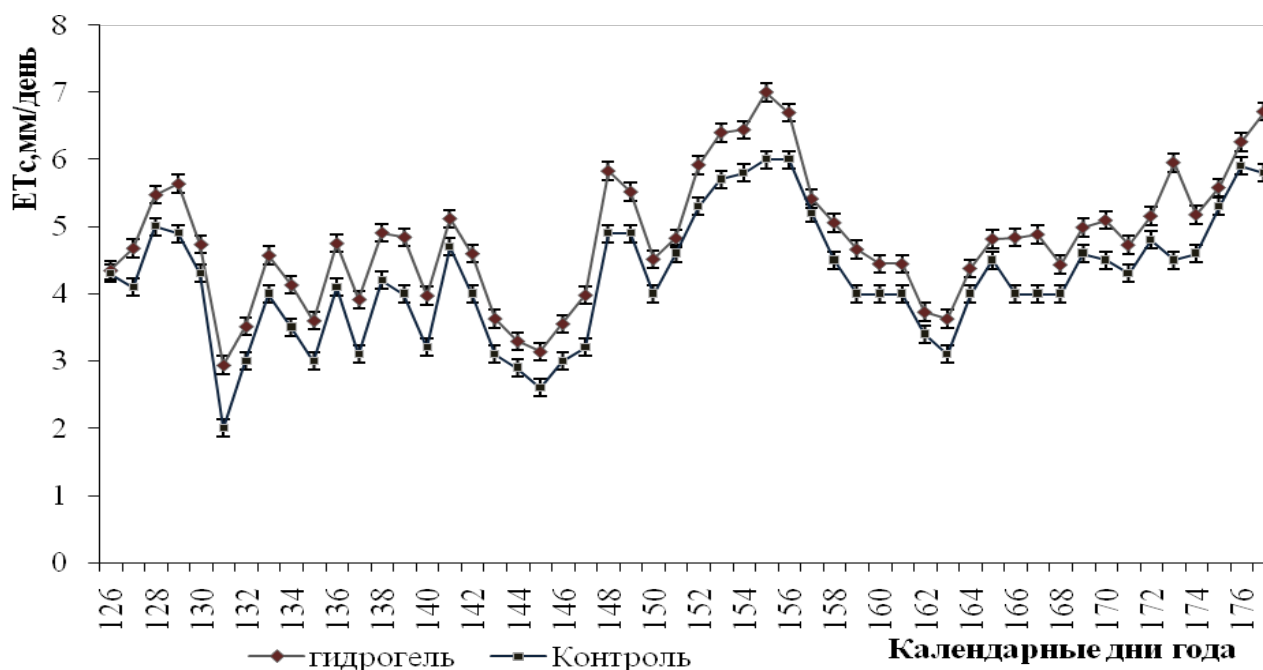


Рис.6.4.6 - Потенциальная эвапотранспирация многолетних трав I-го года пользования в период вегетации.

На графике (рис. 6.4.6) видно, что общее испарение многолетних трав за вегетационный период было более выражено при гидрогелевом варианте, чем при контроле. Это можно объяснить тем, что влаги, присутствующей в гидрогелевых вариантах, было достаточно для транспирации (Данилова, 2016). В таблице 6.4.12 показано суммарное испарение многолетних трав II-го года пользования на контроле и в варианте с гидрогелем.

Таблица 6.4.12 - Эвапотранспирация и коэффициент развития мн. тр II г.п.- (МФ ФГБНУ АФИ, 2014г).

Месяц	Май			Июнь			Июль	
Декада	I	II	III	I	II	III	I	
контроль								
K _c	0,30	0,30	0,62	1,10	1,05	1	0,5	
ET _o	33,57	47,14	57,36	50,9	41,54	40,77	47,3	мм/дек
K _s	0,86	0,9	0,9	0,86	0,86	0,72	0,72	
ET _c	8,66	12,72	32	48,15	37,51	30,82	17,03	мм/дек
Осадки	61,0	20,7	41,7	21,5	21,0	23,7	9,0	Мм
гидрогель								
K _c	0,30	0,36	0,64	1,17	1,15	1,14	0,8	
ET _o	33,57	47,14	57,36	50,9	41,54	40,77	47,3	мм/дек
ET _c	10,07	16,97	36,71	59,55	45,7	47,77	37,84	мм/дек
Осадки	61,0	20,7	41,7	21,5	21,0	23,7	9,0	Мм

Примечание: K_c – коэффициент развития культуры; ET_o – эталонная эвапотранспирация; K_s – коэффициент водного стресса; ET_c – потенциальная эвапотранспирация

На рисунке 6.4.7 показана потенциальная эвапотранспирация многолетних трав II г.п. в период вегетации.

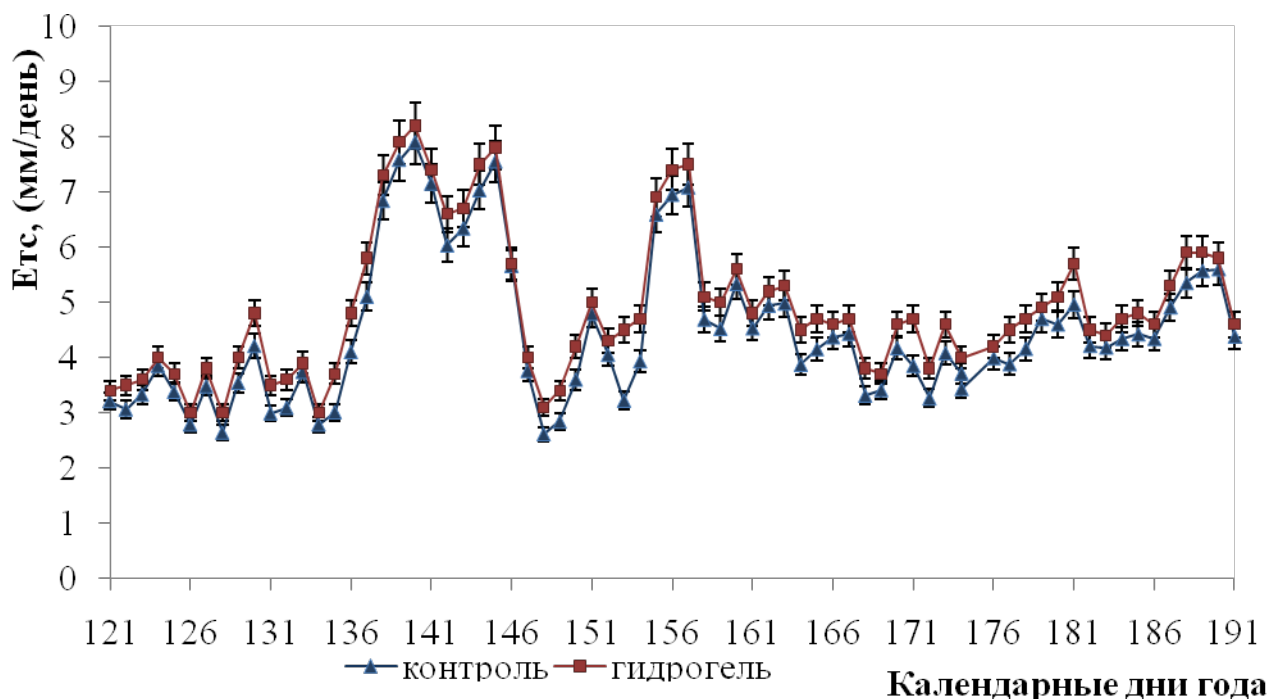


Рис.6.4.7 - Потенциальная эвапотранспирация многолетних трав II-го года пользования за вегетационный период слабо выражено в гидрогелевом варианте, и практически не отличается от контроля. Это можно объяснить тем, что корневая система многолетних трав хорошо развита и способна получать влагу из нижележащих слоев почвы.

На графике (рис. 6.4.7) видно, что общее испарение многолетних трав II –го года пользования за вегетационный период слабо выражено в гидрогелевом варианте, и практически не отличается от контроля. Это можно объяснить тем, что корневая система многолетних трав хорошо развита и способна получать влагу из нижележащих слоев почвы.

На втором году жизни преобладают растения тимopheевки, что привело к снижению укосов многолетних трав (Данилова, Оленченко, 2016). Показано, что суммарное испарение многолетних трав на 1-й и 2-й год применения различно для гидрогелевых вариантов в течение вегетационного периода. По сравнению с контролем наблюдается зависимость от дозы и вида гидрогеля. Пролонгированное действие гидрогелей отражалось на росте, развитии и урожайности многолетних трав 1-го и 2-го года пользования в зависимости от дозы внесения. В нашей работе (Данилова, Оленченко, 2016) оценка эффекта водного стресса рассчитывалась на основе урожайности. В таблице 6.4.13 показан урожай сена трав I-го и II – го годов пользования.

Таблица 6.4.13 - Урожайность сена многолетних трав I-го и II-го годов пользования (т/га).

Варианты опыта	Сырая масса, кг		Урожайность сена, т/га				Прибавка к контролю			
							2013 г		2014 г	
	2013 г	2014 г	2013 г	K_s	2014 г	K_s	т/га	%	т/га	%
Контроль	1,48	0,74	14,7	0,95	7,3	0,86	-	-	-	-
ГГ _{Na} -100	1,62	0,69	17,6	1,00	7,6	0,9	2,9	16,5	0,3	3,9
ГГ _K -100	1,6	0,76	16,2	0,98	8,05	0,95	1,5	9,3	0,75	9,3
ГГ _{Na} -200	1,72	0,80	17,8	1,00	8,5	1	3,1	17,4	1,2	14,1
ГГ _K -200	1,46	0,68	15,8	1,00	8,4	0,88	1,3	8,2	1,1	13,1
ГГ _{Na} -300	1,54	0,75	16,7	0,89	9,5	0,94	2,0	12,0	2,2	23,2
ГГ _K -300	1,62	0,79	17,4	1,00	10,2	1	2,7	15,5	2,9	28,4
НСР ₀₅			3,44		1,62					

«Данные таблицы 6.4.13 показывают, что хороший урожай сена многолетних трав первого года пользования был получен с гидрогелями на натриевой и калиевой основах со всеми дозами внесения. Пролонгированное действие полимерных гелей наблюдается во второй и третий годы после внесения. Отмечена зависимость от дозы и типа гидрогеля. У многолетних трав 1-ого года пользования высокий урожай сена получен у Ритин-10 с дозами внесения 100 кг/га и 200 кг/га, у В-415 К – при внесении 300 кг/га. Гидрогель на натриевой основе обеспечил большую прибавку, но с дозой ГГ_{Na} – 300 наблюдалось снижение урожая сена. При благоприятных метеорологических условиях вегетации в 2014 году можно было получить высокий урожай сена, однако по сравнению с 2013 г. урожайность была ниже. Такое снижение можно объяснить уменьшением в фитоценозе доли клевера и преобладание тимофеевки с меньшей биологической массой. Однако наличие гидрогеля в корнеобитаемом слое способствовало получению значительной прибавки урожая сена при высоких дозах внесения: Ритин-10 – 200 кг/га и В-415К – 300 кг/га»². В таблице 6.4.14 показано содержание основных элементов питания в образцах растений многолетних трав за вегетационный период. Показатели питательных элементов определены в химической лаборатории ФГБНУ АФИ по соответствующим

² Данилова Т.Н. Оценка пролонгированного действия гидрогелей на рост, развитие и продуктивность многолетних трав / Т.Н. Данилова, Е.А. Оленченко // Мелиорация и водное хозяйство. - 2016. - № 2. - С. 22-25.

ГОСТам: сухое вещество – ГОСТ 13496.3-92; сырой протеин – ГОСТ 13496.4-93; сырая клетчатка – ГОСТ Р 52839-2007; каротин – ГОСТ 13496.17-95; углеводы – ГОСТ 26176-91.

Таблица 6.4.14 - Содержание основных питательных элементов в растительных образцах тимофеевки и клевера в период вегетации

Варианты	Сухое в-во %	Сырой протеин в а.с.в. %	Сырая клетчатка в а.с.в. %	Каротин, мг/кг	Углеводы, % а.с.в.
Тимофеевка					
Контроль	90,8±1,5	7,22±0,4	32,73±0,9	12,58±0,6	14,12±0,4
ГГ _{Na-100}	90,8±1,6	5,93±0,4	32,09±0,9	8,40±0,5	9,53±0,4
ГГ _{K-100}	85,2±1,5	6,69±0,3	31,94±0,8	15,77±1	9,31±0,4
ГГ _{Na-200}	86,8±1,5	6,51±0,4	32,48±0,9	12,02±0,6	9,64±0,4
ГГ _{K-200}	91,0±1,6	6,51±0,3	30,67±1	10,53±0,5	13,69±0,4
ГГ _{Na-300}	91,0±1,6	7,65±0,5	30,87±0,8	13,13±0,6	11,54±0,5
ГГ _{K-300}	91,0±1,5	7,71±0,5	32,13±0,9	10,53±0,5	7,89±0,3
Клевер					
Контроль	90,9±1,4	11,92±0,6	23,80±0,7	16,83±0,9	9,53±0,7
ГГ _{Na-100}	91,0±1,4	12,43±0,6	24,77±0,8	23,13±1,4	6,16±0,7
ГГ _{K-100}	90,1±1,3	15,62±0,8	21,93±0,9	20,84±1,4	5,22±0,3
ГГ _{Na-200}	85,9±0,9	12,16±0,6	24,42±0,8	17,84±0,9	8,29±0,7
ГГ _{K-200}	87,8±0,9	11,59±0,5	27,50±0,8	18,26±1,4	7,52±0,8
ГГ _{Na-300}	90,2±1	14,09±0,8	23,54±0,8	16,27±0,9	6,80±0,7
ГГ _{K-300}	90,2±1	12,94±0,6	24,90±0,8	10,44±0,5	7,09±0,8

Из данных таблицы 6.4.14 видно, что содержание сырого протеина и сырой клетчатки в растительных образцах клевера и тимофеевки разное. У клевера содержание белка выше в образцах с гидрогелем, чем в контроле, а у тимофеевки содержание белка выше только в образцах с высокой (300 кг/га) дозой гидрогеля. По содержанию каротина большой разницы между контролем и вариантами с гидрогелем не обнаружено, но в отношении углеводов наблюдалась тенденция к снижению содержания сахара в образцах с гидрогелем. В таблице 6.4.15 представлено содержание основных питательных элементов в сене многолетних трав. Показатели питательных элементов определены в химической лаборатории ФГБНУ АФИ по соответствующим ГОСТам: сухое вещество – ГОСТ 13496.3-92;

сырой протеин – ГОСТ 13496.4-93; сырая клетчатка – ГОСТ Р 52839-2007; каротин – ГОСТ 13496.17-95; углеводы – ГОСТ 26176-91.

Таблица 6.4.15 - Содержание основных питательных элементов в сене многолетних трав.

Варианты опыта	Сухое вещество, %	Сырой протеин, % а.с.в.	Сырая клетчатка, % а.с.в.	Каротин, мг/кг	Углеводы, % а.с.в.
Контроль	8,35±0,3	14,37±0,3	23,2±0,5	26,7±1	9,36±0,5
ГГ _{Na-100}	9,25±0,5	14,37±0,3	23,0±0,4	30,5±0,9	9,71±0,4
ГГ _{K-100}	8,7±0,4	13,15±0,5	23,5±0,5	34,7±0,9	8,93±0,3
ГГ _{Na-200}	8,9±0,4	13,89±0,6	23,5±0,5	36,7±0,8	9,09±0,4
ГГ _{K-200}	9,1±0,5	13,27±0,5	22,7±0,4	40,6±1	9,33±0,5
ГГ _{Na-300}	8,9±0,4	12,38±0,7	23,7±0,5	36,7±0,9	9,57±0,4
ГГ _{K-300}	10,8±0,9	12,18±0,7	24,6±0,7	23,9±1,1	10,2±0,5

Анализируя данные таблицы 6.4.15, можно сказать, что в сене многолетних трав в вариантах с гидрогелем наблюдается увеличение таких показателей, как углеводы с 9,36% в контроле до 9,57 - 10,2% в вариантах ГГ_{Na-300}; ГГ_{K-300}; каротин увеличился с 26,7% в контроле до 36,7-40,6% в вариантах ГГ_{Na-200}; ГГ_{K-200}; для сырой клетчатки существенной разницы не обнаружено, а сырой протеин с увеличением дозы гидрогеля имеет тенденцию к уменьшению по сравнению с контролем. Содержание сухого вещества увеличивается с увеличением дозы гидрогеля.

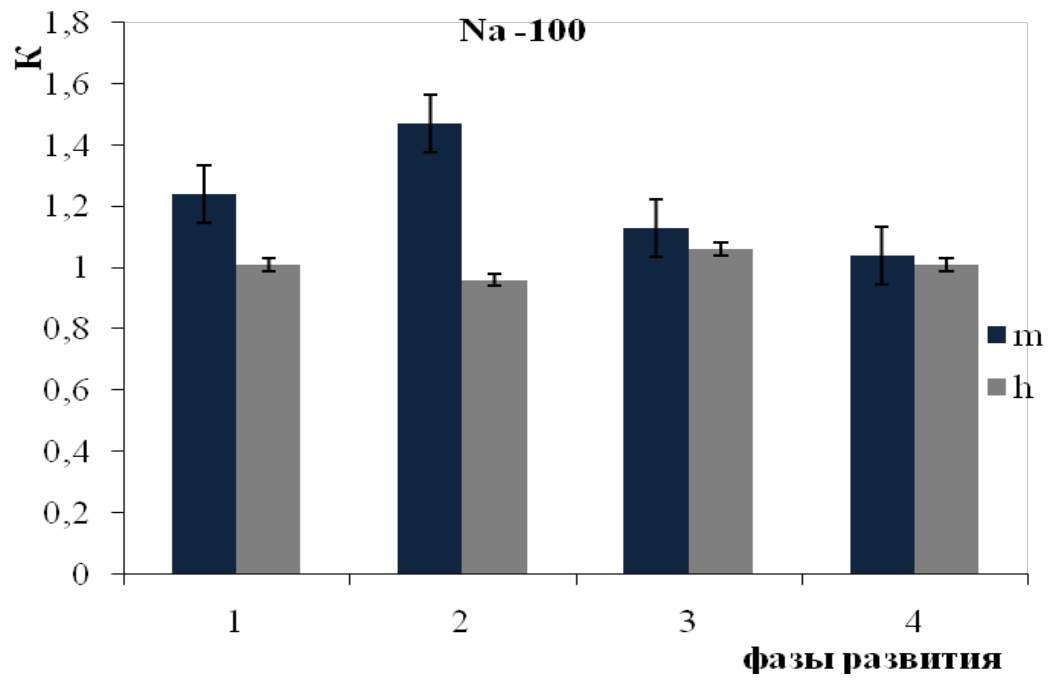
В 2014 г. после уборки многолетних трав II г. п. была проведена вспашка почвы, в результате чего гидрогель переместился в нижележащие слои. После многолетних трав озимая рожь, сорт Славия, была посеяна как следующая культура в звене севооборота. Посев производился 3 сентября 2014 г. Всхожесть подсчитана 19 сентября 2014 г. (шт / м²). Были получены следующие показатели: контроль – 154 шт/м²; ГГ_{Na-100} – 157 шт/м²; ГГ_{K-100} -148 шт/м²; ГГ_{Na-200} -143 шт/м²; ГГ_{K-200} – 146 шт/м²; ГГ_{Na-300} – 157 шт/м²; ГГ_{K-300} – 152 шт/м². В таблице 6.4.16 представлен прирост биомассы озимой ржи. На рисунке 6.4.8 (а, б, в, г, д, е) представлены относительные показатели эффективности применения гидрогеля.

Таблица 6.4.16 - Прирост биомассы озимой ржи

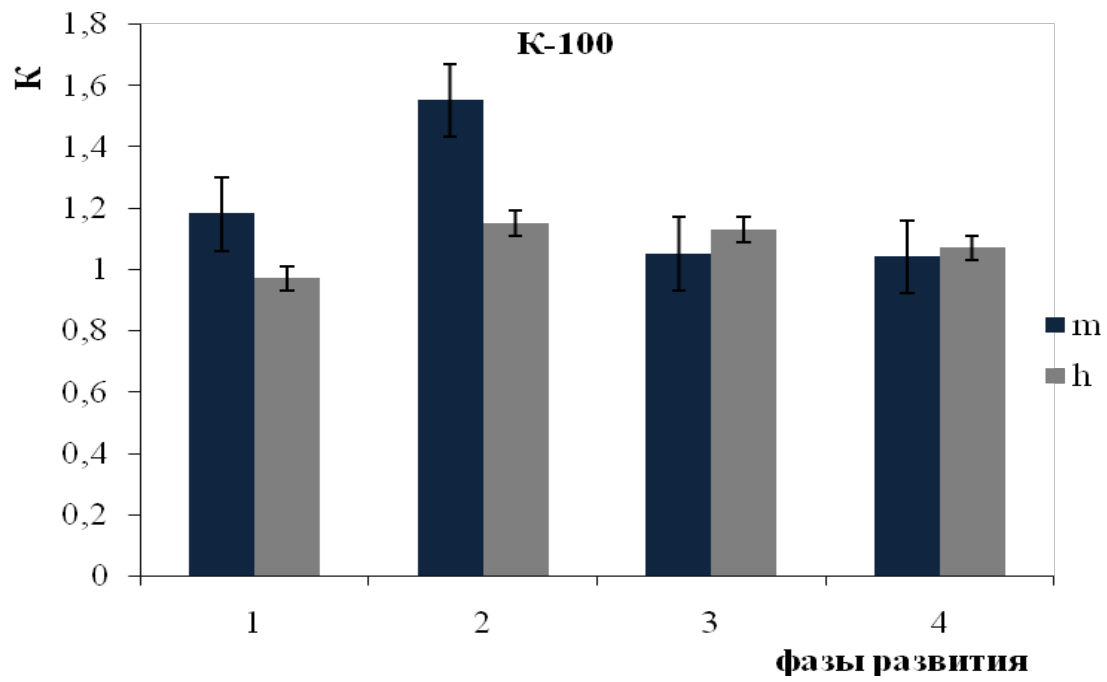
Варианты опыта	Фаза развития							
	стеблевание		колошение		цветение		восковая спелость	
	m, г	h, см	m, г	h, см	m, г	h, см	m, г	h, см
Контроль	87,2±0,7	13,8±0,4	144±1,3	36,6±0,7	202,7±0,6	85,3±1,4	351,7±2,7	118,9±1,1
Г _{Na} -100	108±1,4	14±0,9	212±1,5	35,3±0,7	229,6±1,1	90,2±1,5	366,9±2,8	120,3±1,2
Г _K - 100	103±1,3	13,4±0,4	223±1,5	42±1,4	213,8±1	96,5±1,6	364,8±2,8	127,8±0,7
Г _{Na} -200	110±1,4	15,5±1	202,1±1,1	38,7±0,7	247,4±1,6	103,4±1,7	353,8±2,7	131,2±1,3
Г _K – 200	120±1,5	13,7±0,4	201,5±1,1	45,6±0,9	298,5±1,7	102,6±1,7	410,2±2,6	135,5±1,4
Г _{Na} -300	126±1,6	16,4±0,5	208±1,4	40,5±1,3	278±1,8	115,2±0,7	467,1±2,6	146,7±0,9
Г _K -300	120±1,6	15,6±1	205,1±1,2	43,2±1,4	266±1,1	116,4±0,8	450,4±2,7	145,8±0,9

Обозначение: m – биомасса растений; h – высота растени

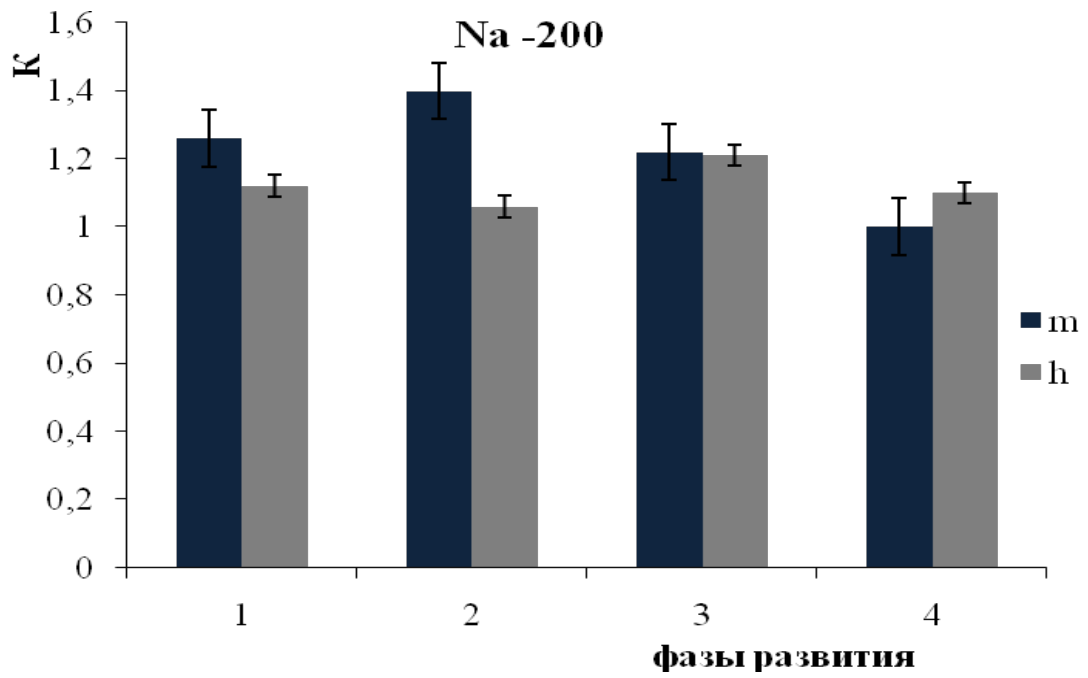
a)



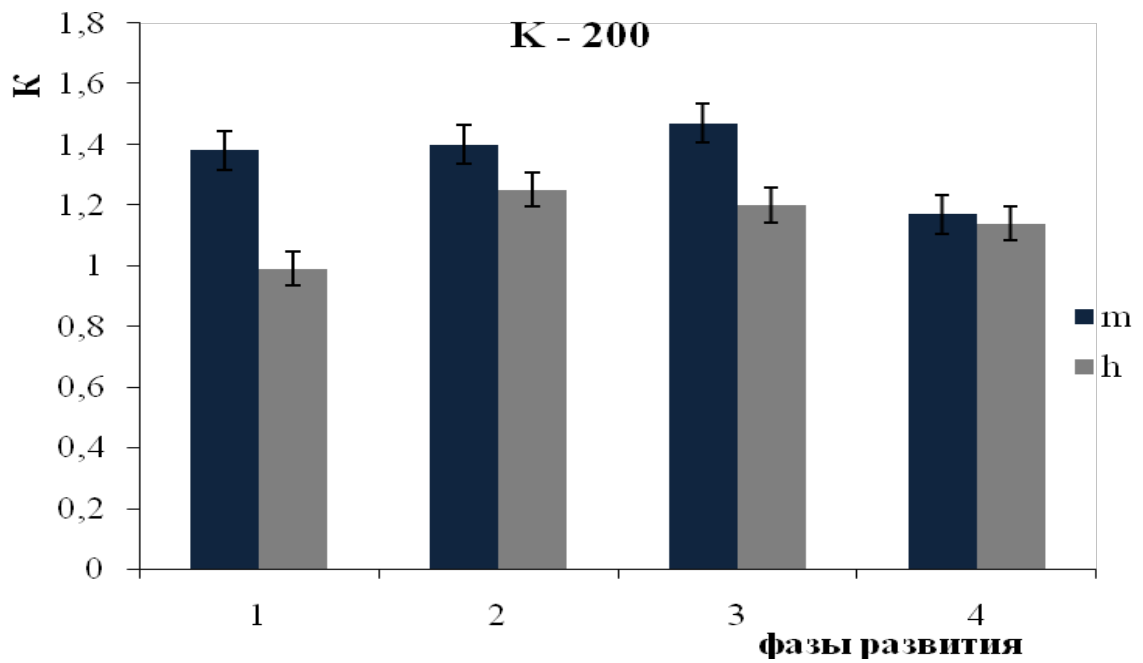
б)



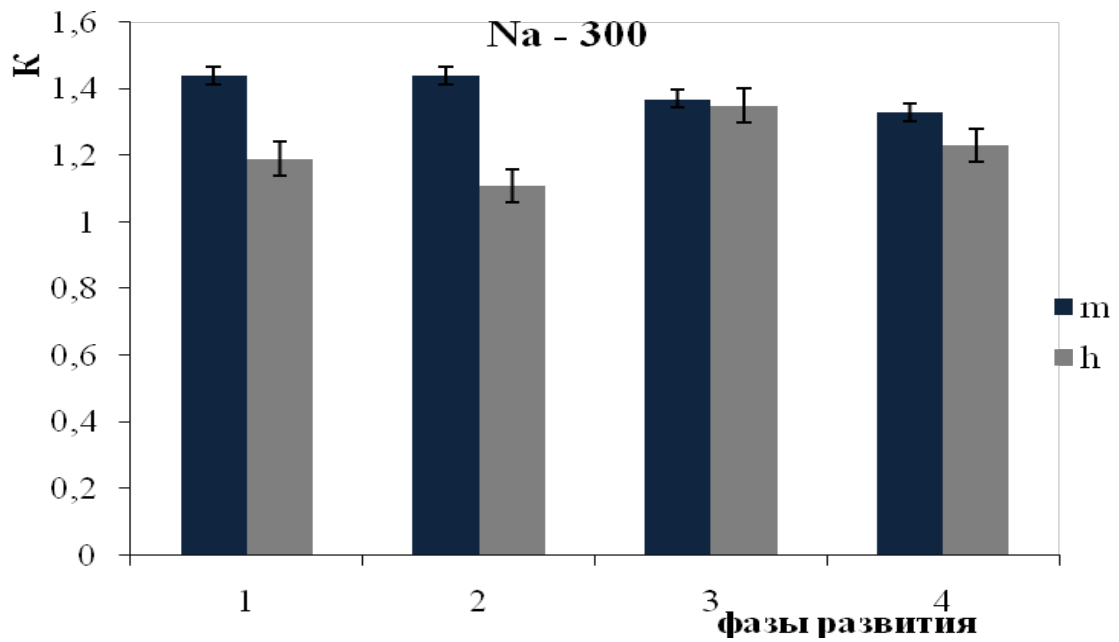
в)



г)



д)



е)

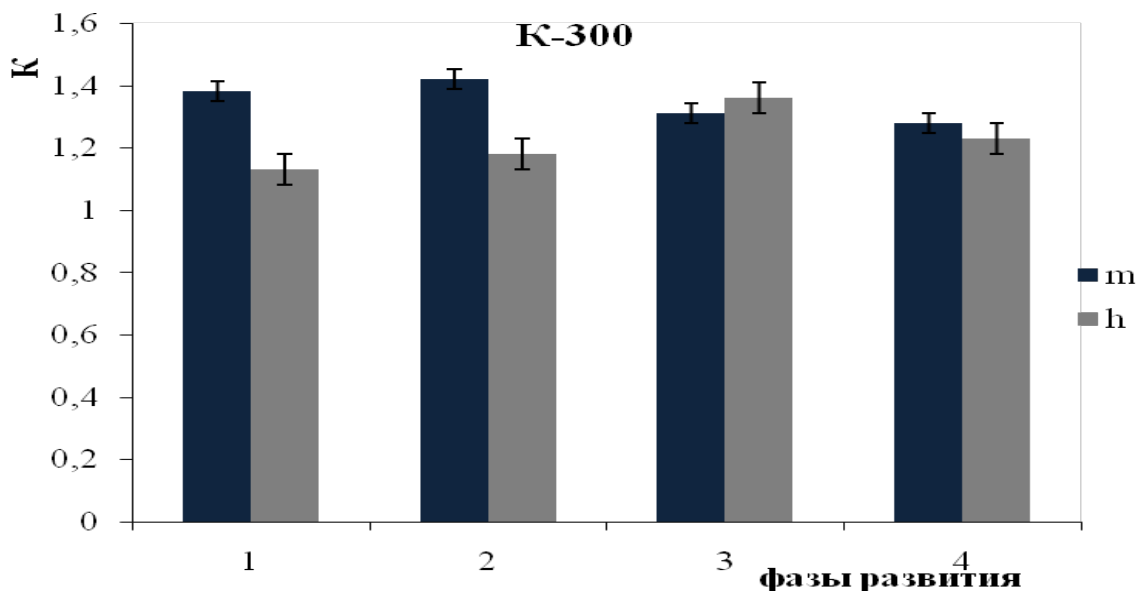


Рис. 6.4.8 - Относительные показатели эффективности применения гидрогеля. Приведены средние (M) и стандартные отклонения ($\pm SD$)

Обозначения: фазы развития: 1- стеблевание; 2 - колошение; 3 - цветение; 4 - восковая спелость. Показатели эффективности: $K_h = \frac{h_\Gamma}{h_K}$; $K_m = \frac{m_\Gamma}{m_K}$, здесь h – высота растений; m – биомасса растений (фитомасса), индексы Γ и K – опыт и контроль соответственно.

Гистограммы (рисунок 6.4.8 д, е) показывают, что во все фазы развития озимой ржи наблюдалось интенсивное увеличение биомассы, особенно в вариантах с высокой (300 кг/га) дозой внесения. При внесении гидрогеля в меньшей (100 кг/га) дозе наиболее интенсивный прирост биомассы наблюдался только в фазе стеблевания (рис. 6.4.8 а, б). При дозах 200 кг/га хороший прирост биомассы наблюдается в следующих фазах развития: стеблевание, колошение и цветение (рис. 6.4.8 в, г). Благодаря наличию в почве гидрогеля растения ржи в период колошения получали достаточное количество влаги. Это повлияло на урожайность. Водообеспечение озимой ржи определяли по эвапотранспирации в критические («кущение – трубкование») фазы роста растений (Данилова, 2016). В таблице 6.4.17 представлена эвапотранспирация и коэффициент развития озимой ржи в период вегетации, графическое изображение потенциальной эвапотранспирации показано на рисунке 6.4.9.

Таблица 6.4.17 - Эвапотранспирация и коэффициент развития озимой ржи (МФ ФГБНУ АФИ, 2015 г).

Месяц	Апрель		Май			Июнь			Июль			Август	
Декада	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	
контроль													
K _c	0,40	0,40	0,40	0,40	0,62	1,15	1,15	1,15	1,15	0,25	0,25	0,25	
ET _o	17,4	19,18	27,79	26,31	34,68	40,66	36,45	35,57	35,44	27,0	32,75	41,17	мм/дек
K _s	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	
ET _c	6,47	7,13	10,3	9,78	19,99	43,49	38,98	38,04	37,9	6,28	7,6	9,58	мм/дек
Осадки	15,6	16,1	13,9	8,7	25,9	10,3	0,5	34,8	19,1	35,6	36,7	5,4	мм
гидрогель													
K _c	0,40	0,40	0,40	0,40	0,62	1,15	1,15	1,15	1,15	0,25	0,25	0,25	
ET _o	17,4	19,18	27,79	26,31	34,68	40,66	36,45	35,57	35,44	27,0	32,75	41,17	мм/дек
ET _c	6,96	7,67	11,08	10,52	21,5	46,76	41,92	40,9	40,76	6,75	8,18	10,3	мм/дек
Осадки	15,6	16,1	13,9	8,7	25,9	10,3	0,5	34,8	19,1	35,6	36,7	5,4	мм

Примечание: K_c – коэффициент развития культуры; ET_o – эталонная эвапотранспирация; K_s – коэффициент водного стресса; ET_c – потенциальная эвапотранспирация

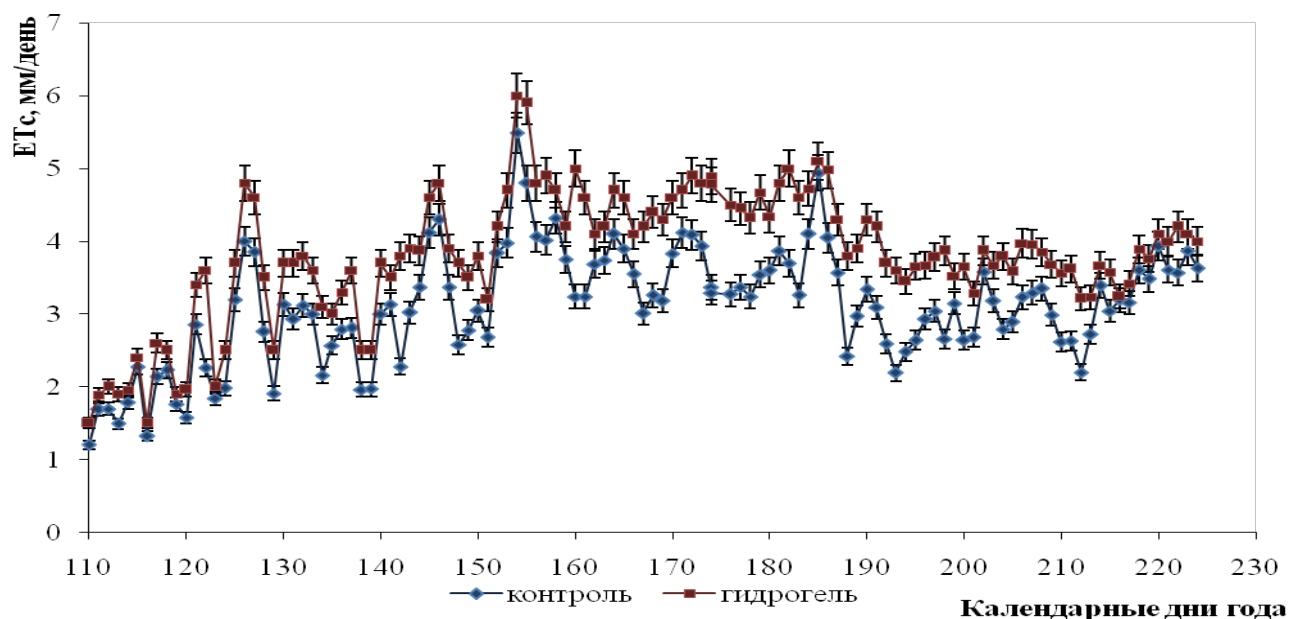


Рис.6.4.9 - Потенциальная эвапотраспирация озимой ржи в вегетационный период.

В результате расчетов было выявлено, что в течение 4 лет после внесения гидрогель все еще продолжал работать, хотя его последствие уменьшилось и было не таким, как через 2 и 3 года после внесения. В период стеблевания - колошения (рисунок 6.4.9) эвапотранспирация в вариантах опыта с гидрогелем была более интенсивной, чем в контроле. В таблице 6.4.18 представлена урожайность озимой ржи по вариантам опыта в 2015 году.

Таблица 6.4.18 - Урожайность озимой ржи, Сорт Славия, ц/га

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	
	I	II	III	среднее	ц/га	%
Контроль	36,35	32,64	35,73	34,9	-	-
$\Gamma_{Na} - 100$	36,64	38,13	37,35	37,37	2,47	6,6
$\Gamma_K - 100$	36,76	36,8	35,41	36,3	1,4	3,9
$\Gamma_{Na} - 200$	38,98	39,34	37,62	38,64	3,74	9,7
$\Gamma_K - 200$	37,28	36,46	35,5	36,41	1,51	4,1
$\Gamma_{Na} - 300$	41,48	39,74	38,53	39,92	5,02	12,6
$\Gamma_K - 300$	37,15	37,3	39,12	37,85	2,95	7,8
HCP_{05}	2,11					

Анализируя данные таблицы 6.4.18, можно сказать, что урожайность озимой ржи в вариантах с гидрогелем выше, чем в контроле, т.е. наблюдается последствие гидрогелей. Особенно это заметно в вариантах с гидрогелем на основе натрия; есть зависимость от дозы гидрогеля. Гидрогель на основе калия в 2015 году дал меньшую прибавку урожая озимой ржи. Повышенная прибавка урожая озимой ржи была получена у натриевого гидрогеля «Ритин-10» со всеми дозами внесения: 100 кг/га; 200 кг/га и 300 кг/га. Прирост составил от 6,6 до 12,6 %. У гидрогеля на основе калия «В-415 К» с этими же дозами, прибавка урожая составила от 3,9 до 7,8 %. Гидрогель на основе натрия обеспечил большую прибавку урожая (Данилова, 2018).

В 2016 году на 5-м году полевого севооборота был посеян ячмень, сорт «Ленинградский». В таблице 6.4.19 представлены данные о накоплении биомассы и высоте растений ячменя по фазам развития.

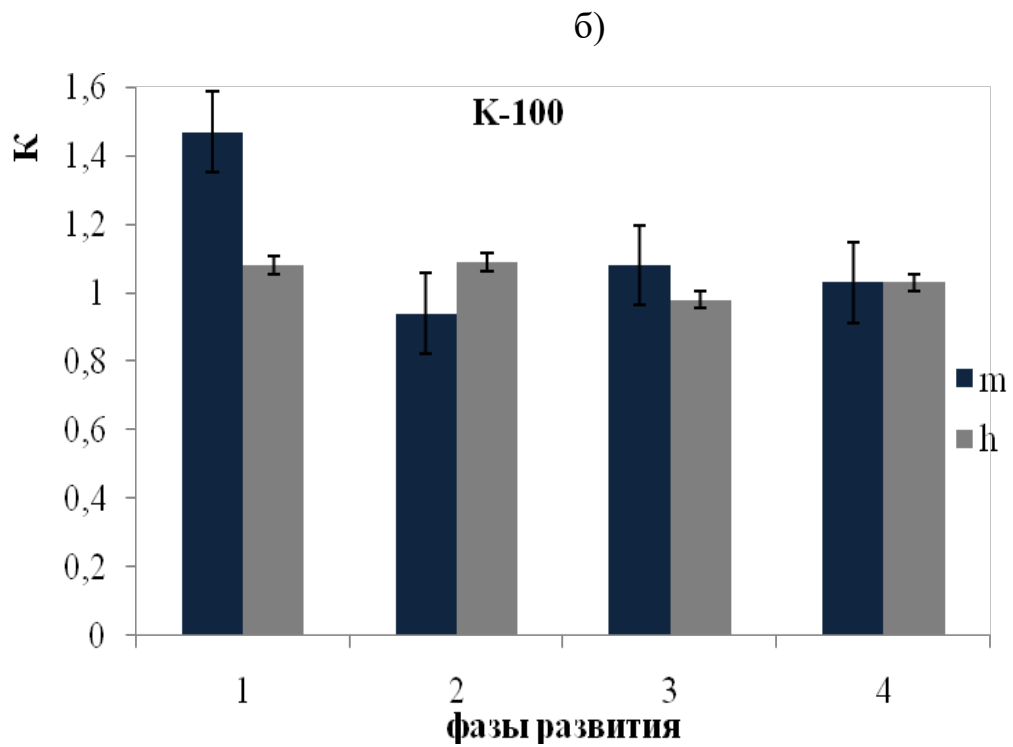
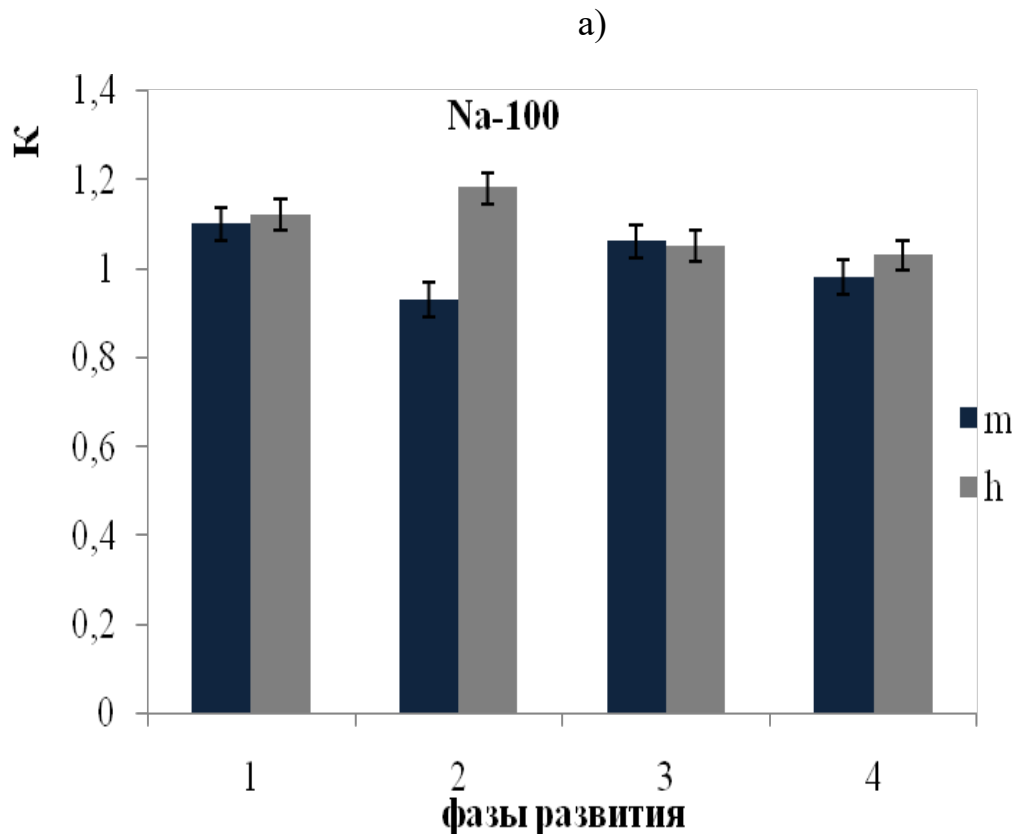
Таблица 6.4.19 - Прирост биомассы ячменя в 2016 г.

Варианты опыта	Фаза развития							
	стеблевание		колошение		цветение		восковая спелость	
	m, кг/м ²	h, см	m, кг/м ²	h, см	m, кг/м ²	h, см	m, кг/м ²	h, см
Контроль	0,14±0,07	26±0,6	0,51±0,1	62,5±0,7	0,60±0,1	62,5±1,3	0,66±0,1	62,5±0,8
Г _{Na} -100	0,15±0,07	28±0,7	0,47±0,17	65,8±0,7	0,64±0,2	65,8±1,2	0,67±0,1	65,5±1,1
Г _K - 100	0,20±0,1	28±0,7	0,48±0,18	61,3±0,7	0,65±0,2	61,3±1,3	0,68±0,1	61,5±0,9
Г _{Na} -200	0,22±0,11	29±0,8	0,49±0,2	67,8±0,7	0,70±0,1	67,5±1,1	1,01±0,2	67,5±1,0
Г _K - 200	0,19±0,1	29±0,8	0,51±0,1	71,0±0,8	0,73±0,1	70,5±1,0	0,94±0,3	69,0±1,2
Г _{Na} -300	0,23±0,1	28±0,7	0,52±0,1	70,0±0,8	0,75±0,1	68,5±1,2	1,18±0,3	68,5±1,1
Г _K -300	0,26±0,1	29±0,8	0,54±0,11	68,8±0,7	0,76±0,2	68,5±1,1	1,08±0,2	68,5±1,2

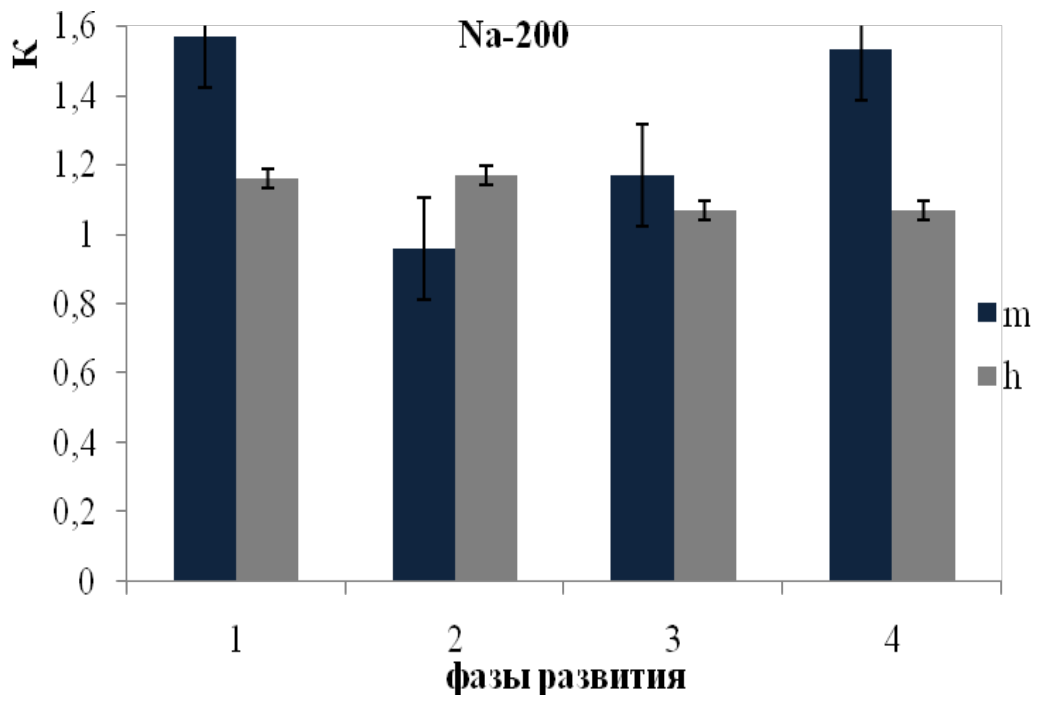
Обозначение: m – биомасса растений; h – высота растений.

Данные в таблице 6.4.19 показывают, что до фазы колошения не было большой разницы между вариантами с точки зрения прироста биомассы. Кроме того, в вариантах с гидрогелем отмечается увеличение биомассы растений в зависимости от дозы гидрогеля. Показатели эффективности применения

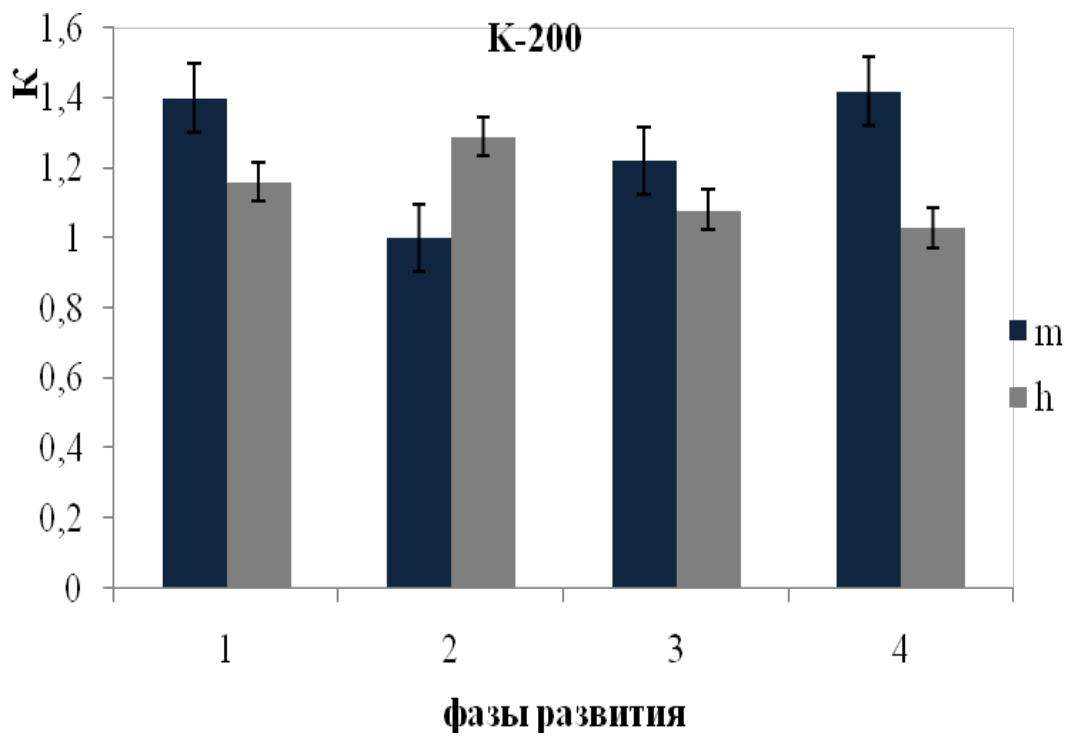
гидрогеля по вариантам опыта представлены на рисунке 6.4.10 (а, б, в, г, д, е).



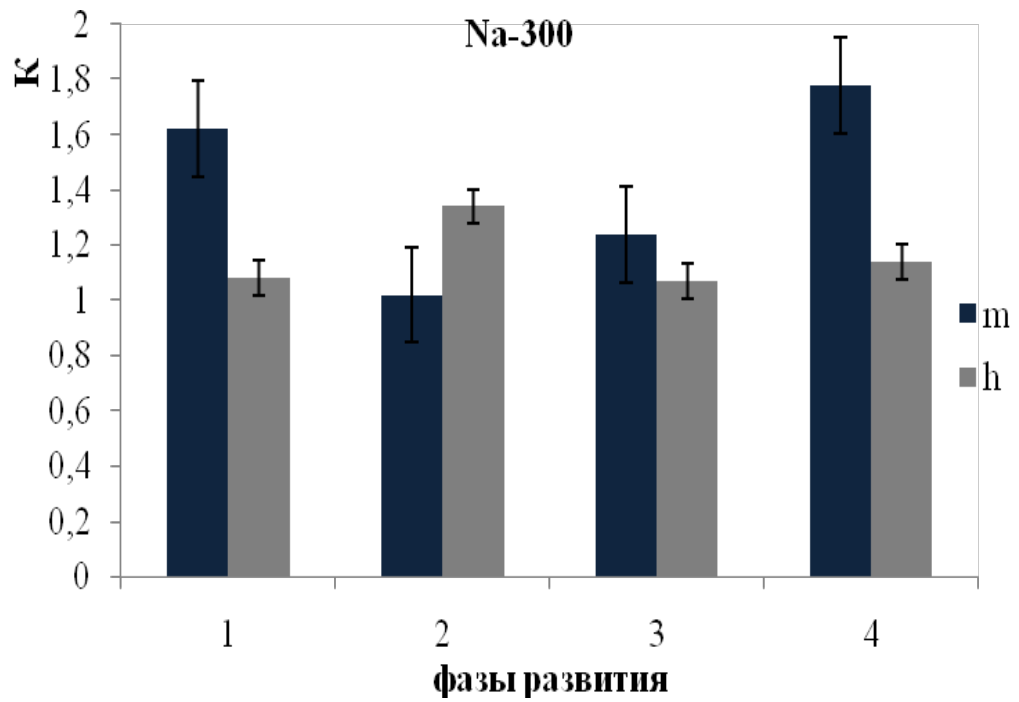
в)



г)



д)



е)

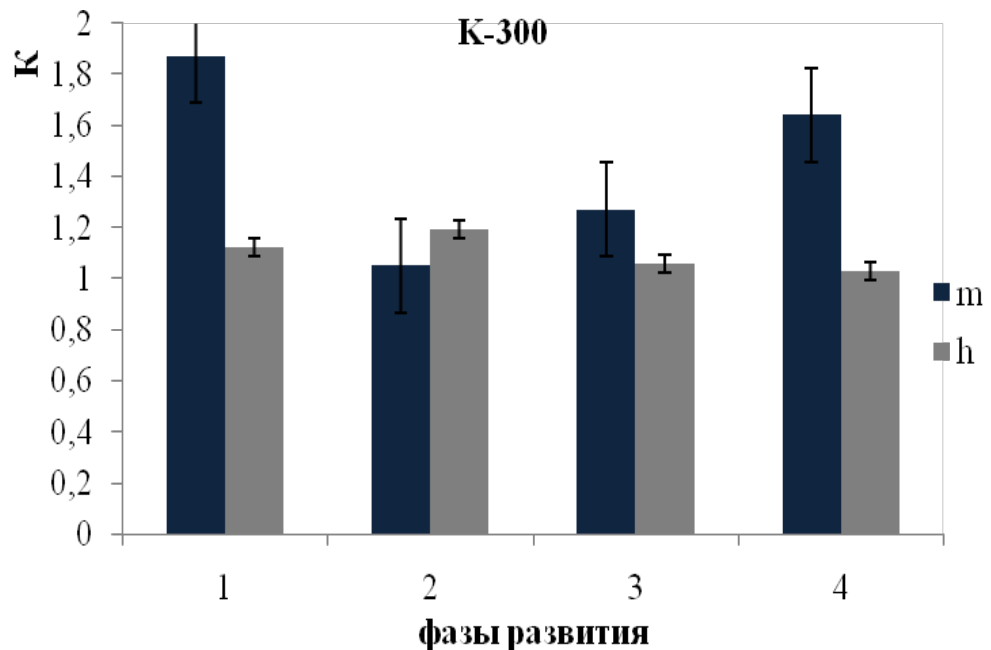


Рис. 6.4.10 - Относительные показатели эффективности применения гидрогеля. Приведены средние (M) и стандартные отклонения (\pm SD)
 Обозначения: фазы развития: 1- стебление; 2 - колошение; 3 - цветение; 4 - восковая спелость.

Относительные показатели: $K_h = \frac{h_\Gamma}{h_K}$; $K_m = \frac{m_\Gamma}{m_K}$, здесь h – высота растений; m – биомасса растений (фитомасса), индексы Γ и K – опыт и контроль соответственно.

Анализируя рисунок 6.4.10 (а, б, в, г, д, е) можно сказать, что во все фазы развития ячменя наблюдался интенсивный прирост биомассы. 2016 год был дождливым, за вегетацию выпало большое количество осадков, поэтому сложно судить о действии гелей на рост и развитие ячменя. Однако разница по вариантам присутствует.

Водообеспечение ячменя определяли по эвапотранспирации в критические («кущение – трубкование») фазы развития культуры (Данилова, 2016). В таблице 6.4.20 показано суммарное испарение ячменя за вегетационный период.

Таблица 6.4.20 - Эвапотранспирация ячменя (МФ ФГБНУ АФИ, 2016 г).

Месяц	Май	Июнь			Июль			Август		
Декада	III	I	II	III	I	II	III	I	II	
контроль										
K_c	0,3	1,10	1,10	1,10	1,15	1,15	1,14	0,21	0,21	
ET_o	29,31	24,03	28,42	30,42	29,34	29,17	33,01	24,87	21,82	мм/дек
K_s	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	
ET_c	7,56	23,76	28,1	30,08	29,27	29,1	32,93	4,49	3,94	мм/дек
Осадки	15,0	16,4	43,0	31,7	49,9	33,5	21,5	51,8	77,8	мм
гидрогель										
K_c	0,3	1,15	1,15	1,15	1,16	1,16	1,16	0,21	0,21	
ET_o	29,31	24,03	28,42	30,42	29,34	29,17	33,01	24,87	21,82	мм/дек
ET_c	8,79	27,63	32,68	34,98	34,03	33,84	38,29	5,22	4,58	мм/дек
Осадки	15,0	16,4	43,0	31,7	49,9	33,5	21,5	51,8	77,8	мм

Примечание: K_c – коэффициент развития культуры; ET_o – эталонная эвапотранспирация; K_s – коэффициент водного стресса; ET_c – потенциальная эвапотранспирация

На рисунке 6.4.11 показана потенциальная эвапотранспирация ячменя в период вегетации.

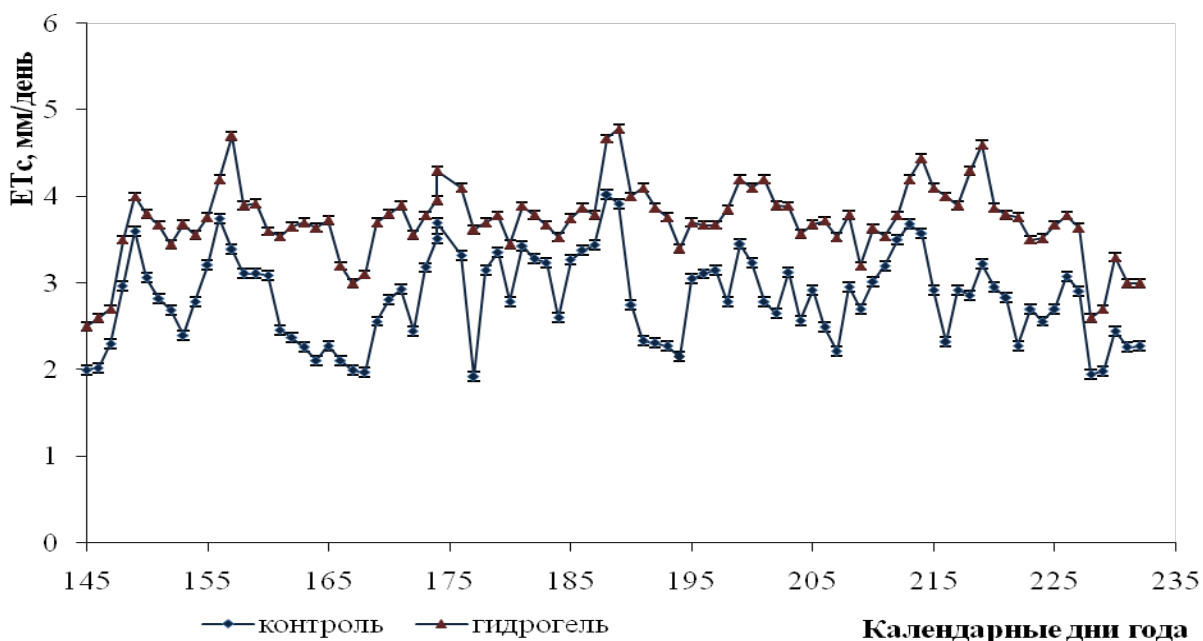


Рис.6.4.11 - Потенциальная эвапотраспирация ячменя в период вегетации.

Графическое изображение на рисунке 6.4.11 показывает, что эвапотранспирация ячменя в варианте с гидрогелем происходила интенсивнее, чем в контроле, то есть наличие доступной влаги в гидрогеле способствовало лучшей транспирации растений. В таблице 6.4.21 показана урожайность ячменя.

Таблица 6.4.21 - Урожайность ячменя, сорт "Ленинградский", ц/га (МФ ФГБНУ АФИ, 2016 г).

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка к контролю	
	I	II	III	среднее	ц/га	%
Контроль	11,95	13,5	12,71	12,72	-	-
$\Gamma_{Na} - 100$	14,86	14,79	13,42	14,36	1,64	11,4
$\Gamma_K - 100$	13,22	15,12	14,11	14,15	1,43	9,9
$\Gamma_{Na} - 200$	15,00	15,25	14,4	14,9	2,18	14,6
$\Gamma_K - 200$	11,7	16,01	13,85	13,85	1,13	8,2
$\Gamma_{Na} - 300$	15,1	14,7	15,32	15,04	2,32	15,4
$\Gamma_K - 300$	12,64	14,6	13,95	13,43	0,71	5,3
$НСР_{0,5}$	2,14					

По данным таблицы 6.4.21, можно сказать, что урожай ячменя в вариантах с гидрогелем отличается от урожайности в контроле. Последействие гидрогелей

особенно заметно в вариантах с гидрогелем на основе натрия; есть зависимость от дозы гидрогеля. Прибавка урожая составила от 11,4 до 15,4 %. Гидрогель на основе калия в 2016 году проявил себя немного хуже, чем натриевый гидрогель. Прибавка урожая составила от 5,3 до 9,9 %. У этого гидрогеля проявилась тенденция в снижении прироста урожая с увеличением дозы внесения.

Проведенные исследования пролонгированного действия гидрогелей Ритин-10 и В 415 К показали, что последствие гидрогелей в полевом севообороте на пятый год после внесения еще продолжалось. Вероятно, это можно объяснить тем, что происходящие климатические изменения (более теплые зимние периоды) незначительно влияют на структуру гидрогелей и это способствует продлению срока производительности гидрогелей в почве.

6.5 Продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях модельной почвенной засухи «засушник» при использовании гидрогелей

В 2015-2017 гг. на МФ ФГБНУ АФИ в специальной установке «засушнике» (рисунок 6.5.1) изучали действие полимерных гелей Ритин-10 и В 415 К на продуктивность зерновых культур в условиях модельной почвенной засухи (Данилова, 2018). В «засушнике» можно моделировать атмосферную и почвенную засухи в засушливые годы, во влажные годы – только почвенную (Данилова, Табынбаева, 2022). Для сравнения такой же эксперимент проводили в полевых условиях. Для исследования были взяты районированные в Северо-Западном регионе сорта зерновых культур.



защитная полоса						
3. П о л о с а	К	Na (10–12см)	К (10–12см)	Na (20–22см)	К (20–22 см)	3. П о л о с а
	К	Na (10–12см)	К (10–12см)	Na (20–22см)	К (20–22см)	
	К	Na (10–12см)	К (10–12см)	Na (20–22см)	К (20–22 см)	
	К	Na (10–12см)	К (10–12 см)	Na (20–22см)	К (20–22 см)	
	К	Na (10–12 см)	К (10–12 см)	Na (20–22см)	К (20–22 см)	
защитная полоса						

Рис.6.5.1- Вегетационный микрополевой эксперимент и схема опыта.

Обозначения: К – контроль; Na (10–12) и К (10–12) – гидрогель, внесенный в корнеобитаемый слой 10–12 см; Na (20–22) и К (20–22) – гидрогель, внесенный в слой 20–22 см. Na – гидрогель натриевая основа; К–гидрогель калиевая основа (Данилова, 2018; Данилова и др., 2021)

Варианты опыта:

1. Контроль – фон $N_{80}P_{80}K_{80}$
2. Фон $N_{80}P_{80}K_{80} + \Gamma_{Na} (10-12 \text{ см})$
3. Фон $N_{80}P_{80}K_{80} + \Gamma_{K} (10-12 \text{ см})$
4. Фон $N_{80}P_{80}K_{80} + \Gamma_{Na} (20-22 \text{ см})$
5. Фон $N_{80}P_{80}K_{80} + \Gamma_{K} (20-22 \text{ см})$

Перед закладкой опыта был проведен химический анализ почвы в засушнике и в полевых условиях. Данные анализа представлены в таблице 6.5.1

Таблица 6.5.1 - Содержание основных элементов питания в почве перед закладкой опыта (2015 г.)

№ пробы	рН сол, ед. рН	Подвижный фосфор, мг/кг	Подвижный калий, мг/кг	Органическое в-во, %	Азот валовой, %
"засушник"	5,8	165	117	3,91	0,18
полевые условия	5,8	194	224	3,94	0,19

«Ячмень яровой, сорт «Ленинградский» в 2015 году был посеян во второй декаде мая (18 - ого числа) в вегетационные сосуды. Всходы растений ячменя

появились в "засушнике" через 8 дней (26 мая) в вариантах с гидрогелями, размещенными в корнеобитаемой (10-12 см) зоне. На контроле всходы отсутствовали. При внесении полимерных гелей в слой 20-22 см отмечено появление единичных растений. В полевых условиях всходов не было. В 2016 г. пшеница, сорт «Дарья» была посеяна одновременно во всех вариантах опыта, во второй декаде (16 -ого мая). Всходы растений в «засушнике» появились через 6 дней (22 мая) в вариантах с гидрогелями при размещении в слое 10-12 см, на контроле всходы – отсутствовали. Отдельные растения отмечены в вариантах с гелями, внесенными в пахотный слой 20-22 см. В полевых условиях всходы появились 24 мая во всех экспериментальных вариантах. Ячмень, сорт «Атаман» в 2017 году был посеян в вегетационные сосуды «засушника» 23 мая. Всходы появились 30 мая в условиях модельной почвенной засухи в вариантах опыта с гидрогелем, размещенным в корнеобитаемом слое 10–12 см, в «засушнике» на контроле растений не было. При размещении гелей на глубине 20-22 см, отмечено появление единичных растений. В вегетационных сосудах в полевых условиях всходов ячменя не было»¹.

На рисунке 6.5.2 представлен микрополевой опыт в условиях модельной почвенной засухи («засушник») и в полевых условиях



Рис.6.5.2 - Исследование влияния гидрогелей на водообеспечение зерновых культур: а) «засушник», б) полевые условия (по Даниловой, 2018, 2021)

¹ Данилова Т.Н. Влияние полимерных гелей «Ритин-10» и «В 415-К» на водообеспечение зерновых культур в условиях почвенной засухи / Т.Н. Данилова // Агрофизика. - 2018. - № 1. - С. 1 - 9

"Растения ячменя и пшеницы в «засушнике» до кущения поливали по показаниям почвенного влагомера, влажность почвы поддерживали на уровне менее 70% НВ (наименьшая влагоемкость). Влияние почвенной засухи (55-60% НВ) на рост и развитие растений ячменя и пшеницы начинали после прохождения растениями фазы кущения" (Данилова, 2018, с.4).

В результате исследований, проведенные в 2015 году, было выявлено, что на культуре ячменя «гидрогель в условиях засухи не проявил себя в качестве водоудерживающей добавки. Положительное влияние гидрогеля отмечено только при более раннем, чем в полевых условиях, появлении всходов ячменя, т.е в вариантах опыта в «засушнике» с гидрогелем, внесенным в слой 10 — 12 см» (Данилова, 2018, с.4). В вариантах с гелем В- 415 К растения ячменя внешне выглядели лучше, чем у Ритин -10. Наличие калия в структуре гидрогеля способствовало тому, что растения в период кущение – колошение легче переносили дефицит влаги (Данилова, 2018). Данные об урожайности зерна ячменя представлены в таблице 6.5.2.

Таблица 6.5.2 - Урожайность зерна ячменя, сорт "Ленинградский" в «засушнике», (г/ сосуд) – 2015 г (Данилова, 2018).

Варианты опыта	Повторности						Прибавка к контролю	
	I	II	III	IV	V	среднее	г/сосуд	%
Контроль	53,32	49,57	56,52	49,63	48,23	51,25	-	-
ГГ _{Na} (10-12 см)	52,2	63,11	56,05	47,98	48,23	53,51***	2,26	4,40
ГГ _K (10 -12 см)	56,57	62,73	40,65	49,79	56,82	53,31	2,06	4,02
ГГ _{Na} (20-22 см)	66,53	64,66	40,42	54,83	41,25	53,54***	2,29	4,46
ГГ _K (20 -22 см)	46,63	64,42	54,62	50,79	48,3	52,95	1,70	3,32

Достоверность отличия от контроля: * p <0,05; ** p <0,01; *** p <0,001.

Анализируя данные таблицы 6.5.2, можно сказать, что гидрогель в «засушнике» достоверно (p <0,015) повысил урожайность культуры, но незначительно (всего 3-4 %) по сравнению с контролем. Однако созревание

наступило на неделю раньше, чем в полевых условиях и зерно было чище и крупнее (Данилова, 2018). В таблице 6.5.3 показана урожайность ячменя в полевых условиях.

Таблица 6.5.3 - Урожайность зерна ячменя, сорт "Ленинградский", в полевых условиях (г/сосуд) – 2015 г (Данилова, 2018).

Варианты опыта	Повторения						Прибавка к контролю	
	I	II	III	IV	V	среднее	г/сосуд	%
Контроль	35,77	40,37	30,29	34,59	30,35	34,27	-	-
ГГ _{Na} (10-12 см)	42,98	50	51,99	36,82	51,27	46,61*	12,34	36,0
ГГ _K (10 -12 см)	44,82	46,35	50,69	36,85	45,93	44,93*	10,66	31,10
ГГ _{Na} (20-22 см)	62,39	52,21	43,77	40,42	34,73	46,7*	12,43	36,27
ГГ _K (20 -22 см)	45,41	43,57	42,24	37,45	41,89	42,11*	7,84	22,88

Достоверность отличия от контроля: *p <0,05; **p <0,01; ***p <0,001.

«При анализе данных урожайности зерна ячменя в полевых условиях (табл. 6.5.3), выявлено, что внесение гидрогеля достоверно (p <0,05) повысило урожайность во всех вариантах опыта. Полимер Ритин -10 оказался наиболее эффективным, прибавка урожая составила 36% при размещении в корнеобитаемой зоне (10-12 см), и 36,3% при внесении на глубину пахотного слоя (20-22 см). Прирост урожая гидрогеля В-415 К, составил 22,9% при внесении в слой 20-22 см и 31% при размещении в верхнем (10-12 см) слое почвы (Данилова, 2018, с.7). Показатели урожайности зерна пшеницы в «засушнике» приведены в таблице 6.5.4.

В результате анализа урожайности зерна (табл. 6.5.4) обнаружено, что урожайность в «засушнике» была выше только в вариантах с гидрогелем, внесенным на глубину пахотного слоя 20-22 см. При внесении в верхний корнеобитаемый слой 10-12 см, урожайность оказалась ниже контроля.

Таблица 6.5.4 - Урожайность зерна пшеницы, сорт "Дарья", в «засушнике» (г/сосуд) – 2016 г (Данилова, 2018).

Варианты опыта	Повторения						Прибавка к контролю	
	I	II	III	IV	V	среднее	г/сосуд	%
Контроль	29,0	28,3	27,6	29,0	29,67	28,71	-	-
ГГ _{Na} (10-12 см)	25,35	28,6	28,6	29,25	27,95	27,95	- 0,76	- 2,65
ГГ _K (10 -12 см)	28,2	28,4	25,83	27,72	27,72	27,68	- 1,11	- 3,87
ГГ _{Na} (20-22 см)	30,6	29,56	29,92	31,28	30,6	30,4**	1,7	5,9
ГГ _K (20 -22 см)	36,0	31,5	34,5	31,5	30,75	32,85***	4,14	14,42

Достоверность отличия от контроля: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

«Результаты статистического анализа не показали достоверных (p < 0,0001) отличий между контролем и вариантами с внесением геля в корнеобитаемый слой (10-12 см) почвы. Достоверные различия (p < 0,001) были получены у гидрогеля на калиевой основе и у гидрогеля на натриевой основе (p < 0,01) при внесении на глубину 20-22 см. Увеличение урожая от внесенного гидрогеля отмечено у В-415 К, прибавка составила 14,4% по сравнению с контролем. Внешне зерно пшеницы, полученное в «засушнике» было более спелое и крупное, а полное созревание наступало на семь дней раньше, чем в полевых условиях» (Данилова, 2018, с.7). В таблице 6.5.5 показана урожайность пшеницы в полевых условиях.

Таблица 6.5.5 - Урожайность зерна пшеницы, сорт "Дарья", в полевых условиях (г/сосуд) – 2016 г (Данилова, 2018).

Варианты опыта	Повторения						Прибавка к контролю	
	I	II	III	IV	V	среднее	г/сосуд	%
Контроль	17,94	18,86	15,18	17,5	18,86	17,67	-	-
ГГ _{Na} (10-12 см)	17,4	18,53	18,33	16,95	17,4	17,72	0,05	0,3
ГГ _K (10 -12 см)	20,0	17,0	19,5	17,5	17,5	18,3	0,63	3,6
ГГ _{Na} (20-22 см)	17,1	16,65	18,0	20,7	20,25	18,54**	0,87	4,9
ГГ _K (20 -22 см)	24,36	19,72	23,8	25,52	24,94	23,66***	5,99	33,9

Достоверность отличия от контроля: * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

В период вегетации 2016 года выпало большое количество осадков (489,15 мм), что привело к снижению урожайности пшеницы. В полевых условиях (таблица 6.5.5) урожайность пшеницы была чуть выше в вариантах с гелями Ритин -10 и В - 415 К при внесении в корнеобитаемый слой, чем на контроле. Внесение полимерного геля достоверно ($p < 0,001$) увеличило урожайность во всех вариантах опыта. Особенно эффективен был В - 415 К при размещении на глубине 20-22 см, прибавка урожая составила 33,9 % (Данилова, 2018). Данные об урожайности зерна ячменя в «засушнике» представлены в таблице 6.5.6.

Таблица 6.5.6 - Урожайность зерна ячменя, сорт Атаман в «засушнике» (г/сосуд) - 2017 г.

Варианты опыта	Повторения						Прибавка к контролю	
	I	II	III	IV	V	среднее	г/сосуд	%
Контроль	35,27	34,33	41,66	42,85	38,34	38,49	-	-
ГГ _{Na} (10-12 см)	39,32	48,06	32,21	37,69	45,93	40,64	2,15	5,58
ГГ _K (10 -12 см)	38,00	50,22	42,3	42,03	38,84	42,28	3,79	9,85
ГГ _{Na} (20-22 см)	59,77	42,58	46,11	47,06	45,70	48,23**	9,74	25,3
ГГ _K (20 -22 см)	55,93	46,32	55,64	45,57	42,23	49,14**	10,65	27,67

Достоверность отличия от контроля: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Данные таблицы 6.5.6 показывают, что урожай зерна в вариантах с гидрогелем отличается от контроля. Внесение полимера в верхний корнеобитаемый слой (10-12 см), повысило урожайность на 5,6 % у Ритин -10 и 9,9 % у В - 415 К. Статистическая обработка достоверных различий от контроля в этих вариантах не показала. Однако, внесение гелей на глубину 20-22 см достоверно ($p < 0,01$) увеличило урожай, прибавка превысила контроль на 25-27,7 %. Зерно ячменя, полученное из «засушника» было более зрелое и крупное, чем в полевых условиях (Данилова, 2018). Вегетационный период 2017 года был очень влажным, влага удерживалась гелями в верхнем корнеобитаемом слое (10-12 см) и даже присутствовала в избытке. Урожайность ячменя в полевых условиях показана в таблице 6.5.7.

Таблица 6.5.7 - Урожайность зерна ячменя в полевых условиях (г/сосуд) -2017 г.

Варианты опыта	Повторения						Прибавка к контролю	
	I	II	III	IV	V	среднее	г/сосуд	%
Контроль	28,82	30,64	35,1	37,8	30,6	32,6	-	-
ГГ _{Na} (10-12 см)	28,12	31,08	28,12	34,04	28,12	29,9	-2,7	- 8,3
ГГ _K (10 -12 см)	32,0	28,0	26,4	36,0	34,4	31,36	-1,24	- 3,81
ГГ _{Na} (20-22 см)	30,69	34,41	30,69	28,83	27,9	30,5	-2,1	- 6,44
ГГ _K (20 -22 см)	26,52	30,6	26,52	27,88	31,28	28,56	-4,04	- 12,4

Достоверность отличия от контроля: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Из-за очень влажного года наличие гидрогеля в почве отрицательно сказалось на продуктивности ячменя. Внесение гидрогеля в полевых условиях не привело к достоверному ($p < 0,001$) повышению урожайности зерна ячменя. При размещении гелей слоем 10-12 см, урожайность ячменя оказалась ниже, чем на контроле (Данилова, 2018). Графики по урожайности зерновых культур в «засушнике» и в полевых условиях представлены на рисунках 6.5.3. и 6.5.4.

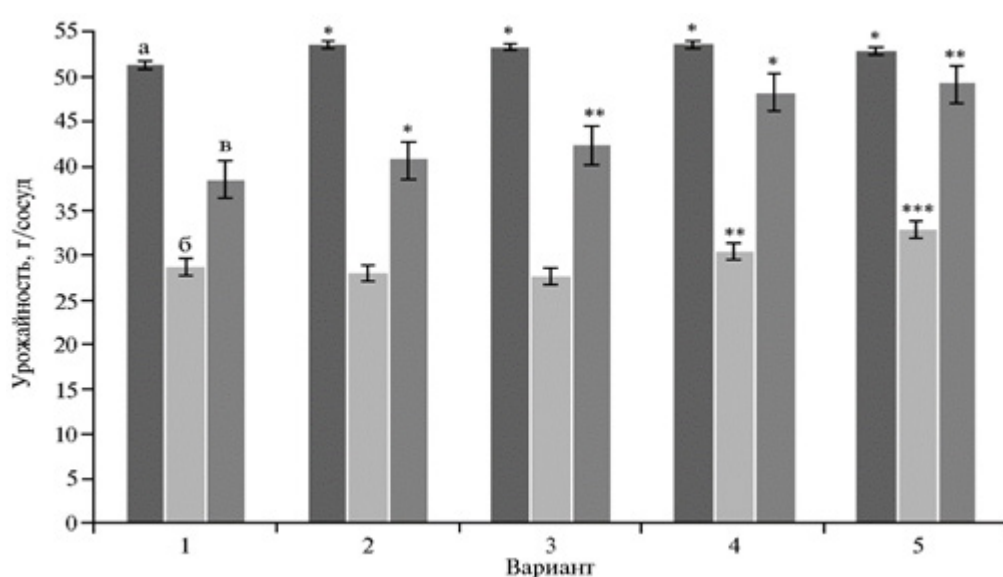


Рис. 6.5.3 - Урожайность ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Ленинградский (2015 год) (а), яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Дарья (2016 год) (б), ярового ячменя сорта Атаман (2017 год) (в) при внесении в почву отечественных полимерных гелей в условиях смоделированной почвенной засухи: 1 — контроль (фон N90P90K90), 2 — N90P90K90 + Ритин-10 (глубина внесения 10-12 см), 3 — N90P90K90 + В-415 К (10-12 см), 4 — N90P90K90 + Ритин-10 (20-22 см), 5 — N90P90K90 + В-415 К (20-22 см) ($n = 5$, $M \pm SEM$; опыт в «засушнике», ФГБНУ Агрофизический институт, Меньковский филиал, Ленинградская обл.)

*, **, *** Различия с контролем статистически значимы соответственно при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$ (Данилова, Табынбаева, 2022).

«Анализируя рисунок 6.5.3 можно сказать, что применение гидрогеля в «засушнике» в 2015 году незначительно повысило урожайность ячменя сорта Ленинградский по сравнению с контролем (на 3-4 %, $p < 0,05$). Урожайность пшеницы сорта Дарья в 2016 году оказалась выше контроля только в вариантах с гидрогелями обоих типов, размещенными на глубине 20-22 см (для В-415 К и Ритина-10 различия статистически значимыми соответственно при $p < 0,001$ и $p < 0,01$; внесение Ритина-10 и В-415 К увеличило урожайность соответственно на 5,9 и 14,6 %). В 2017 году урожайность ячменя сорта Атаман (см. рис. 6.5.3) изменялась незначительно при размещении гелей в корнеобитаемой зоне (10-12 см): с Ритином-10 — на 5,6 %, с В-415 К — на 9,9 % выше контроля. При внесении на глубину 20-22 см статистически значимую ($p < 0,05$) прибавку урожайности на 25,0-27,7 % отмечали в обоих вариантах опыта»².

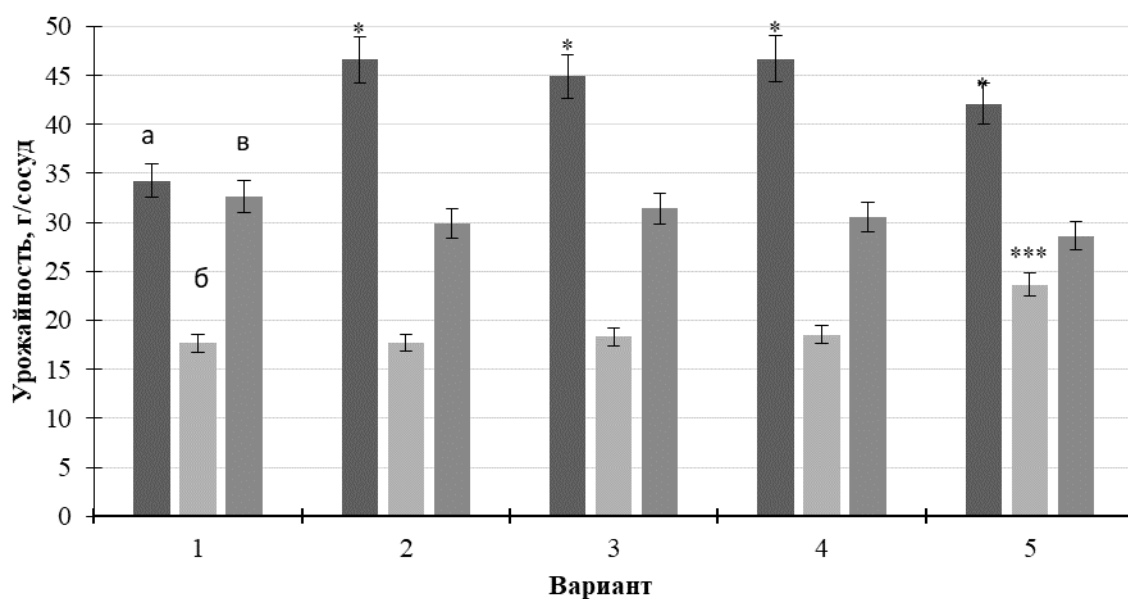


Рис. 6.5.4 - Урожайность ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Ленинградский (2015 год) (а), яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Дарья (2016 год) (б), ярового ячменя сорта Атаман (2017 год) (в) при внесении в почву отечественных полимерных гелей в полевых условиях: 1 — контроль (фон N90P90K90), 2 — N90P90K90 + Ритин-10 (глубина внесения 10-12 см), 3 — N90P90K90 + В-415 К (10-12 см), 4 — N90P90K90 + Ритин-10 (20-22 см), 5 — N90P90K90 + В-415 К (20-22 см) ($n = 5$, $M \pm SEM$; ФГБНУ Агрофизический институт, Меньковский филиал, Ленинградская обл.).

*, **, *** Различия с контролем статистически значимы соответственно при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$.

² Данилова Т.Н. О формировании продуктивности зерновых культур при внесении гидрогелей в условиях модельной почвенной засухи и в полевых условиях / Т.Н. Данилова, Л.К. Табынбаева // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т.57. - № 3. – С. 460 - 475.

Анализируя рисунок 6.5.4 можно отметить, что в 2015 году применение гидрогеля в полевых условиях повысило (статистически значимы при $p < 0,05$) урожайность ячменя сорта Ленинградский во всех вариантах опыта. Наиболее эффективным оказался гидрогель Ритин -10 (Данилова, Табынбаева, 2022). Прибавка урожая от этого геля составила от 36 % (при внесении в корнеобитаемую зону) и 36,3 % - (при внесении на глубину пахотного слоя). В 2016 году на пшенице сорта Дарья повышение урожайности на 33,9 % по сравнению с контролем, отмечено только в варианте с гидрогелем В - 415 К при внесении геля на глубину 20-22 см. «Период вегетации 2017 года был не очень благоприятный для роста и развития ярового ячменя сорта Атаман. Температурный фон в мае 2017 года оказался ниже нормы на 2,0-5,00 С, выпало 31 % осадков от месячной нормы. Отклонение среднемесячной температуры воздуха в июне от климатической нормы составило 2,0-4,0⁰ С, месячная сумма осадков составила 93,6 %. В июле среднемесячная температура воздуха также была на 2,0-3,6⁰ С выше нормы, количество осадков совпало с климатической нормой. Среднемесячная температура августа оказалась на 0,4⁰С выше среднемноголетних данных, выпало 148 % осадков» (Данилова, Табынбаева, 2022, с. 465). Избыток влаги в вариантах опыта с гидрогелем привел к снижению урожайности ячменя сорта Атаман.

Структура урожая зерновых культур

Одним из важных показателей структуры урожая является величина продуктивной кустистости - число плодоносящих стеблей, приходящееся на одно растение. От нее зависит урожайность культуры (Ионова, 2008, Земцова и др., 2015). Природно-климатические условия оказывают большое влияние на длину колоса, количество колосков и урожайность зерновых культур (Батакова, Корелина, 2017). Недостаток или избыток тепла, влаги в определенные периоды развития существенно влияет на урожайность и качество зерна. Внесение гидрогелей в корнеобитаемую зону обеспечивает дополнительное количество влаги для сельскохозяйственных культур в «критические» периоды развития

(Данилова, 2021). В работе (Grabiński, Wyzińska, 2018) отмечено, что гидрогель не оказывает влияния на количество растений и число колосьев, однако он повышает количество зерен в колосе и массу 1000 зерен. В работах (Тибирьков, Филин, 2012; Лекомцев, 2015; Сахибгареев и др., 2016) показано, что биологическая продуктивность зерновых культур тесно связана с продуктивной кустистостью, количеством зерен в колосе и массой зерна с 1 колоса. В таблице 6.5.8 представлена структура урожая зерновых культур в «засушнике» за вегетационный период 2015 – 2017 годов. «Из данных таблицы 6.5.8 следует, что в условиях почвенной засухи («засушник») все показатели структуры урожая ячменя, сорт «Ленинградский» были лучшими в вариантах с гидрогелем на натриевой и калиевой основе, при размещении геля на глубине 20-22 см. Коэффициент продуктивного кушения (1,23-1,25), количество зерен в колосе (33-35 штук), масса зерна с 1 колоса (1,15-1,17 г) и масса 1000 зерен (38 г) превышают контрольные значения. В вариантах, при размещении геля в корнеобитаемой зоне (10-12 см), структурные показатели незначительно превышают контроль. В 2016 году на пшенице, сорт «Дарья» присутствие гелей в почве существенного влияния на структуру урожая не оказало. Коэффициент продуктивной кустистости составил: на контроле - 1,14; в варианте с гелем Ритин -10 (10-12 см) - 1,2; с полимером В - 415 К (10-12 см) - 1,28; при внесении на глубину 20-22 см, у Ритин -10 -1,18; у геля В - 415 К (20-22 см) - 1,3. Количество зерен в колосе: контроль – 24 штуки; в вариантах Ритин-10 и В -415 К при размещении в слое 10-12 см - 22- 27 штук; в вариантах полимерных гелей при внесении в слой 20-22 см - 28-29 штук. Масса зерна с одного колоса составила: на контроле -0,52 г; Ритин -10 (10-12 см) - 0,47 г; В -415 К (10-12 см) - 0,89 г; Ритин -10 (20-22 см) -1,03 г; В -415 К (20-22 см) - 0,92 г. У гидрогеля Ритин -10, внесенным в корнеобитаемый слой (10-12 см) показатели структуры урожая пшеницы были ниже, чем на контроле и у геля В-415 К. Лучшие показатели (масса 1000 зерен) были получены при внесении гидрогелей на глубину (20-22 см)»³.

³ Данилова Т.Н. Влияние гидрогелей на показатели структуры урожая зерновых культур в условиях почвенной засухи «засушник» и в полевых условиях / Т.Н. Данилова // Известия СПб ГАУ. - 2021. - № 3 (64). - С.31-39

Таблица 6.5.8 - Элементы структуры урожая зерновых культур при внесении в почву отечественных полимерных гелей в условиях смоделированной почвенной засухи ($n = 5$, $M \pm SEM$; опыт в «засушнике», ФГБНУ Агрофизический институт, Меньковский филиал, Ленинградская обл.), (по Даниловой, Табынбаевой, 2022)

Вариант	Число продуктивных стеблей шт/сосуд	Продуктивная кустистость, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса		Урожайность	
				зерна с колоса, г	1000 зерен, г	г/сосуд	прибавка к контролю, %
Ячмень яровой (<i>Hordeum vulgare</i> L.) сорта Ленинградский (2015 год)							
Контроль	48±2	1,18±0,08	31±3	0,98±0,51	37,0±0,93	51,3±0,4	
Ритин-10 (10-12 см)	53±3	1,21±0,09	30±2	1,06±0,61	36,0±0,95	53,5±0,5*	4,3
В-415 К (10-12 см)	55±3	1,22±0,09	29±2	0,83±0,50	37,5±0,76	53,3±0,5*	3,9
Ритин-10 (20-22 см)	56±3	1,23±0,09	33±3	1,15±0,57	38,0±0,80	53,5±0,5*	4,3
В-415 К (20-22 см)	57±2	1,25±0,09	35±2	1,17±0,57	38,0±0,79	53,0±0,5*	3,3
Пшеница яровая (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорта Дарья (2016 год)							
Контроль	48±2	1,14±0,07	24±2	0,52±0,63	29,0±1,71	28,7±0,5	
Ритин-10 (10-12 см)	52±3	1,20±0,08	22±3	0,47±0,42	27,0±2,12	28,0±0,4	-2,4
В-415 К (10-12 см)	54±3	1,28±0,08	27±2	0,89±0,57	33,5±1,51	27,7±0,5	-3,5
Ритин-10 (20-22 см)	52±2	1,18±0,09	29±2	1,03±0,50	36,0±1,03	30,4±0,6**	5,9
В-415 К (20-22 см)	56±2	1,30±0,09	28±2	0,92±0,32	34,0±1,10	32,9±0,4***	14,6
Ячмень яровой (<i>Hordeum vulgare</i> L.) сорта Атаман (2017 год)							
Контроль	43±2	1,10±0,08	19±3	0,83±0,22	47,0±0,66	38,5±0,6	
Ритин-10 (10-12 см)	42±3	1,13±0,09	19±2	0,77±0,18	52,1±0,50	40,6±0,5*	5,5
В-415 К (10-12 см)	46±2	1,12±0,09	19±2	0,82±0,21	49,0±0,56	42,3±0,6**	9,9
Ритин-10 (20-22 см)	47±2	1,12±0,08	20±3	0,94±0,18	55,1±0,46	48,2±0,6*	25,2
В-415 К (20-22 см)	47±2	1,12±0,09	20±3	1,04±0,17	52,0 ±0,56	49,1±0,6**	27,5

Примечание. Во всех вариантах фон — N₉₀P₉₀K₉₀.

*, **, *** Различия с контролем статистически значимы соответственно при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

«В 2017 году показатели структуры урожая ячменя сорта «Атаман» примерно одинаковы во всех вариантах с полимерами и незначительно отличаются от контроля. Коэффициент продуктивной кустистости: на контроле - 1,10; Ритин-10- (10-12 см) - 1,13; В - 415 К - (10-12 см) - 1,12; Ритин -10- (20-22 см) -1,12; В-415 К -(20-22 см) - 1,12. Количество зерен в колосе: на контроле - 19 штук; в вариантах с введенным в слой гидрогелем (10-12 см) - 19 штук; в вариантах с введенным в слой гидрогелем (20-22 см) - 20 штук. Масса зерна с одного колоса составила: на контроле -0,83 г; Ритин -10 -(10-12 см) - 0,77 г; В -415 К - (10-12 см) - 0,82 г; Ритин -10- (20-22 см) -0,94 г; В -415К - (20-22 см) - 1,04 г. По массе 1000 зерен, лучшими были варианты с гелями: Ритин -10, при внесении в верхний (10 - 12 см) слой -52,1 г; В -415 К, внесенный в корнеобитаемый (10-12 см) слой - 49 г; Ритин -10, размещенный на глубине (20-22 см) - 55,1 г; В -415 К, размещенный в пахотном (20-22 см) слое - 52 г; контрольный вариант - 47 г (Данилова, 2021, с.35). Для установления связи между показателями структуры урожая и урожайностью зерновых культур были рассчитаны коэффициенты корреляции (таблица 6.5.9).

Таблица 6.5.9 - Коэффициенты корреляции (r), характеризующие зависимость урожайности зерновых культур от показателей по элементам структуры урожая при внесении в почву полимерных гелей Ритин -10 и В -415 К в условиях смоделированной почвенной засухи («засушник», Меньковский филиал ФГБНУ АФИ) (по Даниловой, Табынбаевой, 2022)

Число продуктивных стеблей, шт.	Продуктивная кустистость, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с 1 колоса, г.	Масса 1000 зерен, г.
$Y = f$ (контроль)				
-0,79*	-0,80*	-0,73*	-0,68*	-0,63
$Y = f$ (Ритин-10 в слое 10-12 см)				
-0,64*	0,72*	0,47	0,62	0,88*
$Y = f$ (Ритин -10 в слое 20-22 см)				
-0,83*	0,77*	-0,55	-0,81*	0,62
$Y = f$ (В-415 К в слое 10-12 см)				
0,75*	0,99*	0,43	0,89*	0,63
$Y = f$ (В-415 К в слое 20-22 см)				
0,58	0,70*	0,58	0,74*	0,71*
*Корреляции статистически значимы при $p = 0,05$ (критическое значение (r) на 5-% уровне значимости 0,63)				

«Анализ корреляций между элементами структуры урожая и урожайностью зерновых культур (табл. 6.5.9) показал, что в условиях смоделированной почвенной засухи при внесении гидрогеля Ритин-10 в верхний корнеобитаемый слой урожайность зерновых культур тесно коррелировала с продуктивной кустистостью ($r = 0,72$), массой зерна с колоса ($r = 0,62$) и массой 1000 зерен ($r = 0,88$). Обратную корреляционную связь урожайность имела с числом продуктивных стеблей ($r = - 0,64$) и слабую корреляцию — с числом зерен в колосе ($r = 0,47$). При размещении геля Ритин-10 в слое 20-22 см коэффициенты корреляции показали достаточно тесную связь урожайности со всеми элементами структуры урожая. Урожайность имела обратные корреляционные связи с числом продуктивных стеблей ($r = - 0,83$), числом зерен в колосе ($r = - 0,78$) и массой зерна с одного колоса ($r = - 0,78$). При внесении полимера В-415 К на глубину 10-12 см отмечали тесную корреляцию урожайности культур с продуктивной кустистостью ($r = 0,99$), массой зерна с колоса ($r = 0,89$) и массой 1000 зерен ($r = 0,63$); слабая связь установлена с числом зерен в колосе ($r = 0,43$). При размещении геля В-415 К на глубине 20-22 см наблюдали менее тесную зависимость урожайности от числа продуктивных стеблей ($r = 0,58$) и зерен в колосе ($r = 0,58$) и тесную связь с продуктивной кустистостью ($r = 0,70$), массой зерна с колоса ($r = 0,74$) и с массой 1000 зерен ($r = 0,71$). Критическое значение r на 5 % уровне значимости 0,63. Таким образом, основные элементы структуры урожая, на которые гидрогели в условиях смоделированной почвенной засухи оказывали существенное влияние — продуктивная кустистость, масса зерна с колоса и масса 1000 зерен. При внесении гидрогеля в слой 20-22 см практически все показатели структуры урожая были лучше, чем на контроле и при внесении в слой 10-12 см. В условиях модельной почвенной засухи, гидрогель, внесенный в корнеобитаемый слой почвы (10-12 см) высыхает и не действует как водоудерживающая почвенная добавка»¹. В таблице 6.5.10 представлены показатели структуры урожая зерновых культур 2015-2017 гг. в полевых условиях.

¹ Данилова Т.Н. О формировании продуктивности зерновых культур при внесении гидрогелей в условиях модельной почвенной засухи и в полевых условиях / Т.Н. Данилова, Л.К. Табынбаева // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т.57. - № 3. – С. 460 - 475.

Таблица 6.5.10 - Элементы структуры урожая зерновых культур при внесении в почву отечественных полимерных гелей в полевых условиях ($n = 5$, $M \pm SEM$; ФГБНУ Агрофизический институт, Меньковский филиал, Ленинградская обл.)

Вариант	Число продуктивных стеблей шт/сосуд	Продуктивная кустистость, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса		Урожайность	
				зерна с колоса, г	1000 зерен, г	г/сосуд	прибавка к контролю, %
Ячмень яровой (<i>Hordeum vulgare</i> L.) сорта Ленинградский (2015 год)							
Контроль	48±2	1,09±0,19	24±3	0,81±0,51	39,0±0,81	34,3± 0,4	
Ритин-10 (10-12 см)	46±3	1,18±0,10	34±2	1,18±0,61	40,0±0,85	46,6± 0,5*	36,0
В-415 К (10-12 см)	50±3	1,16±0,10	32±2	1,18±0,50	40,0±0,83	44,9± 0,5*	31,1
Ритин-10 (20-22 см)	50±3	1,19±0,12	34±2	1,25±0,57	42,5±0,65	46,7± 0,5*	36,3
В-415 К (20-22 см)	49±2	1,19±0,11	38±2	1,28±0,57	41,5±0,55	42,1± 0,5*	22,9
Пшеница яровая (<i>Triticum aestivum</i> L.) сорта Дарья (2016 год)							
Контроль	41±3	1,08±0,12	26±2	0,60±0,59	24,0±0,44	17,6± 0,5	
Ритин-10 (10-12 см)	39±3	1,11±0,11	26±2	0,55±0,41	23,5±0,65	17,7± 0,4	0,3
В-415 К (10-12 см)	41±2	1,10±0,10	23±2	0,45±0,16	22,5±0,67	18,3± 0,5	3,6
Ритин-10 (20-22 см)	45±2	1,09±0,11	28±2	0,60±0,13	24,8±0,47	18,5± 0,6	4,9
В-415 К (20-22 см)	46±2	1,12±0,10	32±2	0,75±0,18	25,3±0,48	23,7± 0,4***	33,9
Ячмень яровой (<i>Hordeum vulgare</i> L.) сорта Атаман (2017 год)							
Контроль	40±3	1,11±0,12	20±2	0,96±0,15	50,0±0,45	32,6± 0,6	
Ритин-10 (10-12 см)	42±2	1,05±0,12	19±3	0,95±0,13	51,5±0,84	29,9± 0,5	-8,3
В-415 К (10-12 см)	43±2	1,10±0,11	22±2	0,92±0,11	52,0±0,69	31,4± 0,6	-3,8
Ритин-10 (20-22 см)	36±2	1,09±0,10	23±2	0,93±0,12	49,2±0,65	30,5± 0,6	-6,4
В-415 К (20-22 см)	45±2	1,07±0,10	22±3	1,94±0,15	47,5 ±0,61	28,6± 0,6	-12,4

Примечание. Во всех вариантах фон — N₉₀P₉₀K₉₀.

*, **, *** Различия с контролем статистически значимы соответственно при $p < 0,05$; $p < 0,01$; $p < 0,001$

«Анализируя данные таблицы 6.5.10 можно сказать, что по структуре урожайности ячменя в 2015 году (полевые условия) лучшими были варианты с гидрогелями Ритин -10 и В -415 К, размещенными на глубине 20-22 см. Показатели: коэффициент продуктивной кустистости (1,19), количество зерен в колосе (34-38 штук), масса зерна в колосе (1,25-1,28 г), масса тысячи зерен (41,5-42,5 г), достоверно выше, чем на контроле: 1,09; 24 шт.; 0,81 г; 39 г. При внесении гелей в корнеобитаемый слой (10-12 см) показатели структуры урожая тоже неплохие: коэффициент продуктивной кустистости - 1,16-1,18, количество зерен в колосе - 32-34 штуки, масса зерна с 1 колоса - 1,18 г, масса 1000 зерен - 40 г. В 2016 году (полевые условия) показатели структуры урожая яровой пшеницы сорт «Дарья» были лучшими в вариантах с обоими гидрогелями (Ритин -10 и В-415 К) при размещении в слое 20-22 см. Коэффициент продуктивной кустистости составил: на контроле - 1,07; Ритин -10- (10-12 см) - 1,11; В -415 К (10-12 см) - 1,1; Ритин -10 - (20-22 см) - 1,09; В -415 К - (20-22 см) - 1,12. Количество зерен в колосе на контроле – 26 штук; у гидрогелей, размещенных в корнеобитаемом слое (10-12 см) - от 23 до 26 штук; у полимерных гелей, при внесении на глубину пахотного слоя (20-22 см) - от 28 до 32 шт. При размещении гелей Ритин-10 и В - 415 К в корнеобитаемой зоне (10-12 см) основные показатели структуры урожая были ниже, чем на контроле. Масса зерна с 1 колоса: на контроле - 0,6 г; Ритин -10 - (10-12 см) - 0,55 г; В -415 К- (10-12 см) - 0,45 г; в вариантах: Ритин -10- (20-22 см) - 0,6 г; В -415К- (20-22 см) - 0,75 г. Масса 1000 зерен - лучшие показатели у гидрогелей, размещенными в пахотном слое (20-22 см) - 24,8 - 25,3 г. Низкие показатели структуры урожая яровой пшеницы (полевые условия) при размещении гидрогелей в верхнем корнеобитаемом слое (10-12 см), можно объяснить тем, что 2016 год был сильно увлажненным. Поэтому влага удерживалась гелем в слое 10-12 см и даже присутствовала в избытке. Соответственно и урожайность пшеницы оказалась ниже, чем на контроле. Избыточное количество влаги отрицательно повлияло на показатели структуры урожая при внесении гидрогелей Ритин-10 и В-415 К в корнеобитаемую зону. Показатели структуры урожая ячменя, сорт

«Атаман» в 2017 году в вариантах с гидрогелем немного снизились по сравнению с контрольным вариантом. Коэффициент продуктивной кустистости составил: на контроле - 1,11; Ритин -10 - (10-12 см) - 1,05; В -415 К - (10-12 см) - 1,10; Ритин -10 - (20-22 см) -1,09; В -415 К - (20-22 см) - 1,07. По показателю продуктивной кустистости варианты с гидрогелями несколько отстают от контроля. Количество зерен в колосе: на контроле - 20 штук; в вариантах с полимерным гелем, размещенным в слое (10-12 см) - 19-22 штуки; при внесении гидрогелей в слой (20-22 см) - 22-23 штуки. Масса зерна с одного колоса составила: на контроле - 0,96 г; Ритин -10 - (10-12 см) - 0,95 г; В -415 К - (10-12 см) - 0,92 г; Ритин -10 - (20-22 см) -0,93 г; В - 415 К - (20-22 см) - 0,94 г. По массе 1000 зерен лучшими оказались варианты с гелями, размещенными в верхнем корнеобитаемом слое (10-12 см): Ритин -10 - (10-12 см) -51,5 г; В -415 К - (10-12 см) - 52 г; при внесении гидрогелей на глубину (20-22 см) отмечено уменьшение массы 1000 зерен: Ритин -10 - (20-22 см) - 49,2 г; В -415 К - (20-22 см) - 47,5 г, по сравнению с контролем - 50,2 г.»¹.

Из работ (Kilic, Yagbasanlar, 2010; Лекомцев, 2015), известно, что метеорологические факторы и агротехнические приемы особенно влияют на массу 1000 зерен. Ячмень требователен к теплу в период от колошения до созревания. «Погодные условия 2017 года были неблагоприятными в период формирования колоса ячменя. В июле - среднемесячная температура воздуха на 2-3,6⁰С ниже нормы, сумма осадков совпала с климатической нормой (80 %). В августе - среднемесячная температура на 0,4⁰С выше среднемноголетней, а осадков выпало больше климатической нормы (183,3 %). Колебания температуры воздуха и количества выпавших осадков отрицательно повлияли на показатели структуры урожая ячменя, особенно с гидрогелями, размещенными на глубине 20-22 см. Очень низкой оказалась масса 1000 зерен (большое количество выпавших осадков). Анализ данных исследования за три года (полевые условия), показал, что влияние гидрогелей на

¹ Данилова Т.Н. Влияние гидрогелей на показатели структуры урожая зерновых культур в условиях почвенной засухи «засушник» и в полевых условиях / Т.Н. Данилова // Известия СПб ГАУ. - 2021. - № 3 (64). - С.31-39

показатели структуры урожая зерновых культур зависит от погодных условий в вегетационный период. Наличие геля в почве в условиях избыточного увлажнения как в верхнем корнеобитаемом (10-12 см) слое, так и на глубине пахотного (20-22 см) слоя отрицательно сказывается на показателях структуры урожая зерновых культур (Данилова, 2021, с.37).

Для установления связи между показателями структуры урожая и урожайностью зерновых культур в полевых условиях были рассчитаны коэффициенты корреляции (таблица 6.5.11).

Таблица 6.5.11 - Коэффициенты корреляции (r), характеризующие зависимость урожайности зерновых культур от показателей по элементам структуры урожая при внесении в почву полимерных гелей Ритин -10 и В-415 К в полевых условиях (Меньковский филиал ФГБНУ АФИ, 2015-2017 годы)

Число продуктивных стеблей, шт.	Продуктивная кустистость, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
$Y = f$ (контроль)				
-0,89*	0,53	0,94*	0,47	0,90*
$Y = f$ (Ритин-10 в слое 10-12 см)				
0,50	0,69*	0,44	0,75*	0,71*
$Y = f$ (Ритин-10 в слое 20-22 см)				
0,55	-0,76*	-0,46	-0,73*	-0,66*
$Y = f$ (В-415 К в слое 10-12 см)				
0,56	0,64*	-0,45	-0,69*	-0,81*
$Y = f$ (В-415 К в слое 20-22 см)				
-0,55	-0,88*	-0,57	-0,83*	0,64*
* Корреляции статистически значимы при $p = 0,05$ (критическое значение r на 5 % уровне значимости 0,63).				

Корреляционный анализ (таблица 6.5.11) показал, что в полевых условиях при внесении гидрогеля Ритин-10 в верхний корнеобитаемый слой урожайность зерновых культур тесно коррелировала с продуктивной кустистостью ($r = 0,69$), массой зерна с 1 колоса ($r = 0,75$) и массой 1000 зерен ($r = 0,71$). «Слабую корреляционную связь урожайность имела с числом продуктивных стеблей ($r =$

0,50) и числом зерен в колосе ($r = 0,44$). При размещении геля Ритин-10 в пахотном слое (20-22 см) обратную корреляцию урожайность имела с продуктивной кустистостью ($r = - 0,76$), с массой зерна с 1 колоса ($r = - 0,73$), массой 1000 зерен ($r = - 0,73$), слабая корреляционная связь обнаружена с числом продуктивных стеблей ($r = 0,55$), числом зерен в колосе ($r = - 0,46$). При внесении гидрогеля В -415 К в корнеобитаемый слой почвы тесная корреляционная связь отмечена с продуктивной кустистостью ($r = 0,64$), обратная корреляция с массой зерна с 1 колоса ($r = - 0,69$) и массой 1000 зерен ($r = - 0,81$). Слабая корреляция с числом продуктивных стеблей ($r = 0,56$) и числом зерен в колосе ($r = - 0,45$). При внесении геля В-415 К на глубину 20-22 см тесная обратная зависимость урожайности установлена с продуктивной кустистостью ($r = - 0,88$), массой зерна с 1 колоса ($r = - 0,83$) и прямой корреляцией с массой 1000 зерен ($r = 0,64$). Слабая обратная корреляционная связь – с числом продуктивных стеблей ($r = - 0,55$) и числом зерен в колосе ($r = - 0,57$)» (Данилова, Табынбаева, 2022, с.467).

«Проведенные исследования (2015 – 2017 гг) показали, что влияние гидрогеля как в «засушнике», так и в полевых условиях наиболее существенным было на такие показатели как продуктивная кустистость, масса зерна с 1 колоса и масса 1000 зерен. При внесении гидрогеля в слой 20-22 см практически все показатели структуры урожая были лучше, чем на контроле и при внесении в слой 10-12 см. В полевых условиях влияние гидрогеля (в зависимости от глубины внесения) зависит от метеоусловий в вегетационный период, особенно в фазу формирования колоса. Избыток или недостаток влаги в почве в это период отрицательно сказывается на показателях структуры урожая» (Данилова, 2021, с.37).

«Таким образом, в условиях смоделированной почвенной засухи применение отечественных гидрогелей Ритина-10 и В-415 К статистически значимо (соответственно $p < 0,001$ и $p < 0,01$) повлияло на урожайность (повышение на 25,0-27,7 %) и элементы структуры урожая зерновых культур при размещении на глубину 20-22 см. Гидрогель, внесенный в корнеобитаемый слой почвы (10-12 см), без полива высыхал и не действовал в качестве

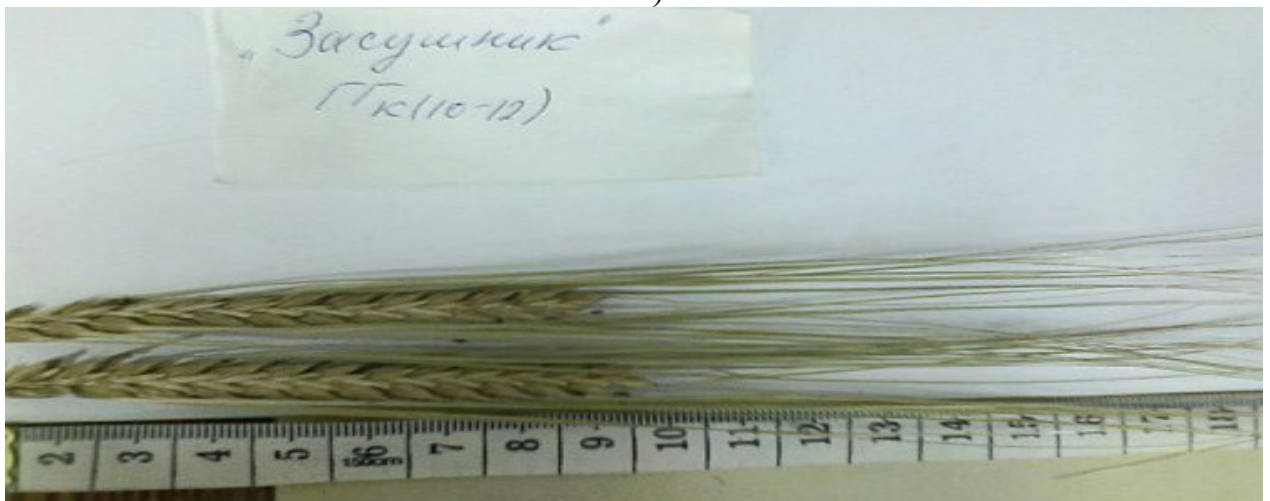
влажнoудерживающей почвенной добавки. То есть для повышения продуктивности зерновых культур в условиях почвенной засухи необходимо вносить гидрогель на глубину пахотного слоя 20-22 см с предварительным влагозарядковым поливом перед посевом» (Данилова, Табынбаева, 2022, с. 467).

На рисунке 6.5.3 (а, б, в, г, д) представлены колосья ячменя, полученные в условиях почвенной засухи «засушник».

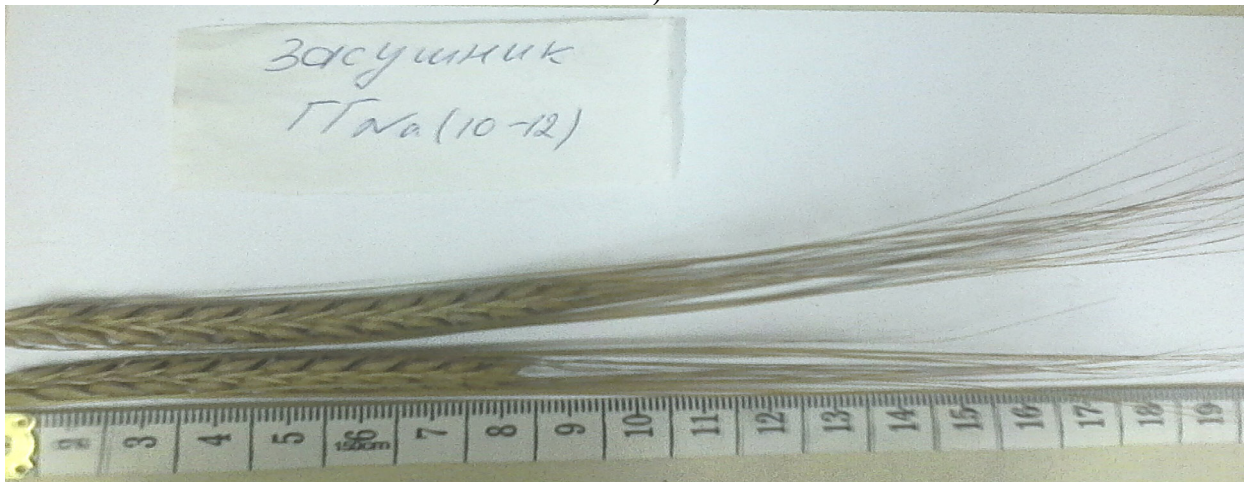
а)



б)



в)



г)



д)

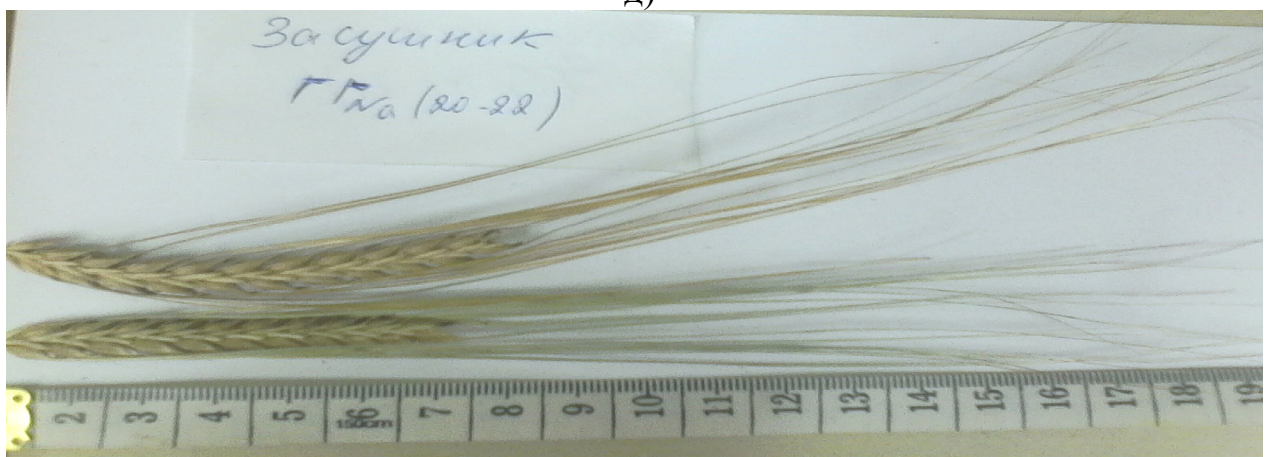
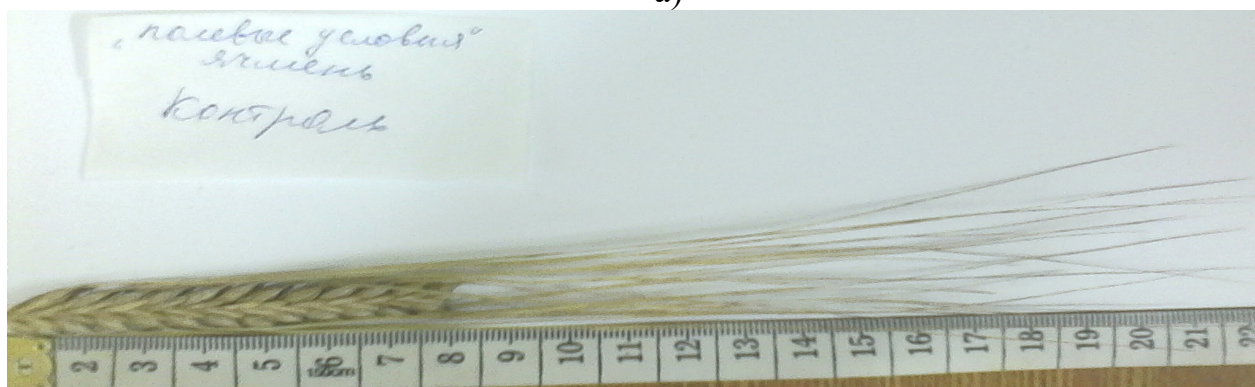


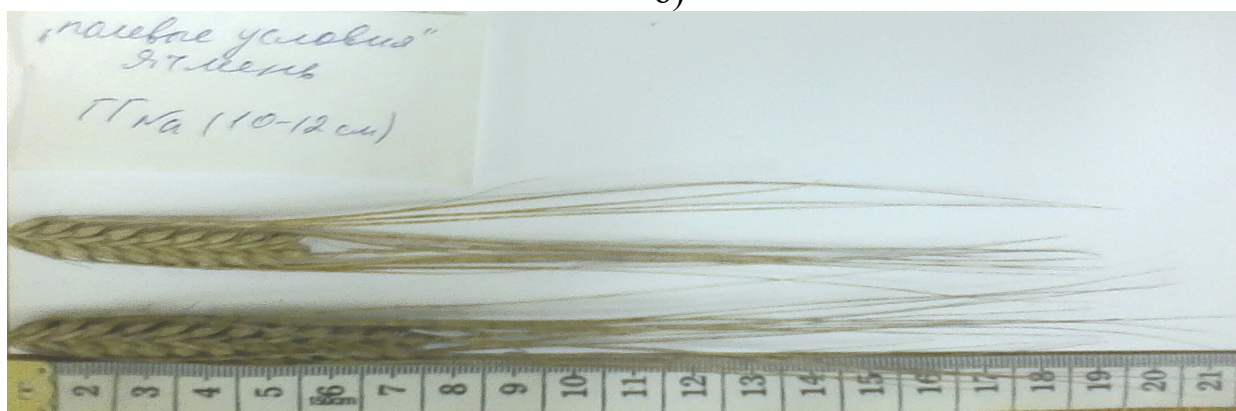
Рис.6.5.3 - Колос ячменя- «засушник»: а) - контроль; б) – ГГ_к (10-12 см); в) – ГГ_{Na} (10-12 см); г) – ГГ_к (20-22 см); д) – ГГ_{Na} (20-22 см).

Из рисунка 6.5.3 видно, что в «засушнике» в контрольном варианте длина колоса от 7,5 до 9 см, ости достигают 20 см; в варианте ГГ_К (10-12 см) - длина колоса составляет 8-9 см, ости - 19 см; в варианте ГГ_{Na} (10-12 см) – колос достиг 8,5-9,3 см, ости - 19 см; у варианта ГГ_К (20-22 см) - длина колоса 9,5-10 см, длина остей от 18 до 19 см; у ГГ_{Na} (20-22 см) - длина колоса составляет 7-8 см, ости - 18-19 см. Следует отметить, что в вариантах с гидрогелем длина колоса практически не отличается от контрольного варианта, а вот длина остей немного меньше, чем в контрольном варианте. На рис. 6.5.4 (а, б, в, г, д) показаны колосья ячменя в полевых условиях.

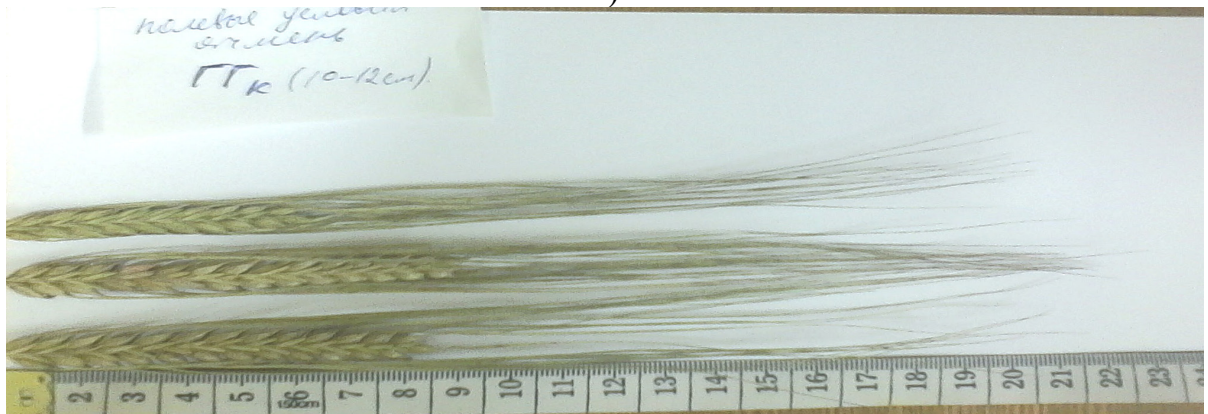
а)



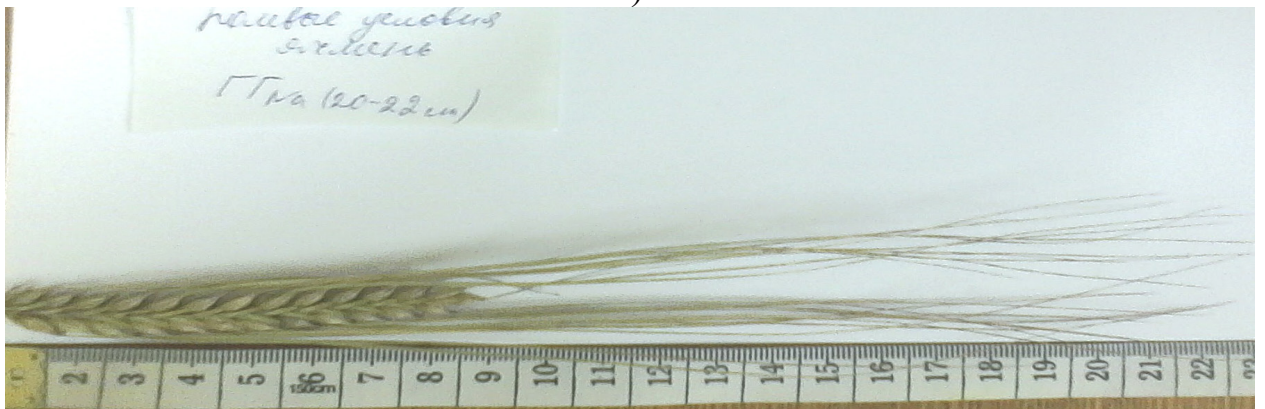
б)



в)



г)



д)



Рис.6.5.4 - Колос ячменя -полевые условия: а) - контроль; б) - ГГ_{Na} (10-12 см); в) - Г_К(10-12 см); г) - ГГ_{Na} (20-22 см); д) - ГГ_К (20-22 см).

Из рисунка 6.5.4 видно, что в полевых условиях в контрольном варианте длина колоса - 7,5 см, ости достигают 22 см; ГГ_{Na} (10-12 см) - длина колоса 5-7 см,

ости достигают 20-21 см; в варианте ГГ_к (10-12 см) – колос составляет 8-9 см, ости - 19 см; в варианте ГГ_к (20-22 см) - длина колоса от 6,5 до 7,7 см, длина остей от 20 до 21 см; у варианта ГГ_{на} (20-22 см) - длина колоса 8-8,5 см, длина ости до 22 см. Анализируя данные рисунка, можно сказать, что в полевых условиях длина колоса в вариантах с гидрогелем не существенно отличается от контроля, длина остей практически одинакова.

Таким образом, сравнивая показатели колоса ячменя в «засушнике» и в полевых условиях, можно сделать вывод, что в «засушнике» длина колоса больше, а ости короче, чем эти же показатели в полевых условиях.

Качественные характеристики зерна

Качество зерна - это совокупность биологических, физико-химических, технологических и потребительских свойств и характеристик зерна, определяющих его назначение. Технологические свойства зерна оцениваются по совокупности его мукомольных и хлебопекарных свойств, от которых зависят количественные и качественные показатели готовой продукции - муки, крупы, макаронных изделий, кондитерских изделий и хлеба. Хлебопекарные свойства зерна зависят в основном от его биохимического комплекса (содержания и качества белка и глютена, состояния углеводно-амилазного комплекса зерна и т. д.). При этом следует отметить, что качество зерна зависит от ряда факторов: метеорологических условий конкретного года возделывания зерна, агротехники, сортовых особенностей и др. Определение показателей качества исследуемых зерновых культур проводилось в химической лаборатории ФГБНУ АФИ по соответствующим ГОСТам (ГОСТ 13586.5 -2015; ГОСТ 32933 – 2014; ГОСТ 31675 – 2012; ГОСТ 13496.4 – 2019; ГОСТ 26657 – 97; ГОСТ – 30504 – 97; ПНД Ф 16.2.2:2.3.71 – 2011; ГОСТ 10845 – 98). В таблицах 6.5. 12 – 6.5.14 представлен анализ зерна.

Таблица 6.5.12 - Анализ зерна (ячмень, сорт «Ленинградский»), 2015 г.

№	Вариант	Влага, %	Сырая зола, % а.с.в.	Сырая клетчатка , % а.с.в.	Сырой протеин, % а.с.в.	Азот % а.с.в.	Фосф ор % а.с.в.	Калий % а.с.в.	Кальци й % а.с.в.	Магни й % а.с.в.	Крахмал, % а.с.в.
1	Контроль (полевые условия)	8,40	1,85±0,33	5,81±0,6	9,00±1	1,44	0,28	0,53	0,20	0,143	50,6±0,8
2	ГГ _{Na} (10-12 см)	8,50	1,74±0,3	5,68±0,63	9,25±1,06	1,48	0,26	0,47	0,15	0,098	51,4±0,9
3	ГГ _{Na} (20-22 см)	8,20	1,53±0,3	5,39±0,6	11,44±1,02	1,83	0,26	0,45	0,20	0,116	50,5±0,9
4	ГГ _K (10-12 см)	8,20	1,53±0,32	5,56±0,62	11,19±1,05	1,79	0,22	0,44	0,15	0,091	49,4±0,86
5	ГГ _K (20-22 см)	8,40	1,74±0,3	5,55±0,6	10,75±1,03	1,72	0,25	0,44	0,10	0,115	51,1±0,8
6	Контроль (засушник)	8,00	1,63±0,31	5,49±0,61	13,94±0,8	2,23	0,17	0,54	0,10	0,126	47,9±0,81
7	ГГ _{Na} (10-12 см)	8,00	1,74±0,3	5,07±0,6	14,31±0,82	2,29	0,18	0,52	0,14	0,097	46,3±0,8
8	ГГ _{Na} (20-22 см)	8,60	1,63±0,33	4,56±0,63	15,12±0,8	2,42	0,21	0,51	0,15	0,228	46,6±0,8
9	ГГ _K (10-12 см)	8,30	1,63±0,3	4,80±0,63	14,19±0,8	2,27	0,18	0,55	0,15	0,166	46,6±0,82
10	ГГ _K (20-22 см)	8,50	1,53±0,3	5,49±0,6	13,25±0,81	2,12	0,15	0,56	0,12	0,108	47,4±0,8

Таблица 6.5.13 - Анализ зерна (пшеница, сорт «Дарья»), 2016 год

№	Вариант	Влага, %	Сырая зола, % а.с.в.	Сырая клетчатка , % а.с.в.	Сырой протеин, % а.с.в.	Азот % а.с.в.	Фосф ор % а.с.в.	Калий % а.с.в.	Каль ций % а.с.в.	Магни й % а.с.в.
1	Контроль (полевые условия)	10,6	2,24±0,27	3,33±0,43	13,74±1,1	2,41	0,39	0,72	0,11	0,14
2	ГГ Na (10-12 см)	10,0	2,22±0,3	3,51±0,44	12,82±1,11	2,25	0,41	0,84	0,11	0,13
3	ГГ Na (20-22 см)	9,90	2,09±0,2	3,29±0,4	13,28±1,1	2,33	0,36	0,78	0,10	0,12
4	ГГ К (10-12 см)	10,1	2,22±0,3	3,23±0,4	12,60±1,12	2,21	0,37	0,75	0,12	0,13
5	ГГ К (20-22 см)	9,70	2,22±0,26	3,02±0,43	11,68±1,1	2,05	0,39	0,84	0,14	0,17
6	Контроль (засушник)	9,70	2,22±0,3	3,14±0,4	14,82±1,1	2,60	0,37	0,78	0,15	0,14
7	ГГ Na (10-12 см)	9,90	2,31±0,26	3,23±0,42	13,34±1,1	2,34	0,40	0,82	0,15	0,17
8	ГГ Na (20-22 см)	10,2	2,22±0,3	3,01±0,43	15,90±1,12	2,79	0,41	0,80	0,10	0,15
9	ГГ К (10-12 см)	10,0	2,11±0,2	2,90±0,44	14,82±1,11	2,60	0,34	0,73	0,11	0,13
10	ГГ К (20-22 см)	9,70	2,33±0,3	2,95±0,4	13,96±1,1	2,45	0,37	0,79	0,12	0,14

Таблица 6.5.14 - Анализ зерна (ячмень, сорт «Атаман»), 2017 год

№	Вариант	Влага, %	Сырая зола, % а.с.в.	Сырая клетчатка , % а.с.в.	Сырой протеин, % а.с.в.	Азот % а.с.в.	Фосф ор % а.с.в.	Калий % а.с.в.	Кальц ий % а.с.в.	Маг ний % а.с.в.	Крахмал, % а.с.в.
1	Контроль (полевые условия)	9,90	2,55±0,7	7,21±0,9	11,62±1,6	1,86	0,34	0,89	0,089	0,120	44,79±2
2	ГГ Na (10-12 см)	9,30	1,98±0,4	6,51±0,8	9,56±1,5	1,53	0,26	0,73	0,079	0,101	38,97±1,5
3	ГГ Na (20-22 см)	9,70	3,33±0,74	8,40±0,9	16,00±1,62	2,56	0,40	1,07	0,071	0,160	47,84±1,6
4	ГГ К (10-12 см)	10,0	2,22±0,7	7,98±0,8	10,94±1,6	1,75	0,35	0,92	0,080	0,118	38,97±1,5
5	ГГ К (20-22 см)	9,30	3,19±0,73	8,18±0,9	14,00±1,64	2,24	0,42	1,02	0,140	0,198	45,54±2
6	Контроль (засушник)	11,1	1,68±0,4	5,89±0,8	14,75±0,9	2,36	0,18	0,76	0,090	0,081	45,19±1,1
7	ГГ Na (10-12 см)	10,3	2,00±0,7	5,64±0,85	14,62±0,9	2,34	0,20	0,76	0,089	0,097	43,04±1,2
8	ГГ Na (20-22 см)	12,4	2,28±0,71	7,33±0,9	16,81±1,1	2,69	0,31	0,74	0,091	0,138	46,00±1,2
9	ГГ К (10-12 см)	10,8	2,02±0,7	5,86±0,8	15,56±1,2	2,49	0,27	0,73	0,090	0,114	45,78±1,1
10	ГГ К (20-22 см)	10,8	2,02±0,7	6,79±0,8	15,25±0,9	2,44	0,23	0,75	0,098	0,116	46,44±2

Анализируя данные таблицы 6.5.12, можно сказать, что в 2015 г. в полевых условиях содержание сырой клетчатки в зерне ячменя в вариантах с гидрогелем варьировало от 5,39 до 5,55% и было ниже, чем в контроле. Содержание сырой золы также было ниже в вариантах гидрогеля по сравнению с контрольным вариантом. В вариантах с гидрогелем было больше сырого протеина, и разница составила 1,75–2,44 % от контроля. Содержание азота также было немного выше контрольного значения. Остальные показатели: фосфор, калий, кальций, магний, крахмал мало отличались от контроля. В «засушнике» содержание сырой клетчатки варьировало от 4,56 до 5,49%, также было ниже, чем в контроле. Содержание сырого протеина в вариантах гидрогеля незначительно превышало содержание протеина в контроле. Все остальные показатели незначительно отличались от контроля. Различий между способами внесения и типом гидрогеля не обнаружено. Анализируя данные таблицы 6.5.13, можно сказать, что в 2016 г. влияния гидрогеля на основные качественные показатели зерна пшеницы не отмечалось. Как в полевых условиях, так и в «засушнике» показатели мало отличались между собой и от контроля. Лишь на третий год после внесения гидрогелей (таблица 6.5.14) в вариантах эксперимента с гидрогелем, внесенным в слой (20 -22 см) отмечалось увеличение содержания сырой золы, сырой клетчатки, сырого протеина, азота, фосфора, калия и крахмала как в полевых условиях, так и в «засушнике». Однако в «засушнике» содержание сырой золы и сырой клетчатки было немного ниже, чем в полевых условиях.

ГЛАВА 7. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ В ЗВЕНЕ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА

7.1 Агрономическая эффективность применения гидрогелей

«Повышение урожайности сельскохозяйственных культур может быть достигнуто за счет разработки инновационных (Данилова, 2021) агротехнических приемов их возделывания. Для формирования и получения высоких урожаев полевых культур в почвенно-климатических условиях Северо-Западной зоны необходимо целенаправленно управлять водным режимом почв. Поэтому правильный выбор агротехнических приемов является основным фактором, влияющим на продуктивность культур севооборота (Сборник отраслевых регламентов, 2005; Привалов и др., 2007; Лапа и др., 2007; Иовик, 2015; Шекунова и др., 2016). Показатели агрономической, экономической и энергетической эффективности гидрогелей для культур полевого севооборота рассчитывались по (Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур, 1988) и (Рекомендации по применению технологий проведения агротехнических, агробиологических и реабилитационных мероприятий, 2009). Показатель агрономической эффективности гидрогелей определяется по увеличению урожайности с гектара посевной площади. При этом прибавки для всего севооборота выражаются в зерновых или кормовых единицах. В исследуемом полевом севообороте вся продукция после уборки урожая направлялась на Гатчинский комбикормовый завод прямым транспортированием с поля (без послеуборочной подработки). Поэтому в настоящей работе окупаемость 1 кг гидрогеля представлена в кормовых единицах»¹

В таблице 7.1 представлены данные по агрономической эффективности использования гидрогелей в звене полевого севооборота.

¹ Данилова Т.Н. Агроэкономическая и энергетическая эффективность применения гидрогелей в полевом севообороте / Т.Н. Данилова // Агрофизика. - 2021. - № 4. - С.7-13.

Таблица 7.1 - Агронимическая эффективность применения гидрогелей в полевом севообороте (2012 – 2016 гг).

Варианты опыта	Культуры севооборота														
	ячмень с подсевом мн. трав			многолетние травы I г. п.			многолетние травы II г. п.			озимая рожь			ячмень		
	урожайность, ц/га	прибавка ц/га	окупаемость, 1кг геля, к.ед.	урожайность, ц/га	прибавка ц/га	окупаемость, 1кг геля, к.ед.	урожайность, ц/га	прибавка ц/га	окупаемость, 1кг геля, к.ед.	урожайность, ц/га	прибавка ц/га	окупаемость, 1кг геля, к.ед.	урожайность, ц/га	прибавка ц/га	окупаемость, 1кг геля, к.ед.
Контроль	27,2	-	-	14,7	-	-	7,3	-	-	34,9	-	-	12,72	-	-
ГГ _{Na-100}	34,1	6,9	10,35	17,6	2,9	14,79	7,6	0,3	1,53	37,37	2,47	3,58	14,36	1,64	2,46
ГГ _{K-100}	35,4	8,2	12,3	16,2	1,5	7,65	8,05	0,75	3,82	36,0	1,1	1,6	14,15	1,43	2,14
ГГ _{Na-200}	35,6	8,4	6,3	17,8	3,1	15,81	8,5	1,2	6,12	38,64	3,74	2,71	14,9	2,18	3,27
ГГ _{K-200}	34,5	7,3	5,47	15,8	1,3	6,63	7,4	1,1	5,61	36,41	1,51	1,09	13,85	1,13	1,69
ГГ _{Na-300}	30,7	3,5	1,75	16,5	2,0	10,2	7,9	2,2	11,22	39,92	5,02	2,42	15,04	2,32	3,48
ГГ _{K-300}	29,4	2,2	1,1	17,4	2,7	13,77	10,2	2,9	14,79	37,85	2,95	1,43	13,43	1,01	1,51

«Для определения показателей фактической агрономической эффективности гидрогелей в севообороте использовались экспериментальные отчетные данные по сбору продукции растениеводства. Наибольшая окупаемость 1 кг гидрогеля за счет увеличения урожайности сельскохозяйственных культур в звене севооборота отмечена на многолетних травах 1-го года пользования (с дозами ГГNa -100; ГГNa -200; ГГК -300), и 2 –го года пользования (с более высокими дозами внесения ГГNa-300 и ГГК -300). В первый год применения окупаемость 1 кг гидрогеля отмечена в вариантах с использованием гидрогеля на натриевой и калиевой основаниях при дозе внесения 100 кг/га. При дозе внесения 200 кг/га окупаемость снизилась в 2 раза в обоих вариантах, а при дозе 300 кг/га окупаемость гидрогелей была очень низкой. Наилучшие результаты во всех вариантах были достигнуты при использовании гидрогеля на основе натрия на второй год после внесения. На третий год после внесения наибольшая окупаемость обоих гидрогелей отмечена при высоких дозах внесения (300 кг/га). На четвертый и пятый годы окупаемость значительно снизилась, однако при применении гидрогеля на основе натрия во всех вариантах эксперимента были достигнуты наилучшие результаты. Таким образом, наилучшие показатели агрономической эффективности применения гидрогеля соответствовали дозам внесения гидрогеля на основе натрия 100 кг/га, 200 кг/га и 300 кг/га» (Данилова, 2021, с. 9).

7.2 Экономическая эффективность

Применение водопоглощающих гидрогелей является одним из агротехнологических приемов управления водообеспеченностью посевов при весенних почвенных засухах, которые в последние годы часто наблюдаются в Северо-Западной зоне РФ. Внесение гидрогеля обеспечивает создание дополнительного запаса влаги (10-30 мм) на разных стадиях выращивания сельскохозяйственных культур (Данилова, 2019). Экономическая целесообразность данного агротехнологического приема может быть обеспечена за счет внесения минимально необходимого количества влагопоглощающего

полимерного геля в зависимости от типа и вида почвы, химического состава почвенного раствора, прогнозируемых погодных ситуаций, вида сельскохозяйственной культуры, стоимостью технологии внесения и самого препарата, а также цены реализации произведенной продукции (Данилова, 2021).

«Показатели экономической эффективности использования гидрогелей можно рассчитать по данным полевых и производственных опытов в типичных природно-экономических условиях, а также по нормативам прибавок урожайности сельскохозяйственных культур и суммарным средним затратам на единицу (т, кг) гидрогеля. Экономическая эффективность применения гидрогеля определялась по разнице между стоимостью полученной прибавки урожая и затратами на ее формирование. Этот показатель обычно называют условным чистым доходом. Чистая прибыль, отнесенная на дополнительные затраты, характеризует рентабельность применения гидрогеля. Дополнительные затраты, связанные с получением прироста урожая, включают в себя стоимость гидрогеля и затраты на его применение и сбор дополнительной продукции. В прогнозных оценках стоимость гидрогеля учитывается исходя из цен поставщиков, а остальные затраты учитываются по технологическим картам. Для получения объективной информации по отдельным культурам необходимо предусмотреть такие принципы распределения затрат на гидрогель, которые учитывали бы как его прямое действие, так и последствие» (Данилова, 2021, с.8-9).

Основными расчетными показателями являются:

- фактическая или расчетная стоимость прибавки урожая;
- фактические или прогнозируемые (согласно технологической карте) дополнительные затраты на закупку, доставку, использование гидрогелей, сбор и переработку прибавки урожая;
- чистый доход - разница между доходом от реализации прибавки урожая и затратами на его производство. Если речь идет об оценке экспериментальных данных с использованием усредненных, а не фактических расходов и доходов от продаж, то такой доход называется условным чистым доходом;

- рентабельность использования гидрогелей - это отношение чистого (условно чистого) дохода к дополнительным затратам, выраженное в процентах;
- натуральная окупаемость - отношение прибавки урожая к количеству гидрогеля, выраженное в кг продукта на 1 кг геля;
- окупаемость (денежная) - отношение стоимости прибавки урожая к 1 кг гидрогеля (руб/кг геля) или к 1 рублю дополнительных затрат (руб/руб);
- относительный чистый доход - отношение чистого дохода (условно чистого дохода) к массе гидрогеля (руб/кг геля) или к дополнительным расходам (руб/руб.).

«При расчете экономической эффективности гидрогеля для каждой культуры полевого севооборота учитывался уровень цен на товарную продукцию по состоянию на каждый год. При расчете затрат на производство, хранение, погрузку, транспортировку и применение гидрогеля под культуру учитывались его действие и последствие на последующие культуры севооборота. Срок действия гидрогеля составляет пять лет, поэтому 50% затрат приходится на первый год, 25% – на второй, 10% – на третий, 10% – на четвертый и 5% – на пятый» (Данилова, 2021, с.9).

В таблице 7.2.1 показан уровень производственных затрат на 1 гектар в звене полевого севооборота.

Производственные затраты на внесение гидрогеля на 1 га в звене севооборота (по технологическим картам – Приложения 22 - 28) распределились следующим образом:

Затраты при внесении гидрогеля в дозе – 100 кг/га - 23765,65 руб./га (всего)

- на 1-ый год – 50 % - 11882,82 руб./га;
- на 2-ой год – 25% - 5941,41 руб./га;
- на 3-ий год – 10% - 2376,56 руб/га;
- на 4-ый год – 10 % - 2376,56 руб/га;
- на 5-ый год - 5 % - 1188,28 руб/га.

Затраты при внесении гидрогеля в дозе – 200 кг/га - 43765,65 руб./га (всего)

- на 1-ый год – 50 % - 21882,82 руб./га;
- на 2-ой год – 25% - 10941,41 руб./га;
- на 3-ий год – 10% - 4376,56 руб/га;
- на 4-ый год – 10 % - 4376,56 руб/га;
- на 5-ый год - 5 % - 2188,28 руб/га.

Затраты при внесении гидрогеля в дозе – 300 кг/га - 63765,65 руб./га (всего)

- на 1-ый год – 50 % - 31882,82 руб./га;
- на 2-ой год – 25% - 15941,41 руб./га;
- на 3-ий год – 10% - 6376,56 руб/га;
- на 4-ый год – 10 % - 6376,56 руб/га;
- на 5-ый год - 5 % - 3188,28 руб/га.

Анализируя данные производственных затрат, представленные в таблице 7.2.1, можно сказать, что основные производственные затраты по этапам сельскохозяйственных работ в вариантах с гидрогелем, приходятся на этап подготовка почвы к посеву с внесением минеральных удобрений и гидрогеля в первый год. Производственные затраты распределились следующим образом: 65,9 % – при дозе внесения 100 кг/га; 75,95 % - при дозе внесения 200 кг/га и 81,4 % - при дозе внесения 300 кг/га. Затраты на подготовку почвы в вариантах с гидрогелем составляют на 24,5 – 40 % больше, чем на контроле (41,41 %). На проведение посевных работ в вариантах с гидрогелем приходится от 9 до 16 % затрат, на уход за посевами 4-7,5 % и на уборку урожая от 5,3 до 9,3 % от общих затрат. В таблице 7.2.2 приведены показатели экономической эффективности применения гидрогеля.

Таблица 7.2.2 - Показатели экономической эффективности применения гидрогеля в звене севооборота

Варианты опыта	Показатели, единицы измерения					
	Прибавка урожайности, кг/га	Стоимость прибавки урожайности руб./га	Дополнительные затраты, руб./га	Стоимость гидрогеля, руб./кг	Условный чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
Ячмень с подсевом многолетних трав						
ГГ _{Na-100}	690	12075,0	11882,82	200	192,18	1,62
ГГ _{K-100}	820	14350,0	11882,82	200	2467,18	20,76
ГГ _{Na-200}	840	14700,0	21882,82	200	-7182,82	-32,82
ГГ _{K-200}	730	12775,0	21882,82	200	-9107,82	-41,62
ГГ _{Na-300}	350	6125,0	31882,82	200	-25757,82	-80,79
ГГ _{K-300}	220	3850,0	31882,82	200	-28082,82	-88,08
Многолетние травы I года пользования						
ГГ _{Na-100}	290	25810,0	5941,41	200	19868,59	334,4
ГГ _{K-100}	150	13350,0	5941,41	200	7408,59	124,69
ГГ _{Na-200}	310	27590,0	10941,41	200	16648,59	152,16
ГГ _{K-200}	130	11570,0	10941,41	200	628,59	5,74
ГГ _{Na-300}	200	17800,0	15941,41	200	1858,59	11,69
ГГ _{K-300}	270	24030,0	15941,41	200	8088,59	50,74
Многолетние травы II года пользования						
ГГ _{Na-100}	30	2670,0	2376,56	200	293,44	12,35
ГГ _{K-100}	75	6675,0	2376,56	200	4293,44	180,65
ГГ _{Na-200}	120	10680,0	4376,56	200	6303,44	144,03
ГГ _{K-200}	110	9790,0	4376,56	200	5413,44	123,69
ГГ _{Na-300}	220	19580,0	6376,56	200	13203,44	207,06
ГГ _{K-300}	290	25810,0	6376,56	200	19433,44	304,76
Озимая рожь						
ГГ _{Na-100}	247	3087,5	2376,56	200	710,94	29,91
ГГ _{K-100}	110	1375,0	2376,56	200	-1001,56	-42,14
ГГ _{Na-200}	374	4675,0	4376,56	200	298,44	6,82
ГГ _{K-200}	151	1887,5	4376,56	200	-2489,06	-56,87
ГГ _{Na-300}	502	6275,0	6376,56	200	-101,56	-1,59
ГГ _{K-300}	295	3687,5	6376,56	200	-2689,06	-42,17

Продолжение таблицы 7.2.2

Ячмень

ГГ _{Na-100}	164	2870,0	1188,28	200	1681,72	141,52
ГГ _{K-100}	143	2502,5	1188,28	200	1314,22	110,59
ГГ _{Na-200}	218	3815,0	2188,28	200	1626,72	74,34
ГГ _{K-200}	113	1977,5	2188,28	200	-210,78	-9,63
ГГ _{Na-300}	232	4060,0	3188,28	200	871,72	27,34
ГГ _{K-300}	101	1767,5	3188,28	200	-1420,78	-44,56

«Для расчета прибыли предварительно определялись стоимость прибавки урожая, полученной в результате применения гидрогеля, и затраты на получение прибавки урожая за счет гидрогеля. Стоимость прибавки продукции, полученной в результате использования гидрогеля, определялась по закупочным ценам или усредненным ценам реализации продукции. Расчеты экономической эффективности использования гидрогелей в звене полевого севооборота показали, что в первый год применения гидрогели не обеспечили получения условного чистого дохода на посевах ячменя с подсевом многолетних трав. Незначительный условный чистый доход был получен только в вариантах с небольшой (100 кг/га) дозой внесения гидрогеля. Это связано с высокой стоимостью гидрогеля и весьма существенными затратами на его внесение в первый год. Наибольший эффект от использования гидрогелей был достигнут на второй и третий годы после внесения. Условный чистый доход от применения гидрогеля на основе натрия на многолетних травах I года пользования составил 16 648,59–19 868,59 руб/га. Условный чистый доход от использования гидрогеля на основе калия составил всего 7408,59–8088,59 руб/га (Данилова, 2021, с.10-11).

Таким образом, рентабельность гидрогеля на натриевой основе была выше и составила 152,16–334,4 %. На многолетних травах II года пользования во всех вариантах с применением гидрогелей обоих видов отмечено увеличение условного чистого дохода, однако наибольший экономический эффект был достигнут в вариантах с высокими дозами внесения гидрогеля (Данилова, 2021).

Максимальный условный чистый доход был получен при использовании гидрогелей обоих видов с дозой внесения 300 кг/га: 13203,44 руб/га (натриевый гидрогель) и 19433,44 руб/га (гидрогель на основе калия). В остальных вариантах условный чистый доход был несколько ниже, однако рентабельность колебалась от 123,7 до 180,6% (Данилова, 2021). На четвертый год после внесения гидрогелей отмечалось снижение их эффективности. Возможно, это связано с тем, что после многолетних трав была проведена глубокая вспашка, в результате чего гидрогель оказался в нижележащих слоях почвы. Однако даже в данном случае незначительный экономический эффект был отмечен в вариантах с применением гидрогеля на основе натрия при дозах внесения 100 кг/ га и 200 кг/ га. Условный чистый доход колебался от 298,44 руб/га до 710,94 руб/га. Последствие гидрогелей проявилось и на пятый год после применения. Условный чистый доход был получен в вариантах опыта с использованием гидрогеля на основе натрия при дозах внесения 100 кг/га, 200 кг/ га и 300 кг/га и в варианте с применением гидрогеля на основе калия при дозе внесения 100 кг/га (Данилова, 2021). Условный чистый доход от применения гидрогеля на основе натрия колебался от 871,72 руб/га до 1681,72 руб/га. Отмечена тенденция к снижению уровня рентабельности гидрогеля на основе натрия с увеличением дозы применения. Уровень рентабельности гидрогеля на основе натрия составил: 141,52% – при внесении в дозе 100 кг/ га; 74,34% – при дозе внесения 200 кг /га; 27,34 % – при дозе внесения 300 кг /га. Гидрогель на основе калия оказался эффективным только в варианте с дозой внесения 100 кг /га. Условный чистый доход составил 1314,22 руб /га при уровне рентабельности 110,59 %. В остальных вариантах гидрогель на основе калия не обеспечил достижения достаточного уровня экономической эффективности (Данилова, 2021).

Таким образом, на основании анализа экономической эффективности применения гидрогелей в звене полевого севооборота можно сказать, что влияние гидрогелей наиболее эффективно во второй и третий годы после применения (Данилова, 2021). Почти во всех случаях получался довольно хороший условный

чистый доход, но наиболее экономически выгодным и рентабельным оказался гидрогель на основе натрия.

7.3 Энергетическая эффективность

Рациональность технологии возделывания сельскохозяйственных культур в первую очередь определяется ее энергетической эффективностью. Расчет энергетической эффективности применения гидрогеля включает в себя следующие параметры:

- определение суммарных энергетических затрат на его применение;
- энергетическую оценку полученной продукции;
- определение коэффициента энергетической окупаемости (Данилова, 2021).

«Анализ энергетической эффективности использования гидрогелей в данной работе проводился по уровню окупаемости энергетических затрат на получение прибавки урожая. Расчет энергетической эффективности применения гидрогелей в звене севооборота проводился по (Методика определения энергетической эффективности применения минеральных, органических и известковых удобрений, 1996) и по учебно-методическому пособию (Агрохимия и система применения удобрений, 2016). При определении энергетических затрат на производство, хранение, погрузку, транспортировку и внесение гидрогелей под культуру с учетом их действия и последствий на последующие культуры севооборота 50% затрат было отнесено на первый год, 25% – на второй, 10% – на третий, 10% – на четвертый и 5% – на пятый. Общие энергозатраты, связанные с применением гидрогелей представлены в (Приложении 29). Энергетические затраты на производство, хранение, погрузку, транспортировку и внесение гидрогелей распределились следующим образом» (Данилова, 2021, с.11):

Энергозатраты при внесении гидрогеля в дозе – 100 кг/га -15711,53 МДж/га

- на 1-ый год – 50 % - 7855,76 МДж/га;
- на 2-ой год – 25% - 3927,88 МДж/га;
- на 3-ий год – 10% - 1571,15 МДж/га;
- на 4-ый год – 10 % - 1571,15 МДж/га;
- на 5-ый год - 5 % - 785,6 МДж/га.

Энергозатраты при внесении гидрогеля в дозе – 200 кг/га – 16091,53 МДж/га

на 1-ый год – 50 % - 804576 МДж/га;
 на 2-ой год – 25% - 4022,88 МДж/га;
 на 3-ий год – 10% - 1609,15 МДж/га;
 на 4-ый год – 10 % - 1609,15 МДж/га;
 на 5-ый год - 5 % - 804,6 МДж/га.

Энергозатраты при внесении гидрогеля в дозе – 300 кг/га – 16471,53 МДж/га

на 1-ый год – 50 % - 8235,76 МДж/га;
 на 2-ой год – 25% - 4117,88 МДж/га;
 на 3-ий год – 10% - 1647,15 МДж/га;
 на 4-ый год – 10 % - 1647,15 МДж/га;
 на 5-ый год - 5 % - 823,6 МДж/га.

В таблице 7.3 представлена энергетическая эффективность применения гидрогелей в звене полевого севооборота.

Таблица 7.3 - Энергетическая эффективность применения гидрогелей в звене полевого севооборота

Варианты опыта	Прибавка урожая, ц/га	Энергозатраты на гидрогель, уборку, доработку и реализацию урожая, МДж	Содержание энергии в прибавке урожая, МДж	Удельные энергозатраты, МДж/ц	Биоэнергетический коэффициент
Ячмень с подсевом многолетних трав					
ГГ _{Na} -100	6,9	9877,5	11385	1431	1,2
ГГ _K -100	8,2	10258,4	13530	1251	1,3
ГГ _{Na} -200	8,4	10506,9	13860	1251	1,3
ГГ _K -200	7,3	10184,7	12045	1395	1,2
ГГ _{Na} -300	3,5	9261,3	5775	2646	0,6
ГГ _K -300	2,2	8880,4	3630	4036	0,4
Многолетние травы 1-ого года пользования					
ГГ _{Na} -100	2,9	6973	44950	240	6,4
ГГ _K -100	1,5	5502,9	23250	367	4,2
ГГ _{Na} -200	3,1	7278	48050	235	6,6
ГГ _K -200	1,3	5388	20150	415	3,7
ГГ _{Na} -300	2,0	6217,9	31000	311	5,0
ГГ _K -300	2,7	6953	41850	258	6,0
Многолетние травы 2-ого года пользования					
ГГ _{Na} -100	0,3	1886,2	4650	629	2,5
ГГ _K -100	0,75	2358,7	11625	315	4,9
ГГ _{Na} -200	1,2	2869,2	18600	239	6,5
ГГ _K -200	1,1	2764,2	17050	251	6,2

продолжение таблицы 7.3					
ГГ _{Na-300}	2,2	3957,1	34100	180	8,6
ГГ _{K-300}	2,9	4692,1	44950	162	9,6
Озимая рожь					
ГГ _{Na-100}	2,47	2381,3	4149,6	964	1,7
ГГ _{K-100}	1,1	1932	1848,0	1756	0,95
ГГ _{Na-200}	3,74	2835,9	6283,2	758	2,2
ГГ _{K-200}	1,51	2104,4	2536,8	1394	1,2
ГГ _{Na-300}	5,02	3293,7	8433,6	656	2,6
ГГ _{K-300}	2,95	2614,8	4956,0	886	1,9
Ячмень					
ГГ _{Na-100}	1,64	1266,1	2706,0	772	2,1
ГГ _{K-100}	1,43	1204,6	2359,5	842	1,9
ГГ _{Na-200}	2,18	1443,3	3597,0	662	2,5
ГГ _{K-200}	1,13	1135,7	1864,5	1005	1,6
ГГ _{Na-300}	2,32	1503,4	3828,0	648	2,6
ГГ _{K-300}	1,01	1119,5	1666,5	1108	1,5

Анализируя данные таблицы 7.3, можно отметить, что биоэнергетический коэффициент практически во всех вариантах севооборота превышает 1,0 и даже достигает 6–9 на многолетних травах 1-го и 2-го годов пользования. Исключение составляют варианты с высокими дозами внесения гидрогелей в первый год севооборота (избыток влаги привел к снижению прибавки урожая). Таким образом, система применения гидрогелей в звене полевого севооборота энергетически оправдана, поскольку биоэнергетический коэффициент свидетельствует об эффективном использовании влаги гидрогелей (Данилова, 2021).

На основе анализа агрономической, экономической и энергетической эффективности применения гидрогелей в звене полевого севооборота можно сделать вывод, что влияние гидрогелей было наиболее эффективным на второй и третий годы после применения. Наибольшая окупаемость 1 кг гидрогеля отмечена при использовании гидрогелей обоих видов в дозе 300 кг /га на третий год после внесения. На многолетних травах 1-го года пользования (2-й год после внесения) условный чистый доход от применения гидрогеля на основе натрия составил 16

648,59 руб/га (доза внесения 100 кг /га) и 19 868,59 руб/га (доза внесения 200 кг /га). Рентабельность достигла 152,2-334,4 %. Показатели эффективности гидрогеля на основе калия оказались значительно ниже. Максимальный условный чистый доход был получен на многолетних травах 2-го года пользования на третий год после внесения гидрогелей в дозе 300 кг/га: 13203,44 руб/га (натриевый гидрогель) и 19433,44 руб/га (гидрогель на основе калия). Уровень рентабельности составил 207,0–304,8 %. В остальных вариантах уровень рентабельности был немного ниже и составил 123,7 % (гидрогель на основе калия с дозой внесения 200 кг/га), 144,03 % (гидрогель на основе натрия с дозой внесения 200 кг /га) и 180,7 % (гидрогель на основе калия с дозой внесения 100 кг /га). Биоэнергетический коэффициент практически во всех вариантах севооборота превышал 1,0 и даже достигал 6–9 на многолетних травах 1-го и 2-го годов пользования. Это указывает на то, что влага гидрогелей используется эффективно. В связи с этим можно утверждать, что система применения гидрогелей в звене полевого севооборота энергетически оправдана (Данилова, 2021).

Таким образом, внесение сильнонабухающих полимерных гелей в корнеобитаемый слой почвы, является агрономически эффективным, экономически и энергетически оправданным агроприемом, так как полимерные гидрогели способны накапливать достаточно большой объем доступной растениям воды, что способствует повышению продуктивности сельскохозяйственных культур.

ГЛАВА 8. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ

Экологическая сущность эффективности связана с необходимостью охраны природы, воспроизводства и рационального использования природных ресурсов (земель) и проявляется во влиянии процесса сельскохозяйственного производства на окружающую среду и изменении этого влияния под влиянием применяемых агротехнологий и природоохранных мероприятий. Экологическая эффективность характеризует экологическое состояние сельскохозяйственной системы или ее элементов (Анненков, 2008). В литературе есть сведения (Seibold, 1994), что полиакриламиды (Aquasorb), не представляют никакой угрозы для жизни человека или окружающей среды. Исследования, проведенные Fidelia N. Nnadi, (2012), показали, что SAP (супер абсорбентный полимер) чувствителен к действию ультрафиолетовых лучей, которые разлагают полимер на олигомеры (молекулы гораздо меньшего размера). Эти полиакрилаты (тип сельскохозяйственного SAP), таким образом, становятся гораздо более чувствительными к аэробным и анаэробным процессам микробиологической деградации, поэтому разлагаются естественным образом в почве (до 10-15% в год), на воду, углекислый газ и соединения азота. Полиакрилаты слишком объемные, чтобы впитаться в ткани и стенки растений, не обладают способностью к биоаккумуляции.

Экологические последствия применения полимерных гелей:

Биоразложение. Полимер чувствителен к действию ультрафиолетовых лучей, которые разрушают химические связи, превращая полимер в олигомеры (очень маленькие молекулы). Таким образом, он становится значительно более чувствительным к аэробным и анаэробным микробиологическим процессам деградации. Следовательно, сам полимер разлагается в почвах (до 10-15% в год) на CO_2 , H_2O и азотные соединения.

Бионакопление. Полимер слишком велик, чтобы быть поглощенным растительными тканями и клетками. Поэтому потенциальная биодоступность

равна нулю. Срок производительности полимера в полевых условиях колеблется от одного до пяти лет и зависит от размера частиц и агроклиматических условий.

Токсичность. Полимер AQUASORB не проявляет систематической токсичности (ЛД50 для крыс >5000 мг/кг). Одобрено Министерством сельского хозяйства Франции (APV № 8410030) и Министерством сельского хозяйства США (Приложение 4) (Aquasorb, 2018). Результаты испытаний на токсичность отечественного полимера Аквасин (от 30.05.2013г - Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан) показали, что полимер не оказывает раздражающего действия на кожу, сенсибилизирующего действия не выявлено, есть раздражающее действие на слизистые оболочки (Приложение 30).

В таблице 8.1 и 8.2 приведен биохимический анализ картофеля и многолетних трав I г.п. на содержание нитратов в продукции растениеводства. Образцы отобраны с опытных полей исследуемых гидрогелей на натриевой и калиевой основах. Предельно допустимая концентрация нитратов в травах 1200 мг/кг, в картофеле – 250 мг/кг.

Содержание нитратов в многолетних травах I г.п. немного превысило допустимые нормы (1200 мг/кг н.в) в образцах с высокими дозами внесения гидрогеля и в основном по клеверу. В тимофеевке содержание нитратов очень низкое. Следовательно, внесение гидрогеля в почву не способствовало накоплению нитратов в продукции растениеводства.

Анализируя данные таблицы 8.2, можно отметить, что содержание нитратов в картофеле в вариантах с гидрогелем немного превышает содержание нитратов в контрольном варианте. Если сравнивать с ПДК (250 мг/кг), то содержание нитратов и на контроле (65,4 мг/кг), и в вариантах с гидрогелем (70,1 – 80,5) очень низкое. Таким образом, применение гидрогеля не способствовало накоплению нитратов в клубнях картофеля.

Таблица 8.1- Биохимический анализ мн. тр. I г.п. (I укос).

Варианты	Сухое в-во %	Сырой протеин в а.с.в. %	Сырая клетчатка в а.с.в. %	Кароти н, мг/кг	Углеводы , % а.с.в.	Нитраты, мг/кг н.в.
Тимофеевка						
Контроль	90,8	7,22	32,73	12,58	14,12	415,1
ГГ _{Na} -100	90,8	5,93	32,09	8,40	9,53	300,6
ГГ _K -100	85,2	6,69	31,94	15,77	9,31	457,5
ГГ _{Na} -200	86,8	6,51	32,48	12,02	9,64	488,1
ГГ _K -200	91,0	6,51	30,67	10,53	13,69	500,0
ГГ _{Na} -300	91,0	7,65	30,87	23,13	11,54	294,5
ГГ _K -300	91,0	7,71	32,13	10,53	7,89	213,3
Клевер						
Контроль	90,9	11,92	23,80	16,83	9,53	231,2
ГГ _{Na} -100	91,0	12,43	24,77	23,13	6,16	674,6
ГГ _K -100	90,1	15,62	21,93	20,84	5,22	1108,2
ГГ _{Na} -200	85,9	12,16	24,42	17,84	8,29	1118,1
ГГ _K -200	87,8	11,59	27,50	18,26	7,52	1414,4
ГГ _{Na} -300	90,2	14,09	23,54	6,27	6,80	1406,5
ГГ _K -300	90,2	12,94	24,90	10,44	7,09	1216,8

Таблица 8.2 - Содержание питательных элементов и нитратов в картофеле, сорт Скарб.

Варианты	Сухое вещество, %	Нитраты мг/кг	Сырой протеин, % а.с.в.	Крахмал, %
Картофель (сорт Скарб)				
контроль	23,0	65,4	7,88	15,0
гидрогель доза 70 кг/га	20,2	80,5	7,94	13,6
гидрогель доза 100 кг/га	22,7	70,1	9,25	14,3

Полимерные гели могут быть использованы также для рекультивации почвы. Загрязнение почв токсичными ионами металлов вызывает большую озабоченность у ученых и широкой общественности. Воздействие металлов на экосистемы и биологические ресурсы также признается. Металлы не разлагаются в почве, как органические соединения, и могут находиться там длительное время. Однако они могут существовать в различных формах, к которым относятся

водорастворимые (ионные и хелатированные с растворимыми соединениями), адсорбированные на поверхности почвы, хелатированные нерастворимым органическим веществом, осажденные, закрытые оксидами и гидроксидами почвы, присутствуют в живых организмах или остатках, а также в составе первичных и вторичных минералов. В идеале, загрязненная почва должна быть восстановлена, чтобы приобрести свой первоначальный потенциал, но это может быть очень дорогостоящим процессом, и, следовательно, зависит не только от ожидаемой выгоды от очистки и будущей ценности почвы, но и от политического информирования общественности о проблеме. Традиционные коррективные подходы к сильно загрязненным металлами почвам включают удаление и замену грунта чистыми материалами или закрытие почвы непроницаемым слоем для снижения воздействия загрязняющих веществ. Для извлечения тяжелых металлов из почвы широко используется хелатирующий агент этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА). Водорастворимые полимеры (WSP) также применяются для удаления или восстановления ионов металлов из водных растворов. В литературе (Ekebafе L.O. et. al., 2011) имеются сведения об использовании технологии для разделения ионов металлов. Однако эта технология была использована для удаления металлов, таких как свинец, с твердых поверхностей. Преимуществами использования WSP являются: 1) металл, связанный с полимером в растворе, может быть легко концентрирован ультрафильтрацией (UF) 2) металл, впоследствии высвобождаемый из WSP, легко отделяется UF для рециркуляции экстракционного агента и удаления металла; и 3) коммерчески доступные полимеры могут быть модифицированы для селективного связывания целевых ионов металлов. Полиэтиленимин (PEI), высоковетвленный алифатический полиамин, был выбран в качестве основного полимера для исследований по экстракции свинца из почвы. PEI легко функционализируется хлоруксусной кислотой для получения аминокарбоксилатных групп, которые как известно, эффективны для хелата свинца (Ekebafе L.O. et. al., 2011).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с изменяющимися почвенно-климатическими условиями решающее значение в повышении водоудерживающей способности почвы, эффективности орошения и для получения максимальной устойчивости урожайности и продуктивности сельскохозяйственных культур имеют методы управления водообеспеченностью посевов и применения передовых инновационных агротехнологий. Применение водопоглощающих полимерных гелей является одним из способов повышения плодородия песчаных и супесчаных разновидностей дерново-подзолистых почв за счет улучшения их водно-физических свойств и может быть одним из способов активного управления водообеспечением посевов. В данной работе впервые разработаны методики и проведены исследования возможностей использования гидрогелей в качестве водоудерживающей почвенной добавки и формирования внутрипочвенных водоудерживающих экранов для создания оптимальных условий водного режима корнеобитаемого слоя сельскохозяйственных культур в вегетационный период. В результате лабораторных исследований определены диапазоны доступной для растений влаги, содержащейся в гидрогелях, подтверждена работоспособность и стабильность водоудерживающих экранов из гидрогелей при 5 последовательных циклах замораживания-оттаивания. Также в данной работе разработана и апробирована методика проведения полевых исследований по изучению влияния водопоглощающих гидрогелей на водообеспечение и продуктивность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах Северо-Западного региона РФ. В результате проведенных экспериментов установлено, что внесение гидрогеля обеспечивает создание дополнительного запаса влаги на разных стадиях выращивания сельскохозяйственных культур. Дифференцированное внесение повышенных доз гидрогелей в звене полевого севооборота благоприятно отразилось на экономической и энергетической эффективности и повышении продуктивности сельскохозяйственных культур. Проведенные исследования показали эффективность применения полимерных гелей для управления

водообеспеченностью и урожайностью сельскохозяйственных культур. На основании проведенных полевых и лабораторных исследований сделаны следующие выводы.

ВЫВОДЫ

1. Впервые исследована водоудерживающая способность самих гидрогелей «AQUASORB», «АКВАСИН», «РИТИН - 10», «В - 415 К» на психрометре WP4-T Dewpoint Potentia Meter и водоудерживающая способность дерново-подзолистой супесчаной почвы с внесенными гидрогелями. Установлено, что с уменьшением осмотического давления водонасыщенного геля повышается влагоудерживающая способность гидрогеля, диапазон доступной влаги, содержащейся в гидрогеле, увеличивается. Внесение гидрогеля повышает водоудерживающую способность дерново-подзолистой супесчаной почвы пропорционально дозе гидрогеля. При дозе внесения 100 кг/га диапазон доступной влаги у гидрогелей Ритин -10 и В 415 К составляет от 13 до 21 %, у гидрогелей Аквасин и – Aquasorb 15- 21 %. С увеличением дозы внесения до 300 кг/га, диапазон доступной влаги повышается: у Ритин -10, В 415 К и Аквасин – с 20 % до 22,5 %; у гидрогеля Aquasorb - с 21 до 25,3 %. По показателям водоудерживающей способности отечественные гидрогели практически не уступают гидрогелю зарубежного производства Aquasorb.

2. Разработана оригинальная методика моделирования водоудерживающего экрана гидрогеля, сформированного в почвенных растворах различной минерализации. Исследовано влияние минерализованных почвенных растворов хлоридного, содового, хлоридно-сульфатного засоления на набухание водонепроницаемого экрана гидрогеля при капиллярном и гравитационном увлажнении в зависимости от внешней нагрузки. Коэффициент набухания экрана из гидрогеля на калиевой основе больше, чем набухание экрана из гидрогеля на натриевой основе, как при капиллярном, так и при гравитационном увлажнении. При создании водонепроницаемых самовосстанавливающихся экранов из

гидрогелей предпочтительнее использовать гидрогели на основе калия. Они более эффективны при нагрузках до 40 г/см².

3. Изучено влияние циклов замораживания - оттаивания на физические характеристики водоудерживающих экранов гидрогелей. Установлено, что водоудерживающие экраны гидрогелей сохраняют свою работоспособность и стабильность после 5 циклов замерзания-оттаивания в растворах сильносоленой концентрации всех исследованных типов засоления при нагрузках от 0 до 40 г/см².

4. Исследована динамика трансформации ионов натрия и калия в дерново-подзолистой почве, мелиорированной гидрогелями. Полимер Аквасорб оказался более устойчивым к разрушению и вымыванию ионов калия (необходим растениям для устойчивости к водному стрессу). Трансформация иона натрия наиболее интенсивно происходила у гидрогеля Ритин -10 (натриевая основа), значительное вымывание иона калия из геля в почву наблюдалось у полимеров Аквасин и В-415 К.

5. Изучена динамика изменения влагосодержания дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении дифференцированных доз гидрогелей в звене полевого севооборота. Внесение в почву гидрогеля способствовало увеличению водоудерживающей способности почвы, что положительно сказывалось на устойчивости растений в условиях недостаточного количества осадков во время весенней и осенней засухи, а также на уменьшении амплитуды колебаний водообеспеченности в вегетационный период на разных этапах развития культур.

6. Исследовано влияние водопоглощающих полимеров разной химической структурной основы на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы. Установлено, что наличие гидрогеля в почве оказывает влияние на трансформацию питательных элементов. Наблюдалось повышение содержания подвижного фосфора в почвенном растворе в зависимости от дозы внесенного гидрогеля. Вероятно, это связано с большим содержанием влаги в почве в вариантах с гидрогелем и большим выносом элементов питания при внесении гидрогеля. Содержание подвижного калия с увеличением дозы

гидрогеля наоборот снижалось.

7. Изучено влияние гидрогелей на биологическую активность почвы. Наличие гидрогеля повышало микробное дыхание, как в верхнем корнеобитаемом слое почвы, так и в слое 20–22 см в начале вегетации, т.е. в фазу колошения и в «засушнике», и в полевых условиях. Базальное дыхание в вариантах опыта с гидрогелем незначительно отличалось от контроля. Установлено, что тип гидрогелей (содержащие натрий или калий) не оказывает ингибирующего действия на жизнедеятельность почвенной микрофлоры. Избыток или недостаток влаги (от НВ) в почве может приводить к снижению биологической активности почвенных микроорганизмов.

8. Впервые разработана методика и исследовано в условиях ризотрона влияние гидрогелей на развитие корневой системы зерновых культур. Установлено, что без подачи питательного раствора и без поддержания вблизи ризотрона влажности воздуха в пределах 85-90% (влажность, необходимая для насыщения гидрогеля) гидрогель теряет влагу и высыхает. В полевых условиях в вариантах с внесением гидрогеля в корнеобитаемый слой почвы корневая система более развита, имеет большее количество корневых волосков. Поскольку гидрогель вносился в корнеобитаемый слой (5-7 см), то основная масса корней располагалась в зоне гидрогеля, где было достаточно влаги для роста и развития корневых волосков.

9. Впервые в данной работе расчет эталонной эвапотранспирации проводился на электронном калькуляторе; использованы текущие метеоданные Меньковского филиала АФИ, что позволило получить достоверные данные по эвапотранспирации на полевых культурах в критические периоды вегетации. Показано, что в вариантах с гидрогелем эвапотранспирация происходила интенсивнее, чем на контроле.

10. Исследовано влияние гидрогелей на водообеспечение и продуктивность зерновых, овощных и пропашных культур в зависимости от способа внесения гидрогеля. Показано, что внесение гидрогеля в предпосевной период хорошо

влияет на развитие корневой системы зерновых культур в фазу кущения; посев инкрустированными семенами способствует более раннему и дружному появлению всходов. При этом статистический анализ не показал значимых различий между вариантами с внесением гидрогеля в почву и с семенами, инкрустированными гидрогелем. Поэтому, наиболее технологичным, эффективным и экономически выгодным способом является посев зерновых культур инкрустированными гидрогелем семенами.

11. Установлено, что рассада капусты лучше приживается, если при посадке корневую систему обработать гидрогелем, набухшем до степени равновесия. Показано, что овощные корнеплоды (морковь, свекла) желательно высевать инкрустированными семенами, что предотвращает ветвления и растрескивания корнеплодов из-за чрезмерного поглощения влаги корневыми волосками. Оптимальной дозой гидрогеля, необходимой для хорошего роста и развития растений картофеля в критические периоды вегетации, и обеспечения образования и роста клубней в период клубнеобразования, является доза гидрогеля меньше, чем 70 кг/га.

12. Исследовано на производственных посевах влияние гидрогеля на водообеспечение и продуктивность яровой пшеницы на фоне дифференцированных доз азотных удобрений. Урожайность яровой пшеницы в вариантах с гидрогелем была выше, чем в вариантах без геля. Наиболее эффективным было внесение гидрогеля в вариантах со следующими дозами азота: N90+ гель; N120+ гель; N150+ гель. Однако статистический анализ данных показал, что влияние азотных удобрений было более значительным, чем действие гидрогеля. Наибольшее влияние гидрогеля наблюдалось в критические фазы развития яровой пшеницы, т.е. во время кущения - трубкования, когда для формирования корневой системы и роста биомассы требовалось большее количество влаги.

13. Изучено влияние гидрогелей на водообеспечение и продуктивность культур в полевом севообороте. Установлено, что эффективность влияния

гидрогелей продолжается на протяжении всей ротации севооборота. При этом отмечено снижение протеина в вариантах с гидрогелем на зерновых культурах и многолетних травах по сравнению с контрольным вариантом, а содержание клетчатки, сухого вещества, (каротина и углеводов в сене многолетних трав) наоборот увеличивалось пропорционально дозе внесенного гидрогеля.

14. Установлено, что наиболее эффективное влияние гидрогелей в севообороте сказывается во 2-3 годы после внесения. Через 4-5 лет после внесения гидрогелей наблюдалась тенденция к снижению водоудерживающей способности почвы.

15. Проведена комплексная оценка эффективности применения гидрогелей в звене полевого севооборота. Установлено, что наилучшие показатели агрономической эффективности применения гидрогелей соответствовали дозе 100 кг/га, 200 кг/га и 300 кг/га для гидрогеля на основе натрия. Наибольший эффект от гидрогелей получается на второй и третий годы после внесения. Максимальный условный чистый доход обеспечили оба вида гидрогеля с нормой внесения 300 кг/га: натриевый гидрогель - 13203,44 руб/га и гидрогель на основе калия-19433,44 руб/га. В остальных вариантах условный чистый доход несколько ниже, но рентабельность колебалась от 123,7 до 180,6 %. Наиболее экономически выгодным и рентабельным оказался гидрогель на основе натрия. Система применения гидрогелей в звене полевого севооборота энергетически оправданна, так как биоэнергетический коэффициент превышает 1,0 и даже достигает 6 - 9 на многолетних травах 1-го и 2-го годов пользования. Это указывает на то, что влага гидрогелей используется эффективно.

16. Впервые разработана методика и исследовано влияние гидрогелей на продуктивность зерновых культур в условиях почвенной засухи «засушник». Установлено, что внесение гидрогелей в корнеобитаемый слой почвы (10 -12 см) не приводит к достоверному увеличению урожайности зерновых культур в условиях засухи, т.е. без полива гидрогель высыхает и не действует в качестве водоудерживающей добавки. Достоверное ($p < 0,001$) увеличение урожайности

наблюдалось при внесении гидрогеля в слой 20-22 см. В связи с этим рекомендуется вносить гидрогель на глубину 20-22 см и проводить влагозарядковый полив перед посевом.

17. Установлена экологическая безопасность применения гидрогелей. Показано, что содержание нитратов в продукции растениеводства не превышает допустимые нормы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

В производственных условиях, для уменьшения рисков водообеспеченности посевов в почвенно – климатических зонах недостаточного увлажнения в структуре севооборота, рекомендуем повышенные (200 - 300 и даже 400 кг/га) дозы внесения гидрогелей сроком на 5 лет. Из агротехнологических приемов эффективного использования водопоглощающих полимеров (гидрогелей) в регионах засушливого земледелия, предпочтительно при отвальной вспашке внесение гидрогелей на глубину пахотного слоя (20-22 см). При мелкой обработке (10-12 см - глубина корнеобитаемого слоя) гидрогель вносится либо с минеральными удобрениями (РУМ, РУ), либо непосредственно с посевом семян зерновыми сеялками (СЗ-3,6).

Овощные культуры (морковь, свеклу) целесообразно сеять инкрустированными семенами, так как избыток влаги в почве может привести к растрескиванию корнеплодов. При посадке рассады овощных культур (капуста), корневую систему желательно обрабатывать гидрогелем, набухшим до состояния равновесия, так растения лучше приживаются.

Для достижения экономической эффективности применения водопоглощающих гидрогелей необходимо применять наиболее подходящие для климатической зоны агротехнические приемы возделывания и подбирать сорта сельскохозяйственных культур, устойчивые к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК

В связи с происходящими климатическими изменениями и ухудшением водообеспеченности посевов полевых культур, и возросшим интересом к водопоглощающим гидрогелям перспективным направлением становится использование полусинтетических полимеров, которые подвержены биодegradации и не загрязняют окружающую среду, обладают высокой прочностью и водопоглощающей способностью. Поэтому актуальной тематикой дальнейших научных разработок будет проведение лабораторных и полевых исследований по изучению влияния этих полимеров на гидрофизические свойства почв и корнеобитаемых почвенных горизонтов, взаимодействие с почвенными агрегатами и влажностью почвенного воздуха, влияние на микрофлору почвы, на рост и развитие корневых систем растений, на стабильность водообеспечения и сохранение устойчивости продуктивности сельскохозяйственных культур в условиях атмосферных и почвенных засух.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 7.0.11- 2011. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления.

ГОСТ Р 7.0.100 - 2018. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.1-2003. Список использованной литературы

ГОСТ 26483-85. Определение рН по методу ЦИНАО.

ГОСТ Р 54650 - 2011. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

ГОСТ 26207 – 91. Определение подвижного фосфора и обменного калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

ГОСТ 26213- 91. Определение гумуса по И.В.Тюрину.

ГОСТ 26107 – 84. Определение общего азота.

ГОСТ 26951- 86. Определение нитратного азота - ионометрическим методом.

ГОСТ 26489 - 85. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО

ГОСТ 28268 - 89. Определение влажности почвы.

ГОСТ 13496.3 – 92. Комбикормовое сырье. Определение влаги.

ГОСТ 13496.4 - 93. Корма.Определение сырого протеина.

ГОСТ Р 52839 – 2007. Корма.Определение содержания сырой клетчатки.

ГОСТ 13496. 17 – 95. Корма. Комбикорма. Определение каротина.

ГОСТ 26176 – 91. Корма. Комбикорма. Определение растворимых и легкогидролизуемых углеводов.

ГОСТ 5180-84. Методы лабораторного определения физических характеристик грунтов.

ГОСТ 13586.5 -2015. Метод определения влажности (метод воздушно-тепловой сушки).

ГОСТ 32933 – 2014. Корма. Комбикорма. Метод определения содержания золы.

ГОСТ 31675 – 2012. Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки.

ГОСТ 13496.4 – 2019. Корма. Комбикорма. Комбикормовое сырье. Фотометрический индофенольный метод определения азота.

ГОСТ 26657 – 97. Корма. Комбикорма. Комбикормовое сырье. Фотометрический метод определения содержания фосфора.

ГОСТ 30504 – 97. Корма. Комбикорма. Комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения калия.

ГОСТ 26570-95. Корма. Комбикорма. Комбикормовое сырье. Комплексонометрический метод определения кальция в пробах, подготовленных

способом сухого озоления.

ПНД Ф 16.2.2:2.3.71 – 2011. Определение содержания элементов методом пламенной атомно-адсорбционной спектроскопии

ГОСТ 10845 – 98. - Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В диссертационной работе используются следующие термины и их определения:

Гидрогель - это гранулы сшитого полимера, поглощающего воду и растворимые в воде удобрения. Этот полимер имеет уникальное свойство впитывать и удерживать в себе количество воды, в сотни раз превышающее собственный вес.

Продуктивная влага - часть почвенной влаги, при поглощении которой растения не только поддерживают свою жизнедеятельность, но и синтезируют органическое вещество.

Плотность (объемная масса) почвы - масса абсолютно сухой почвы при ненарушенном сложении (со всеми имеющимися в почве порами) в единице объема.

Водоудерживающая способность – это свойство почвы удерживать в себе воду, на которую действуют силы тяжести, которые стремятся удалить эту воду из почвы.

Наименьшая влагоемкость почвы - это показатель количества воды, удерживаемое почвой в практически неподвижном состоянии после обильного полива и просачивания избыточной воды под влиянием силы тяжести.

Влагообеспеченность растений – это отношение имеющегося в почве запаса продуктивной влаги к запасу ее при наименьшей влагоемкости, что соответствует диапазону активной влаги.

Эвапотранспирация (суммарное испарение) – количество влаги, переходящее в атмосферу в виде пара в результате десукции и последующей транспирации (физиологическое испарение) и физического испарения из почвы и с поверхности растительности.

Эвапотранспирация потенциальная – количество воды, которое могло бы выделиться путем эвапотранспирации при определенном режиме температуры и влажности при избыточном количестве воды.

Азотные удобрения - неорганические и органические азотсодержащие вещества. К минеральным азотным удобрениям относят амидные, аммиачные и нитратные.

Урожайность - это количество продукции, полученного с одного гектара в результате жизнедеятельности определенной совокупности растений.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ПАА	полиакриламид;
ГИПАН	гидролизированный полиникрилонитрат;
К-4	сополимер на основе полиакрилонитрила;
СВА	супервлагоабсорбент;
ПГА	полигидроксилаканоат;
ПМК	полимолочная кислота
ПБС	полибутиленсукцинат
АПСК	акриламидометилпропансульфо кислота
АК	акриловая кислота
ПАК	полиакриловая кислота
САП	суперабсорбирующие полимеры
ПВС	поливиниловый спирт
ВМС	высокомолекулярные соединения
НМЖ	низкомолекулярная жидкость
ИСО	искусственное оструктурирование;
NH ₄	аммонийный азот;
NO ₃	нитратный азот;
K ₂ O	подвижный калий
P ₂ O ₅	подвижный фосфор;
шт/м ²	штук на 1 метр квадратный;
N ₉₀ д.в.	дозы действующего вещества азотных удобрений
ГГ _{Na} (10-12 см)	гидрогель на натриевой основе (Ритин-10), внесенный в слой 10-12 сантиметров
ГГ _K (10-12 см)	гидрогель на калиевой основе (В-415К), внесенный в слой 10-12 сантиметров
ГГ _{Na} (20-22 см)	гидрогель на натриевой основе (Ритин-10), внесенный в слой 20-22 сантиметра
ГГ _K (20-22 см)	гидрогель на калиевой основе (В-415К), внесенный в слой 20-22 сантиметра
ГГ _{Na} -100; 200; 300	гидрогель на натриевой основе (Ритин-10), с дозой внесения 100 кг/га; 200 кг/га; 300 кг/га
ГГ _K - 100; 200; 300	гидрогель на калиевой основе (В-415К), с дозой внесения 100 кг/га; 200 кг/га; 300 кг/га

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимова, Л.Н. Влияние искусственной структуры на водно-физические условия в почве и урожай растений /Л.Н. Абросимова // Бюллетень НТИ по агрономической физике. – 1960. – №7. – С. 21–27.
2. Абросимова, Л.Н. Биологическая оценка лигниновых структурообразователей / Л.Н. Абросимова // Бюллетень НТИ по агрономической физике. –1983. – № 53. – С. 42 – 45.
3. Абросимова, Л.Н. Применение искусственных структурообразователей и отходов промышленности для ускорения мелиорации почв / Л.Н. Абросимова, И.А. Романов // Тезисы докладов 7 Делегатского съезда Всесоюзного Общества почвоведов. – 1985. – 41с.
4. Агафонов, О.А. Гидрогели для улучшения водного режима легких почв и песков. Вопросы агрофизики при воспроизводстве плодородия почв / О.А. Агафонов, И.А. Катичева // Тезисы докладов Всероссийской конференции. – 1991. – С.3.
5. Агафонов, О.М. Возможности полимерного гидрогеля как накопителя почвенной влаги в зоне неустойчивого увлажнения Краснодарского края / О.М. Агафонов, В.Ю. Ревенко // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2017. – №10. – С. 35–38.
6. Агропромышленный портал России. Метод засушников (ч. 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro-portal24.ru/selekcija/2365-metod-zasushnikov-chast-1.html>
7. Агропромышленный портал России. Потребность в мелиорации по климатическим зонам (ч.2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agro-portal24.ru/melioracii/4523-potrebnost-v-melioracii-poklimaticheskim-zonam-chast-1.html>
8. Агрохимический портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://agrochim.biz/sostav/peschanaja-pochva-osnovnye-harakteristiki.html>.

9. Агрохимия и система применения удобрений: учебно-методическое пособие / С. Ф. Шекунова [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Горки: БГСХА. – 2016. – 258 с.
10. Аджиев, Д.Р. Способ улучшения водно-физических свойств почв / Ю.Р. Аджиев, Р.С. Рафиков, А.И. Платов, Е.П. Ишханова, Е.И. Годунова, Т.Н. Данилова, А.С. Старцев / Патент № 2527215. Заявка № 2013116932.
11. Алексеев, Р.П. Пути повышения эффективности полиакриламида на многонатриевом солонце / Р.П. Алексеев // Научн. тр. Омского с/х ин-та. – 1974. – Вып. 125. – С. 38-51.
12. Амирасланов, К.З. Опыт применения некоторых полимерных препаратов в борьбе с ветровой эрозией почв на Апшероне / К.З. Амирасланов, Ч.А. Алиев, Л.В. Ковдышева // Вестник с/х науки. – 1973. – №6. – С. 31–35.
13. Ананьева, Н.Д. Грибная и бактериальная микробная биомасса (селективное ингибирование и продуцирование CO₂ и N₂O дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов) / Н.Д. Ананьева, Е.В. Стольникова, Е.А. Сусьян, А.К. Ходжаева // Почвоведение. – 2010. – № 11. – С. 1387–1393.
14. Анненков, В.В. Агроэкологическая эффективность применения Хотынецких цеолитов в севооборотах с зернобобовыми и крупяными культурами на темно-серых лесных почвах Орловской области: автореферат дис...канд. с/х наук: 06.01.01 / Анненков Валерий Владимирович. – Курск. 2008. – 21 с.
15. Ахмедов, К.С. Новые структурообразующие вещества / К.С. Ахмедов, К.С. Зайнутдинов, К.В. Погорельский // В сб. трудов по агр. физике. – 1962. – Вып.10. – С.171–177.
16. Балашев, Л.Л. Проведение учетов и наблюдений в период вегетаций в полевых опытах / Л.Л. Балашев // Полевой опыт. – М.: Изд-во Колос. – 1968. – С. 131–138.
17. Батакова, О.Б. Влияние элементов структуры урожая на продуктивность ячменя ярового (*Hordeum vulgare L*) в условиях Крайнего Севера РФ / О.Б. Батакова, В.А. Корелина // Труды по прикладной ботанике, генетике и

- селекции. – 2017. – Т.178 (3). – С.50–58. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-3-50-58>.
18. Вавилов, П.П. Растениеводство / П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, В.С. Кузнецов и др.; под ред. П.П. Вавилова. 5-е изд., перераб. и доп. – Агропромиздат. – 1986. – 512 с.
 19. Банкин, М.П. Физико-химические методы в агрохимии и биологии почв: учебное пособие / М.П. Банкин, Т.А. Банкина, Л.Н. Коробейникова. – СПб.: СПбГУ. – 2005. – 175 с.
 20. Безкоровайная, И.Н. Биологическая диагностика и индикация почв: краткий курс лекций / И.Н. Безкоровайная. – Красноярск: Красноярский ГАУ. – 2001. – С.12–17.
 21. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв и грунтов / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Высшая школа. – 1986. – 416 с.
 22. Вершинин, П.В. Физико-химические основы искусственной структуры почв / П.В. Вершинин, В.П. Константинова. – М.: Сельхозгиз. – 1935. – 180 с.
 23. Вершинин, П.В. Почвенная структура и условия ее формирования / П.В. Вершинин. – М–Л:1958. – 186 с.
 24. Вершинин, П.В. Проблема искусственного структурообразования / П.В. Вершинин // Сборник трудов по агрономической физике. – 1960. – Вып.8. – С.131–142.
 25. Воронин, А.Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А.Д. Воронин. – М.: МГУ. – 1984. – 204 с.
 26. Воронина, В.П. Агроэкологический потенциал пастбищных экосистем Северо-Западного Прикаспия в условиях меняющегося климата: дис... д-ра с/х наук: 06.03.04., 03.00.16 / Воронина Валентина Павловна. Волгоград. – 2009. – 498 с.
 27. Габай, В.С. Полиакриламид и закрепление подвижных песков / В.С. Габай // Вестник с/х науки. – 1965. – №7. – С. 10–16.

28. Ганжара Н.Ф. Почвоведение (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений) / Н.Ф. Ганжара. – М.: Агроконсалт. – 2001. – 392 с.
29. География. Почвы в пустынной зоне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dipland.ru/География/Почвы_в_пустынной_зоне_108209.
30. Глобус, А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. / А.М. Глобус. - Л.: Гидрометеоиздат. – 1969. – 356 с.
31. Годунова, Е.И. Перспективы использования гидрогеля в земледелии Центрального Предкавказья / Е.И. Годунова, В.Н. Гундырин, С.Н. Шкабарда // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 1. – С. 24 – 27.
32. Годунова, Е.И. Роль гидрогеля в улучшении влагообеспеченности озимой пшеницы по полупару в зоне неустойчивого увлажнения Ставропольского края / Е.И. Годунова, В.Н. Гундырин // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29. – №5. – С. 57–59.
33. Годунова, Е.И. Влияние способа заделки гидрогеля на его эффективность на обыкновенном черноземе Центрального Предкавказья / Е.И. Годунова, В.Н. Гундырин, С.Н. Шкабарда // Научное обеспечение агропромышленного комплекса на современном этапе: Сб. матер. Междунар. научн. - практ. конф. – Рассвет. – 2015. – С. 105 –111.
34. Годунова, Е.И. Эффективность гидрогеля на четвертый год после внесения в условиях центрального Предкавказья / Е.И. Годунова, В.Н. Гундырин, С.Н. Шкабарда // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 5. – С. 16 –19.
35. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 1949.
36. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 2000.
37. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 2001.

38. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 2002.
39. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 2004.
40. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 2006.
41. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 2007.
42. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 2009.
43. Грудинина, Е.Ю. Возможности использования гидрогелей для повышения влагоемкости почв и песков / Е.Ю. Грудинина // Научно-технический бюллетень по агрономической физике. АФИ. – 1983. – № 53. – С.11–15.
44. Гундырин, В.Н. Использование гидрогеля в зоне неустойчивого увлажнения Ставрополя / В.Н. Гундырин, Е.И. Годунова, С.Н. Шкабарда // Земледелие. – 2014. – №6. – С.37–38.
45. Гуссак, В.Б. Влияние гуминовых и полимерных препаратов на физические свойства почвы / В.Б. Гуссак // В сб. «Гуминовые и полимерные препараты в сельском хозяйстве» Ташкент: Изд-во АН УзССР. – 1961. – С. 52–76.
46. Данилова, Т.Н. Использование гидрогелей для улучшения водно – физических свойств почвы / Т.Н. Данилова // Материалы Международного форума «Земля и урожай». С – Пб. – 2007 г. – С. 34 – 36.
47. Данилова, Т.Н. Возможности использования гидрогелей для управления водообеспеченностью полей / Т.Н. Данилова, Л.В. Козырева // Плодородие. – 2008. – № 6. – С.24–25.
48. Данилова, Т.Н. Возможности использования водоудерживающих полимеров в растениеводстве / Т.Н. Данилова // Материалы Международного агроэкологического форума в рамках Невского международного экологического конгресса. С – Пб. – 2013. – С. 152–156.

49. Данилова, Т.Н. Влияние полимерного геля «Ритин – 10» на водно - физические свойства / Т.Н. Данилова // Агрофизика. – 2013. – № 2 (10). – С. 38–43.
50. Данилова, Т.Н. Водопоглощающие полимеры для управления водным режимом полей / Т.Н. Данилова, А.С. Старцев // Материалы научной сессии по итогам 2012 года Агрофизического института. С – Пб.: ГНУ АФИ. – 2013. – С.100–105.
51. Данилова, Т.Н. Регулирование водного режима дерново-подзолистых почв и влагообеспеченности растений при помощи водопоглощающих полимеров / Т.Н. Данилова // Агрофизика. – 2016. – № 1. – С. 8–16.
52. Данилова, Т.Н. Влияние полимерных гелей «Ритин -10» и «В 415-К» на водообеспечение зерновых культур в условиях почвенной засухи / Т.Н. Данилова // Агрофизика. – 2018. – №1. – С.1–9. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.01.01.
53. Данилова, Т.Н. Водопоглощающие полимеры для управления водообеспеченностью сельскохозяйственных культур / Т.Н. Данилова // Известия СПбГАУ. – 2018. – № 3(52). – С.47–53.
54. Данилова, Т.Н. Роль абсорбента AQUASORB в повышении водоудерживающей способности почв / Т.Н. Данилова, Л.К. Табынбаева, С.Б. Кененбаев, В.С. Бойко // Агрофизика. – 2018. – № 2. – С. 1–8. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.02.01.
55. Данилова, Т.Н. Полимерные гели для управления водообеспеченностью пшеницы (*Triticum aestivum.*) в разных экологических условиях / Т.Н. Данилова Т.Н., Л.К. Табынбаева // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54. – № 1. – С. 76–83. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.76 rus.
56. Данилова, Т.Н. Полимерные гели для увеличения водоудерживающей способности почв / Т.Н. Данилова // В сб. трудов Всероссийской научной конференции с Международным участием «Фундаментальные концепции

- физики почв: развитие, современные приложения и перспективы». – М., МГУ. – 2019. – С.276–279.
57. Данилова, Т.Н. Влияние полимерных гелей на диапазон доступной влаги дерново-подзолистой супесчаной почвы / Т.Н. Данилова // Агрофизика. – 2020. – №3. – С.17–22. DOI:10.25695/AGRPH.2020.03.03.
58. Данилова, Т.Н. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей / Т.Н. Данилова, Ю.В. Хомяков, П.Ю. Конончук // Вестник защиты растений. – 2021. – Т.104. – № 2. – С. 97–104. DOI: 10.31993/2308-6459-2021-104-2-13961.
59. Данилова, Т.Н. Влияние гидрогелей на показатели структуры урожая зерновых культур в условиях почвенной засухи «засушник» и в полевых условиях / Т.Н. Данилова // Известия СПб ГАУ. – 2021. – № 3 (64). – С.31–39. DOI: 10. 24412/2078-1318-2021-3-31-39.
60. Данилова, Т.Н. О формировании продуктивности зерновых культур при внесении гидрогелей в условиях модельной почвенной засухи и в полевых условиях / Т.Н. Данилова, Л.К. Табынбаева // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – Т.57. – № 3. – С. 460–475. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.3.460 rus
61. Динамика накопления биомассы изучаемых культур по фазам развития // Руководство по контролю и обработке наблюдений за фазами развития с.-х. культур. – М.: Изд-во Колос. – 1982. – 150 с.
62. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Изд-во Колос. –1985. – 351с.
63. Дубровский, С.А. Измерение набухания слабосшитых полимерных гидрогелей / С.А. Дубровский, С.А., М.В. Афанасьева, М.А. Лагутина, К.С. Казанский // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 1990. – Т. 32. – № 1. – С. 165-170.
64. Дубровский, С.А. Термодинамические основы применения сильнонабухающих гидрогелей в качестве влагоабсорберов / С.А.

- Дубровский, К.С. Казанский. // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 1993. – Т.35. – № 10. – С. 1712–1721.
65. Дубровский, С.А. Набухание и упругость слабосшитых полимерных гидрогелей: автореферат дис... д-ра физ.- мат. наук: 02.00.06/ Дубровский Сергей Александрович. – М., 2008. – 45с.
66. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]. – Версия 1.0. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. – 2019. – Режим доступа: <http://egrpr.esoil.ru/content/howtouse.html>
67. Емцев, В.Т. Микробиология: учебник для вузов / В.Т. Емцев, Е.Н. Мищустин. – М.: Дрофа. – 2005. – 445 с.
68. Ермаков, Е.И. Ризотроны с пленочной пористой корнеобитаемой средой для исследования корневых систем растений / Е.И. Ермаков, Ю. Желтов // Агрофизические методы и приборы. Растения и среда их обитания. Санкт-Петербург. – 1998. – Т.3. – С. 37–51.
69. Ефимов, А.Е. Программа для обработки экспериментальных полевых данных и вычисления параметров фитоклимата сельскохозяйственного поля / А.Е. Ефимов, Л.В. Козырева. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2010616625. – 2010 г.
70. Забелина, О.Н. Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира): дисс. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Забелина Ольга Николаевна. – Владимир. – 2014. – 146 с.
71. Заварзин, Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии / Г.А. Заварзин. – М.: Наука. – 2004. – 348 с.
72. Земцова, Е.С. Влияние густоты стояния растений на структуру урожая яровой мягкой пшеницы [Электронный ресурс] / Е.С. Земцова, Н.А. Боме, Е.С. Земцова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–2. – 824с. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21757> (дата обращения: 09.07.2021).

73. Иванов, А.И. Рекомендации по применению технологий проведения агротехнических, агробиологических и реабилитационных мероприятий / А.И. Иванов, П.В. Лекомцев, В.В. Якушев, В.В. Воропаев и др. СПб.: ГНУ Агрофизический НИИ РАСХН. – 2009. – 207 с.
74. Иванов, А.И. Снижение зависимости земледелия Северо-Запада России от погодно-климатических аномалий: проблемы и решения / А.И. Иванов, А.А. Конашенков // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 5. – С. 32–37.
75. Иванов, А.И. Климатические изменения и некоторые аспекты адаптации к ним в условиях Нечерноземной зоны России / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова // Материалы III международной научной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего». ФГБНУ АФИ. – С – Пб. – 2021 г. – С 119–123.
76. Иовик, Л.Н. Агроэкономическая эффективность внесения органических удобрений на основе отходов биогазовой установки под ячмень на дерново-подзолистой супесчаной почве / Л.Н. Иовик // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 125–137.
77. Ионова, Е.В. Засухоустойчивость ярового ячменя в условиях модельной засухи и полевого опыта / Е.В. Ионова, Е.Г. Филлипов // Научное обеспечение стабильности производства зерновых и кормовых культур: сб. науч. тр. ВНИИЗК. – Ростов-на-Дону. – 2008. – С.18–25.
78. Ионова, Е.В. Корневая система и сухая масса растений ярового ячменя в условиях модельной засухи («засушник») / Е.В. Ионова, Е.Г. Филлипов, Н.Н. Анисимова. // Зерновое хозяйство России. – 2010. – № 3(9). – С. 5–9.
79. Ионова, Е.В. Устойчивость сортов и линий пшеницы, ячменя и сорго к региональному типу засухи: дисс. ... д-ра. с.-х. наук: 06.01.05/ Ионова Елена Витальевна. – Краснодар. – 2011. – 357с.
80. Иоффе, А.Ф. Основы агрофизики / А.Ф. Иоффе, И.Б. Ревут. – М. Из-во физ-мат. лит – ры. – 1959. – 360 с.

81. Казанский, К.С. Сильнонабухающие полимерные гидрогели для растениеводства / К.С. Казанский // Вестник с.-х. науки. – 1990. – №12. – С.164–166.
82. Казанский, К.С. Особенности набухания гидрогелей полиэтиленоксида / К.С. Казанский, М.В. Архипович, С.А. Афанасьев, С.А. Дубровский, В.И. Кузнецова // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 1993. – Т. 35. – № 7. – С. 850–856.
83. Казанский, К.С. Сильнонабухающие полимерные гидрогели - новые влагоудерживающие почвенные добавки / К.С. Казанский, Г.В. Ракова, Н.С. Ениколопов, О.А. Агафонов, И.А. Романов, И.Б. Усков // Вестник с.-х. науки. – 1988. – №4. – С.125–132.
84. Каргин, В.А. Энциклопедия полимеров / В.А. Каргин. - М.: Советская энциклопедия. – 1972. – Т.1. – 609 с.
85. Кауричев, И.С. Структура почвенного покрова и типизация земель / И.С. Кауричев, Т.А. Романова, Н.П. Сорокина. – М.: Изд.-во. МСХА. – 1992. – 151с.
86. Качинский, Н. А. Проблемы использования ВМС (высокомолекулярных соединений) для структурообразования почв / Н.А. Качинский. // Вестник МГУ. Сер.VI. – 1962. – № 4. – С.3–23.
87. Качинский, Н.А. Использование полимеров для оструктурирования и мелиорации почв / Н.А. Качинский, А.И. Мосолова, Л.Х. Таймуразова // Почвоведение. – 1967. – № 12. – С. 98–106.
88. Каштановые почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/11_127806_kashtanovie-pochvi.html
89. Киреев, В.В. Высокомолекулярные соединения / В.В.Киреев. – М.: Высшая школа. – 1992. – 512 с.
90. Кленин, В.И. Термодинамика систем с гибкоцепными полимерами / В.И. Кленин. - Саратов. Саратовский ГУ. – 1995. – 733 с.
91. Климат Ленинградской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://aspektcenter.ru/klimat-leningradskoy-oblasti-tablitsa/>

92. Кобышева, Н.В. Климатология: [Учебник для гидрометеорол. техникумов] / Н.В. Кобышева, С.И. Костин, Э.А. Струнников. –Л.: Гидрометеиздат. – 1980. – 344 с.
93. Ковда, В. А. Происхождение и режим засоленных почв / В. А. Ковда М. – Л.: Изд-во АН СССР. – 1946. – Т. 1. – 568 с.
94. Ковриго, В. П. Почвоведение с основами геологии: учебник / В. П. Ковриго, И. С. Кауричев, Л. М. Бурлакова. 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Колос. – 2008. – 439 с.
95. Козырева, Л.В. Агрометеорологические характеристики почвозащитного гребневания поверхности полей: дис...канд. техн. наук: 11.00.09 / Козырева Людмила Владимировна. – Ленинград, 1987. – 183 с.
96. Колосов, И.И. Поглощительная деятельность корневых систем растений / И.И. Колосов. – М. – 1962. – 388 с.
97. Колясев, Ф.Е. Метод искусственного образования структуры почвы / Ф.Е. Колясев, П.В. Вершинин; под ред. акад. А.Ф. Иоффе. – М.; Л.: Изд-во Акад.с.-х. наук. – 1935. –32 с.
98. Колясев, Ф.Е. К теории дифференциальной влажности почвы / Ф.Е. Колясев, М.К. Мельникова // Почвоведение. – 1949. – №3. – 126 с.
99. Кротов, П.В. Влияние влагонабухающих гидрогелей на оптимальное влагообеспечение и питание сельскохозяйственных культур в звене севооборота: автореф. канд. с.-х. наук: 06.01.04 / Кротов Павел Валентинович. – Немчиновка, 1996. – 22 с.
100. Кузнецов, А.Ю. Влияние полимерной мелиорации на свойства чернозема выщелоченного, тепличного почвогрунта и урожайность сельскохозяйственных культур: автореф. ... канд. с-х. наук: 06.01.01/ Кузнецов Александр Юрьевич. - Пенза, 2003. – 25 с.
101. Купревич, В.Ф. Биологическая активность почвы и методы ее определения / В.Ф. Купревич. // Доклады АН СССР. – 1951. – С. 863–866.

102. Куценко, Е.В. Применение поликомплексов для закрепления подвижных песков и борьбы с дефляцией легких почв / Е.В. Куценко // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. – 1981. – №2. – С.58–61.
103. Лагутина, М.А. Набухание полиэлектролитных гидрогелей в условиях пространственных ограничений / М.А. Лагутина, С.А. Дубровский, К.С. Казанский // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. – 1995. – Т. 37. – № 3. – С. 528–532.
104. Лагутина, М. А. Давление набухания слабоионных гидрогелей на основе акриламида / М.А. Лагутина, С.А. Дубровский // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 1996. – Т. 38. – № 9. – С. 1587–1592.
105. Лекомцев, П.В. Научно-методическое обеспечение управления производственным процессом яровой пшеницы в системе точного земледелия: дис...д-ра биол. наук: 06.01.03 / Лекомцев Петр Валентинович. – С – Пб, 2015. – 365 с.
106. Лобова, Е.В. Почвы пустынной зоны СССР / Е.В. Лобова. – Изд-во Академии наук СССР. – 1960. – 364 с.
107. Лопатовская, О.Г. Мелиорация почв, засоленные почвы (учебное пособие) / О.Г. Лопатовская, А.А. Сугаченко. – Иркутск. – 2010. – 101 с.
108. Лыкова Н.А. Влияние лимитирующих факторов среды на следующее поколение растений и принцип ускоренного испытания генотипов: дис...д-ра биол. наук: 06.01.03 / Лыкова Наталья Алексеевна. – С – Пб, 2008. – 389 с.
109. Максимова, Ю.Г. Влияние гидрогелей полиакриламида на микрофлору почвы / Ю.Г. Максимова, А.Ю. Максимов, В.А. Демаков, В.И. Будников // Вестник Пермского университета. – 2010. – Вып. 1 (1). – С. 45–49.
110. Масленкова, Г.Л. Исследование структурообразующих свойств полимеров методом инфракрасной спектроскопии / Г.Л. Масленкова // Бюллетень НТИ по агрономической физике. – 1960. – №8–9. – С. 61–69.
111. Масленкова, Г.Л. О механизме искусственного структурообразования / Г.Л. Масленкова // Почвоведение. – 1961. – № 11. – С. 31–36.

112. Медянцева, Е.А. Растворы полимеров/ Е.А. Медянцева, П.Г. Морозов (учебное пособие по растворам полимеров для студентов химического факультета). – Ростов/Дону. – 2006. – 55с.
113. Методика государственного сортоиспытания с.-х. культур. – М., 1989. – 194 с.
114. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]; БелНИИ почвоведения и агрохимии. – Минск. – 1988. – 30 с.
115. Методика определения энергетической эффективности применения минеральных, органических и известковых удобрений / Г.В. Василюк и др. Минск: БелНИИ почвоведения и агрохимии. – 1996. – 52 с.
116. Методические рекомендации, по экономической оценке, интенсивных технологий производства зерна. – М. – 1987. – 41 с.
117. Методы оценки качества зерна: лабораторный практикум / Е.Д. Казаков. – М.: «Агропромиздат». – 1987. – 214 с.
118. Мирзоев, Э.М.-Р. Экологические аспекты мелиорации засоленных орошаемых почв аридных регионов / Э.М.-Р. Мирзоев, М.А. Баламирзоев // Известия ДГПУ. – 2008. – № 2. – С. 1–6.
119. Мичурин, Б.И. Энергетика почвенной влаги / Б.И. Мичурин. – Л. Гидрометеиздат. – 1975. – 140 с.
120. Моисеев, К.Г. База данных почвенного покрова Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии (структура почвенного покрова, геоморфологическое строение, физические и геохимические свойства почв) / К.Г. Моисеев, В.Д. Гончаров, Е.Г. Зинчук, Е.Я. Рижия, Л.В. Бойцова, П.Д. Гурин, А.С. Старцев, В.Н. Пищик / Патент № 2013620682. Заявка № 2013620301. Дата регистрации 06.06.2013.
121. Моисеев, К.Г. Корректировочные работы по крупномасштабному почвенному картографированию Меньковского филиала Агрофизического института Россельхозакадемии / К.Г. Моисеев, Е.Я. Рижия, Л.В. Бойцова, Е.Г. Зинчук, В.Д. Гончаров // Агрофизика. – 2013. – №1(9). – С. 30–36.

122. Мосолова, А.И. Влияние полимеров на структуру дерново-подзолистых почв и урожайность сельскохозяйственных культур / А.И. Мосолова // Почвоведение. – 1970. – № 9. – С. 54–64.
123. Мосолова, А.И. Длительность действия полимерных препаратов при закреплении почвогрунтов применительно к засыпкам дренажных траншей / А.И. Мосолова, В.Ф. Уткаева // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. – 1977. – №2. – С.31–35.
124. Мостовая, А.С. Изменение микробиологической активности серых лесных почв в процессе естественного лесовосстановления / А.С. Мостовая, И.Н. Курганова, В.О. Лопес де Гереню, О.С. Хохлова, А.В. Русаков, А.С. Шаповалов // Вестник ВГУ. Серия: Химия, биология, фармация. – 2015. – № 2. – С. 64–72.
125. Муромцев, Н.А. Мелиоративная гидрофизика почв / Н.А. Муромцев. – Л: Гидрометеиздат. – 1991. – 271 с.
126. Нурыев, Б.Н. Факторы, определяющие влагоемкость Каракумского песка под влиянием гидрогелей / Б.Н. Нурыев, Л.С. Мирошник, С.А. Дубровский, К.С. Казанский. – Ашхабад: Изд-во «Ылым». – 1986. – 62 с.
127. Описание сорта пшеницы яровой (Дарья, Эстер) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://semena58.ru/ester.html>
128. Организационно - технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов. – Минск: Белорусская наука. – 2005. – 304 с.
129. Паганяс, К.С. Искусственная структура, функциональные свойства и урожай хлопчатника / К.С. Паганяс. - Ташкент: ФАН. Уз. ССР. – 1972. – 365с.
130. Пески и песчаные почвы. Почвоведение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studme.org/294395/ekologiya/peski_peschanye_pochvy
131. Песчаные почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/11_127785_peschanie-pochvi.html

132. Подзолистые почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Подзолистые_почвы.
133. Почвоведение / под ред. И.С. Кауричева. М.: Агропромиздат. – 1989. – 719 с.
134. Почвоведение. Учебник для ун-тов. В 2 ч. /Под ред. В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. Ч. 1 Почва и почвообразование / Г. Д. Белицина, В. Д. Васильевская, Л. А. Гришина и др. М.: Высш. шк. –1988. – 400 с.
135. Ревут, И.Б. О некоторых направлениях применения полимеров в земледелии / И.Б. Ревут, А.А. Ионавичус, Г.Л. Масленкова // Сборник трудов по агрономической физике. – 1969. – Вып.19. – С.95–103.
136. Ревут, И.Б. Химические способы воздействия на испарение и эрозию почвы / И.Б. Ревут, Г.Л. Масленкова, И.А. Романов. – М.: Гидрометеиздат. – 1973. – 27 с.
137. Рижия, Е.Я. Ферментативная активность и эмиссия закиси азота из дерново-подзолистой супесчаной почвы с биоуглем / Е.Я. Рижия, И.М. Мухина, В.Е. Вертебный, Я. Хорак, П.Ю. Конончук, Ю.В. Хомяков // Сельскохозяйственная биология. – 2017. – Т. 52. – № 3. – С. 464 – 470.
138. Романов, И.А. Применение полиакриламида для улучшения физических свойств почвы / И.А. Романов // Бюллетень НТИ по агрономической физике. - 1960. – Вып. 8–9. – С. 8–9.
139. Романов, И.А. Влияние полимеров на физические свойства подзолистых глинистых почв и урожай сельскохозяйственных культур: автореф. канд. с-х. наук: 06.01.01/ Романов Иван Андреевич. – Л., 1962. – 22 с.
140. Романов, И.А., Агафонов О.А., Абросимова Л.Н., Катичева И.А. Экспрессные методы управления водно-физическими условиями в почве / И.А. Романов, О.А. Агафонов, Л.Н. Абросимова, И.А. Катичева // Бюллетень НТИ по агрономической физике. – 1985. – № 61. – С.37–40.
141. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А.И. Бедрицкого. – С – Пб.; Москва: «Летний сад». – 2009. – Т. 3. – 216 с.

142. Садовникова, Н.Б. Влияние сильнонабухающих полимерных гидрогелей на физическое состояние почв легкого гранулометрического состава: автореф. канд. биол. наук: 06.01.03/ Садовникова Надежда Борисовна. – М., 2008. – 28 с.
143. Садовникова, Н.Б. Инструментальный колоночно-центрифужный метод оценки водоудерживающей способности почв и грунтов / Н.Б. Садовникова, А.В. Смагин // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2011. – Т.7. – № 2. – С.15–22.
144. Садовникова, Н.Б. Технологии почвенного конструирования с использованием природных и синтетических биополимеров / Н.Б. Садовникова, А.В. Смагин // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2012. – Т.8. – № 3. – С. 5–30.
145. Садовникова, Н.Б. Термодинамическая оценка влияния сильнонабухающих полимерных гидрогелей на водоудерживающую способность модельных пористых сред / Н.Б. Садовникова, А.В. Смагин, М.А. Сидорова // Почвоведение. – 2014. – № 4. – С.455–465.
146. Самченко, Ю.М. Сорбционные свойства (со)полимерных гидрогелей с наноразмерной структурой пор / Ю.М. Самченко, Н.А. Пасмурцева, М.А. Альтшулер // Катализ и нефтехимия. – 2007. – № 15. – С.16–20.
147. Сахибгареев, А.А. Ячмень яровой. Современные технологии возделывания в Республике Башкортостан (методические рекомендации) / А.А. Сахибгареев, Р.Л. Ачкурин, Г. Н. Гарипова, А.Х. Давлетов, Н.А. Коваленко, И.С. Насыров, И.И. Сураков, И.П. Леонтьев, В.И. Кузнецов, Р.Г. Гильманов. – Уфа: Мир печати, 2016. – 64 с. ISBN 978-5-9613-0380-3
148. Свойства и характеристика сорта яровой пшеницы Эстер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dacha-dacha.ru/sorta/pshenitsa-myagkaya-yarovaya/ester>
149. Свойства и характеристика сорта яровой пшеницы Дарья [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dacha-dacha.ru/sorta/pshenitsa-myagkaya-yarovaya/darya>

150. Свойства и характеристика сорта моркови Самсон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zookovcheg.ru/ovoshhi/morkov-samson-harakteristiki-sorta-foto-uhod-urozhajnost-i-otzyvy.html?>
151. Семчиков, Ю.Д. Высокомолекулярные соединения: учебник для вузов / Ю.Д. Семчиков. - М., Академия. – 2003. – 368 с.
152. Семчиков, Ю.Д. Введение в химию и физику полимеров: учебное пособие / Ю.Д. Семчиков, С.Д. Зайцев. – Нижний Новгород. – 2007. – 257 с.
153. Сероземы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lektsiopedia.org/lek-23379.html>
154. Серые лесные почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: wikipedia.org.
155. Серые лесные почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/24_49529_vopros--serie-lesnie-pochvi.html
156. Смагин, А.В. Влияние сильнонабухающих полимерных гидрогелей на физическое состояние почв легкого гранулометрического состава / А.В. Смагин, Н.Б. Садовникова. – М.: МАКС Пресс. – 2009. – 208 с.
157. Смагин, А.В. Теория и практика конструирования почв / А.В. Смагин – М., МГУ. 2012. – 544 с.
158. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси / Ф.И. Привалов и др. Минск: ИВЦ Минфина. – 2007. – 448 с.
159. Соколов, А.В. Агрохимические и агрофизические исследования почвы при закладке и проведении полевых опытов. Полевой опыт / А.В. Соколов. – М.: Изд-во Колос. – 1968. – С. 111–118.
160. Сорокина, О.А. Система применения удобрений: метод. указания для практических занятий / О.А. Сорокина. – Красноярск. Краснояр. ГАУ. – 2015. – 88 с.
161. Сортные ресурсы зернофуражных культур Нечерноземной зоны России (каталог) // Под редакцией Г.А. Баталовой и Н.Н. Зезина. - Екатеринбург, ГНУ Уральский НИИСХ. – 2010. – 175 с.

162. Спиридонова, В.М. Супрамолекулярные гидрогели на основе L – цистеина и нитрата серебра: получение, структура и физико-химические свойства: дис...канд. хим. наук: 02.00.04 / Спиридонова Валентина Михайловна. – Тверь, 2012. – 120 с.
163. Справочник агрохимика / В.В. Лапа и др.; Ин-т почвоведения и агрохимии. - Минск: Белорусская наука. – 2007. – 390 с.
164. Строганов, Б.П. Растения и засоленные почвы / Б.П. Строганов. – М.: Изд-во Академии наук СССР. – 1958. – 140 с.
165. Судницын, И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений / И.И. Судницын. – М., МГУ. – 1979. – 285 с.
166. Сутягин, В.М. Химия и физика полимеров: учебное пособие / В.М. Сутягин, Л.И. Богдалетова. – Томск. ТПУ. – 2003. – 208 с.
167. Сушко, С.В. Микробное дыхание почвы в полевых и лабораторных условиях / С.В. Сушко, Н.Д. Ананьева, К.В. Иващенко, В.И. Васенев, Д.А. Саржанов // Агрофизика. – 2016. – № 4. – С.17–23.
168. Сэги, И. Методы почвенной микробиологии /И. Сэги. – М.: Наука. – 1983. – 182 с.
169. Табынбаева, Л.К. Изменение показателей плотности почвы и урожайности озимой пшеницы в зависимости от применения абсорбента «Aquasorb» в условиях юго-востока Казахстана / Л.К. Табынбаева, С.Б. Кененбаев, Е.К. Жусупбеков // Известия НАН РК. Серия аграрных наук. – 2017. – № 2 (38). – С.68–73.
170. Табынбаева, Л.К. Использование абсорбента «Аквасорб» на посевах озимой пшеницы в условиях Казахстана / Л.К. Табынбаева, С.Б. Кененбаев // В сб. статей междунар. науч.- практ. конф., посв. 200-летию Н.И. Железнова. – М. – 2017. – С.78–80.
171. Табынбаева, Л.К. Влияние абсорбента «Аквасорб» на продуктивность зерновых культур в условиях предгорно-степной зоны юго-востока Казахстана:

- дис...д-ра философии: 6D080100/ Табынбаева Лайла Климовна. – Алматы. – 2018. –146 с.
172. Тагер, А.А. Физико - химия полимеров: учебное пособие для хим. фак. ун-тов / А.А. Тагер. – М.: Научный мир. – 2007. – 573 с.
173. Теория Флори-Хаггинса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.ru/14_25293_teoriya-flori-hagginsa.html (дата обращения: 18.01.2021)
174. Тертышная, Ю.В. Биоразлагаемые полимеры: перспективы их масштабного применения в промышленности России [Электронный ресурс] / Ю.В. Тертышная, Л.С. Шибряева // Экология и промышленность России. – 2015. – Т.19. – №8. – С. 20–25. – Режим доступа: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2015-8-20-25>.
175. Тибирьков, А.П. Влияние полимерного гидрогеля и условий минерального питания на урожай и качество зерна озимой пшеницы на светло-каштановых почвах / А.П. Тибирьков, В.И. Филин // Известия НВАУК: наука и высшее профессиональное образование. – 2012. – 3(27). – С. 2–5.
176. Тураев, Ж.И. Получение композиционных материалов на основе акриловой кислоты / Ж.И. Тураев. – Ташкент. – 2011. – 36 с.
177. Усков, И.Б. Применение высокомолекулярных соединений для управления водно-физическими свойствами почв / И.Б. Усков, Т.Н. Данилова // Материалы Всероссийской с междунар. участием науч. конф. и VII съезда общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Почвоведение - продовольственной и экологической безопасности страны / И.Б. Усков. – М.; Белгород. – 2016. – С. 394–395.
178. Усков, И.Б. Моделирование водоудерживающего экрана гидрогеля в почвенных растворах различной минерализации / И.Б. Усков, Т.Н. Данилова, А.С. Старцев // Мелиорация и водное хозяйство. – 2018. – № 4. – С. 18–22.
179. Усков, И.Б. Основы адаптации земледелия к изменениям климата: справочное издание / И.Б. Усков, А.О. Усков. – С – Пб. – 2014. – 384 с.

180. Усков, И.Б. Продуктивность земель и агроклиматические факторы химизации земледелия. / И.Б. Усков. // Материалы Международного форума «Земля и урожай». С – Пб. – 2007. – С.76–80.
181. Успенская, М.В. Акриловые гидрогели в качестве полимерных связующих: автореф. д-ра техн. наук: 05.17.06 / Успенская Майя Валерьевна. – Санкт-Петербург, 2009. – 39 с.
182. Успенская, М.В. Сенсорные материалы на основе гидрогелей: учебное пособие / М.В. Успенская. – С – Пб. СПбГУ ИТМО. – 2012. – 96 с.
183. ФАО – 56. Эвапотранспирация растений [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/fao56.pdf>
184. Ферапонтов, Н.Б. Влияние свойств полимеров на условия их набухания в воде и в водных растворах / Н.Б. Ферапонтов, М.Г. Токмачев, А.Н. Гагарин, В.В. Герасимчук, И.В. Пушкарева // Сорбционные и хроматографические процессы. – Т.14. – № 5. – 2014. – С. 795–812.
185. Филиппова, О.Е. «Восприимчивые» полимерные гели / О.Е. Филиппова // Высокомолекулярные соединения. Серия С. – 2000. – Т. 42. – №12. – С. 2328–2352.
186. Филиппова, О.Е. «Умные» полимерные гидрогели / О.Е. Филиппова // Природа. – 2005. – №8. – С.41–48.
187. Филиппов, П.А. Комплексная оценка воспроизводства плодородия деградированной супесчаной дерново-подзолистой почвы в современных условиях Северо-Запада РФ: дис... канд. с./х. наук: 06.03.01/Филиппов Петр Александрович. – С – Пб., 2022. – 247 с.
188. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебник для вузов / Ю.Г. Фролов. – М., Химия. – 1988. – 464 с.
189. Ханин, А.М. Изменение плодородия чернозема выщелоченного и формирование урожайности сельскохозяйственных культур под влиянием «Праестола 650» и удобрений в условиях лесостепного Поволжья: автореф. канд. с-х наук: 06.01.01/ Ханин Андрей Михайлович. Пенза, 2010. – 23 с.

190. Хохлов, А.Р. Восприимчивые гели / А.Р. Хохлов // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 11. – С. 138–142.
191. Черноземы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: wikipedia.org
192. Шеин, В.В. Курс физики почв: учебник / В.В. Шеин. – М.: МГУ. – 2005. – 432 с.
193. Шур, А.М. Высокомолекулярные соединения: учебник для хим. фак. ун-тов / А. М. Шур. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа. – 1981. – 656 с.
194. Ярулин Р.С. Применение наноразмерных агрегатов соединений акриловой кислоты в качестве защитных покрытий / Р.С. Ярулин, Р.М. Халянов, К.Ш. Шайдуллин, И.Р. Низамеев, А.Р. Галимзянова, Е.Е. Нефедьев // Вестник Казанск. технолог. у-та. – 2011. – № 6. – С. 63–68.
195. Abedi-Koupai J, Sohrab F, Swarbrick G. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal of Plant Nutrition*, v. 31, 2008, pp. 317–331. // <http://dx.doi.org/10.1080/01904160701853928>
196. Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K. A., Mardan, A., Ahmad, M., & Iqbal, M. M., Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soils and seedling growth of barley, wheat and chickpea. *Plant Soil and Environment*, 50(10), 2004, pp. 463–469.
197. Al-Darby A.M. The hydraulic properties of a sandy soil treated with gel-forming soil conditioner // *Soil Technol.* 1996. Vol. 9 (1–2), pp. 15–28.
198. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, 1998, 300 p.
199. Al-Omran, A.M., Mustafa M.A., Shalaby A.A. Intermittent evaporation from soil columns as affected by a gel farming conditioners // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* Vol. 51, 1987, pp. 1593–1599.
200. Anderson J. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils / J. Anderson, K.H. Domsch // *Soil Biol. Biochem.* 1978. Vol.10, pp. 215–221.

201. Aquasorb. Water retainers for soils and substrates.
https://www.snfchina.com/wpcontent/uploads/2018/10/AQUASORB_Water_retainer_for_soils_and_substrates_EN.pdf
202. Aslam M., Shahid A. Expansion repeatability of agricultural polymer in free water under wet–dry–wet cycles. *Pakistan J. Agric. Res.* Vol. 2, 1992, pp. 171–179.
203. Azzam R. Tailoring polymeric gels for soil reclamation and hydroponics // *Commun in Soil Sci. Plant Anal.* 1985, vol.16, no.10, pp. 1123–1138.
204. Banedjschafie S., Durner W. Water retention properties of a sandy soil with superabsorbent polymers as affected by aging and water quality // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2015, 178(5): 798–806. DOI: 10.1002/jpln.201500128.
205. Barihi R., Panahpour E., Beni M.H.M. Super absorbent polymer (Hydrogel) and its application in agriculture // *World of Sciences Journal*, 2013, 1(15): 223–228.
206. Barvenik, F. W. 1994. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. *Soil Science* 158(4): 235–243.
207. Blodgett A.M., Betti, D.J., White J.W., and Elliott, G.C. Hydrophilic polymers and wetting agents affected absorption and evaporation water loss. *Hort science*. Vol. 28 (6), 1993, pp. 633–635.
208. Bowman, D.C., Evans, R.Y., Paul, J.L. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media. *Jornal of American Society for Horticultural Science*, 1990, 115, pp. 382–386.
209. Bowman D.C. Evans, R.Y. Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium. *Hortscience*. Vol. 26 (8), 1991, pp. 1063–1065.
210. Cannazza, G., Cataldo, A., De Benedetto, E., Demitri, C., Madaghiele, M., Sannino, A. Experimental assessment of the use of a novel superabsorbent polymer (SAP) for the optimization of water consumption in agricultural irrigation process. *Water*, 2014, 6(7), pp. 2056–2069.
211. Cheruiyot G., Sirmah P., Ngetich W., Mengich E. Effects of hydrogels on soil moisture and growth of *Cajanus cajan* in semiarid zone of Kongelai, West Pokot County. *Open Journal of Forestry*, 2014, 4(1): 34–37. DOI: 10.4236/ojf.2014.41006.

212. Choudhry M.A., Amad T.M., Khan F.A. Effect of time and wetting drying cycle on absorption of water by polymers. *Pakistan J. Soil. Sci.* Vol. 9, 1994, pp. 1–4.
213. Choudhary M.I., Shalaby A.A. Al-Omran A.M. Water holding capacity and evaporation of calcareous soils as affected by four synthetic polymers. *Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis* Volume 26, 1995 -Issue 13-14, pp. 2205–2215.
214. Demitri C., Sole R.D, Scalera F., Sannino A., Vasapollo G., Maffezzoli A., Ambrosio L., Nicolais L. Novel superabsorbent cellulose-based hydrogels crosslinked with citric acid. *Journal of Applied Polymer Science*, 2018, 110, pp. 2453–2460.
215. Duchemin B., Hadria R., Erraki S, et al. Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: On the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices. // *Agricultural Water Management*, 2006, 79, pp. 1–27.
216. Ejaz M.K., Aurangzaib M., Iqbal R., Shahzaman M., Habib-ur-Rahman M., El-Sharnouby M., Datta R., Alzuaibr F.M., Sakran M.I., EL Sabagh A. The use of soil conditioners to ensure a sustainable wheat yield under water deficit conditions by enhancing the physiological and antioxidant potentials // *Land* 2022, 11(3), 368; <https://doi.org/10.3390/land11030368>
217. Ekebafé L.O., Ogbeifun D.E., Okieimen F.E. Polymer application in agriculture. *Biokemistri*, 2011, 23, pp. 81–89.
218. Fallahi H., Kalantari R., Mahsa Aghhavan-Shajari, Mohammad-Ghasem Soltanzadeh. Effect of super absorbent polymer and irrigation deficit on water use efficiency, growth and yield of cotton. // *Notulae Scientia Biologicae*, 2015 7(3):338–344. DOI:10.15835/nsb739626
219. Fidelia N., Nnadi. Super Absorbent Polymer (SAP) and Irrigation Water Conservation. *Irrigat Drainage Sys Eng* 2012, 1:1 DOI: 10.4172/2168-9768.1000e102; <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9768.1000e102>
220. Gehring J. M., Lewis A. J. Effect of hydrogel on wilting and moisture stress of bedding plants. *J. Amer. Hort. Sci.* 1980, 105, pp. 511–513.

221. Grabiński J., Wyzińska M. The effect of superabsorbent polymer application on yielding of winter wheat (*Triticum aestivum L.*). Agricultural sciences (crop sciences, animal sciences), 2018, pp. 55-60. DOI: 10.22616/rrd.24.2018.051
222. Helalia, A., Letey J. Cationic polymer effects on infiltration rates with a rainfall simulator. Soil Science Society of America Journal. 1988, 52, pp. 247–250.
223. Helalia, A. M., Letey J. Effects of different polymers on seedling emergence, aggregate stability and crust hardness, Soil Science. 1989, 148(3):199–203.
224. Hayat R., Ali S., Water absorption and its effect on soil properties and tomato yield / Int. J. Agri. Biol., Vol. 6, No. 6, 2004, pp. 998–1002.
225. Hüttermann A.L., Orikiriza L.J.B., Agaba H. Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands. Clean Soil, Air, Water, 2009, 37(7): 517-526 DOI: 10.1002/clen.200900048).
226. Johnson M.S. Effect of soluble salts on water absorption by gel forming soil conditioners. J. Sci. Food Agric., Vol.35, no. 10, 1984 (a), pp. 1063 – 1066.
227. Johnson M.S. The effects of gel forming polyacrylamids on moisture storage in sandy soils. Journal of Science of Food and Agriculture. Vol. 35, 1984 (b), pp. 1196–1200.
228. Johnson M.S., Leah R.T. Effects of superabsorbent polyacrylamides on efficiency of water use by crop seedlings. J. Sc. Food Agr, 1990; T. 52, no. 3, pp. 431–434.
229. Khadem S.A., Galavi M., Ramrodi M., Mousavi S.R., Roustia M.J. Effect of animal manure and super absorbent polymer on corn leaf relative water content, cell membrane stability and leaf chlorophyll content under dry condition. Australian Journal of Crop Science, 2010, 4(8): 642–647.
230. Kilic, H., & Yagbasanlar, T. The Effect of Drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum ssp. durum*) cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2010, 38 (1), 164 – 170.

231. Liyuan Yan; Yan Shi. Effect of drought stress on growth and development in winter wheat with aquasorb-fertilizer. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2013; Vol.5, no 11, pp. 1502–1504. DOI:10.19026/ajfst.5.3374
232. Liao R., Wu W., Ren S., Yang R. Effects of superabsorbent polymers on the hydraulic parameter and water retention properties of soil. *Journal of Nanomaterials*, 2016, Article ID 5403976. 11 p. DOI: 10.1155/2016/5403976.
233. Li X., He J.-Z., Hughes J.M., Liu Y.-R., Zheng Y.-M. Effects of super-absorbent polymers on a soil-wheat (*Triticum aestivum* L.) system in the field. *Applied Soil Ecology*, 2014, 73: 58–63. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.08.005.
234. Mengold, J. M. and Sheley R.I. Effects of soil texture, watering frequency on the emergence and survival of wheat grass seeds. *Ecological Restoration*, 2007, 25(1): 7–11.
235. Milani, P., França, D., Balieiro, A. G., & Faez, R. Polymers and its applications in agriculture. *Polimeros*. 2017. 27 (03).
<https://doi.org/10.1590/0104-1428.09316> (дата обращения 22.12.2021).
236. Miyamoto S.; Enriquez C. Comparative effects of chemical amendments on salt and NA leaching. *Irrigation Sc.*, 1990; T. 11, no. 2, pp. 83–92.
237. Monteith, J. L. Evaporation from land surfaces: progress in analysis and prediction since 1948. *Advances in Evapotranspiration*, Proceedings of the ASAE Conference on Evapotranspiration, Chicago, Ill. ASAE, St. Joseph, Michigan. 1985, pp. 4–12.
238. Mohammad J. Zohuriaan-Mehr, Kouros Kabiri. Superabsorbent Polymer Materials: A Review// *Iranian Polym. Journal*. 2008. 17(6). С 451–477.
239. Montesano F., Parente A., Santamaria P., Sannino A., Serio F. Biodegradable super absorbent hydrogel increases retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and Agriculture Science Procedia*, 2015, 4: 451–458. DOI: 10.1016/j.aaspro.2015.03.052.
240. Mustafa M. A., Al Omran A.M., Shalaby A.S., Aldarby A.M. Horizontal infiltration of water in soil columns as affected by a gel-forming conditioner. *Soil Science*, 1988, pp. 330–336

241. Orikiriza L.J.B., Agaba H., Eilu G., Tweheyo M., Kabasa J.D. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions. *Clean Soil Air Water*, 2009, 37: 615-620. DOI: 10.1002/clen.200900128.
242. Peterson D. Hydrophilic polymers and uses in landscape. *Horticulture Science*. Vol. 75, 2002, pp. 10–16.
[//http://www.horticulture.coafes.umn.edu/vd/h5015/01papers/hydrogel.htm](http://www.horticulture.coafes.umn.edu/vd/h5015/01papers/hydrogel.htm)
243. Puoci F., Iemma F., Spizzirri U.G., Cirillo G., Curcio M. Polymer in agriculture: A review. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 2008, 3: 299–314 DOI: 10.3844/ajabssp.2008.299.314.
244. Salem M., Guidi G.V., Pini R., Khater A. The use of a polyacrylamide hydrogel to improve the water - holding capacity of a sandy soil under different saline conditions. *Agr. mediterr*, 1991; T.121. no 2, pp.160–165.
245. Salem M.; Pini R.; Guidi G. V. Evaporation loss from sandy soils mixed with a polyacrylamide hydrogel under different saline conditions *Agrochimica*, 1995; Vol.39, no. 5/6, pp. 334–342.
246. Seybold C.A. Polyacrylamide review: Soil conditioning and environmental fact. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol. 25, 1994, pp. 3147–3161.
247. Shahid S.A., Qidwai A.A., Anwar F., Ullah I., Rashid U. Improvement in the water retention characteristics of sandy loam soil using a newly synthesized poly (acrylamide-co-acrylic acid)/ $\text{AlZnFe}_2\text{O}_4$ superabsorbent hydrogel nanocomposite material. *Molecules*, 2012, 17(8): 9397-9412. DOI: 10.3390/molecules17089397.
248. Silberbush M., E. Adar, Y. De Malach. Use of an hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dune Cabbage irrigated by sprinkling with different water salinities. *Agricultural Water Management* 1993b, 23(4): 315–327. DOI: org/10.1016/0378-3774 (93) 90043-A.
249. Singh A., Sarkar D. J., Singh A.K., Parsad R., Kumar A., Parmar B.S. Studies on novel nanosuperabsorbent composites: Swelling behavior in different environments and effect on water absorption and retention properties of sandy loam soil and soil less medium. *Journal of Applied Polymer Science*. 2011, 120(3), pp. 1448–1458.

250. Taban M., Movahedi Naeini S.A.R. Effect of Aquasorb and organic compost amendment on soil water retention and evaporation with different evaporation potentials and soil textures. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2006, 37: 2031 – 2055. DOI: 10.1080/00103620600770383.
251. Tayel M.Y., El-Hady O.A. Super gel as a soil conditioner // *Egypt. J. Soil. Sci. Spec. Issue*. 1981, pp. 103–106.
252. Teodorescu, M., Lungu, A., Stanescu, P.O. Preparation and properties of novel slow-release NPK agrochemical formulations based on poly (acrylic acid) hydrogels and liquid fertilizers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, 48(14), 6527–6534.
253. Tue Z.P., Armitage A.M., Vines H.M. Influence of an anti transpirant and a hydrogel on net photosynthesis and water loss of cineraria during water stress. *Hort Science*, v. 20 (3), 1985, pp. 386–388.
254. Volkamar K.M., Chang C. Influence of hydrophilic gel polymers on water relations, growth and yield of barley and canola. *Canadian Journal of Plant Science*, 1995, 75(3): 605-611. DOI: 10.4141/cjps95–105.
255. Wallace A.; Wallace G.A.; Abouzamzam A.M. Amelioration of sodic soils with polymers. *Soil Sc*, 1986; T. 141, no. 5, pp. 359–362.
256. Wu L., Liu M. Slow-release potassium silicate fertilizer with the function of superabsorbent and water retention. *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 46, 2007, pp. 6494 – 6500.
257. Yang W., Li P., Guo S., Fan B., Song R., Zhang J., Yu J. Compensating effect of fulvic acid and super-absorbent polymer on leaf gas exchange and water use efficiency of maize under moderate water deficit conditions. *Plant Growth Regulation*, 2017, 83: 351–360. DOI: 10.1007/s10725-017-0297-9.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2527215

**СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ
СВОЙСТВ ПОЧВ**

Патентообладатель(ли): *Аджиев Джамболат Рамазанович (RU), Рафиков Равиль Сафович (RU), Платов Анатолий Иванович (RU), Ишиханова Евгения Павловна (RU), Годунова Евгения Ивановна (RU), Данилова Татьяна Николаевна (RU), Старцев Аркадий Сергеевич (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013116932

Приоритет изобретения 15 апреля 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 07 июля 2014 г.

Срок действия патента истекает 15 апреля 2033 г.

И.о. руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ**СЕРИЯ: AQUASORB 3005****Министерство сельского
хозяйства Франции
Разрешение № 8410030**

Сшитый сополимер акриламида и акрилата калия

Сухой материал	85-90%
Кажущаяся плотность	0,85
Удельный вес	1,10 г/см ³
pH	8.10
Вид	Сухой - белый порошок Гидратированный - прозрачный гель
Размер частиц	Порошки, микрогранулы, гранулы
Максимальная абсорбция, г/г *	400 в деиониз. воде 150 в почве
Влагоудержание при рF1	980 мл/л
Возврат воды при рF4.2 (около точки высыхания)	95%
Емкость катионного обмена	4.6 мэкв/г
Дозировка	Для субстратов: 1-2 г/л Для почв: 20-50 г/м ³
Производительность в почве	До 5 лет
Токсичность в почве	Нет при нормальных условиях
Фасовка	25 кг пластиковый мешок 50 фунтовый бумажный пакет

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Технические характеристики суперабсорбента «Аквасин»

Наименование	Значение
Состав	Сшитый сополимер калиевой и аммонийной солей акриловой кислоты
Внешний вид	Сыпучие белые гранулы
Размер частиц, мм	
«Порошок» - «П»	< 0,5
«Мелкий» - «М»	0,5 - 1,0
«Средний» - «С»	1,0 - 2,5
«Крупный» - «К»	> 2,5
Свойства	
Содержание сухого продукта, не менее, %	85-90
Удельный вес, г/см ³ , не более	0,6
Величина рН	6
Доступность воды для растений, %	95
Устойчивость продукта в почве, лет, до	5
Растворимость	Не растворим в воде и органических растворах
Токсикология / Экология	Не токсичен для растений, организмов почвы и грунтовых вод
Остаточного мономера, мг/кг Акриловая кислота	< 600
Абсорбция в условиях свободного набухания, мг/л, не менее:	
- в деионизированной воде	> 400
- в водопроводной воде средней жесткости	> 250
- в растворе: 0,125% NPK 14-12-14 2MgO	> 300
- в почвенном растворе	> 150
- в растворе удобрения для рассады: N9, P12, K16, B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, рекомендуемой производителем концентрации: 50 гр / 20 л воды	> 200
- в растворе удобрения «Нитрофоска»: NPK 10-20-11, рекомендуемой производителем концентрации: 50 гр / 10 л воды	> 200
Зависимость скорости впитывания суперабсорбента (гидрогеля) «Аквасин» в водопроводной воде средней жесткости от размера фракции суперабсорбента (для опытов отбирали по 1 гр. каждой фракции суперабсорбента (гидрогеля) «Аквасин» и заливали 250 мл водопроводной воды)	
Размер фракции, мм	Скорость впитывания, мин
«Порошок» - «П»	< 0,5 2
«Мелкий» - «М»	0,5 - 1,0 6
«Средний» - «С»	1,0 - 2,5 12
«Крупный» - «К»	> 2,5 30-35

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ФАКС NO. :

МАЙ. 24 2006 13:33 СТР1

MC-3-00156

To Whom It May Concern

April, 26, 2006

ANALYTICAL DATA OF POLYACRYLAMID ACCOTROL S622

Brand Name	Accotrol S622
Lot Number	604801
Quantity	4,000 Kg
Manufacturing Date	April, 01, 2006
Our Ref No.	EG-06046

Index		Standard	
Chemical Component		Polyacrylamide(Anionic)	
Appearance		White ~ Yellow Granule	
Dry Weight	wt%	91.8	≤ 90.0
Molecular Weight	million	13.6	11.5 ~ 15.5
Degree of Hydrolysis	mol%	13.0	13.0 ~ 17.0
Residual Monomer	ppm	500	≤ 1000
Particle Size (Less Than 0.15mm)	wt%	0.5	≤ 4.0
Insolubles (Model Volga Water)	wt%	0.0	≤ 0.3
Dissolution Rate (Model Volga Water)		Yes	

We Hereby Certify That The Shipped Goods Are Brand new , Unused , And Of Standard Quality.

Mitsui Chemicals AquaPolymer, Inc.

As Manufacturer

Confirmed by

T. Tsuruoka

T. Tsuruoka , Supervisor
Quality Management Section

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ООО «АКРИПОЛ»

ПАСПОРТ
КАЧЕСТВА

ООО «АКРИПОЛ»

Россия
410059, г. Саратов
Пл. Советско-Чехословацкой
Дружбы, Промзона, а/я 4142
Тел/факс: +7 8452 92-97-54
+7 8452 92-88-94
E-Mail: sdv@acrypol.ru
URL: www.acrypol.ru

Партия № 26

Наименование продукта согласно ТУ 2216-016-55373366-2007: ПОЛИМЕР
АКРИЛАМИДА ВОДОПОГЛОЩАЮЩИЙ СЕРИЯ АК – 639, марка В-415

Дата изготовления: март 2011 г.

Основное наименование: анионный водопоглощающий полимер
акриламида

Внешний вид: порошок белого или близкого к белому цвета

Масса: 500 кг

Показатель	Единица измерения	Показатели качества	
		Согласно ТУ 2216-016- 55373366-2007	Фактически
Массовая доля нелетучих веществ, не менее	%	88	90
Массовая доля остаточного акриламида, не более	%	0,2	0,02
Равновесное поглощение в дистиллированной воде, не менее	г/г	400	580
Массовая доля растворимой части, не более	%	20	15

Сертификат соответствия ТЭК RU ХП06.Н02096

Срок действия 25.04.2008 г. – 25.04.2011 г.

Санитарно-эпидемиологическое заключение
№ 64.01.02.240.П.000023.01.08 от 25.01.2008

Директор
ООО «АКРИПОЛ»

Байбурдов Т. А.

Дата: 18.04.11г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

WP4

Dewpoint PotentialMeter



for models WP4 and WP4-T

Operator's Manual Version 2.1

Decagon Devices, Inc.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Agrometeorological parameters calculators

CWSI Monin-Obuxov Penman-Brutsaert Resistances (Todorovich)

Solar Radiation Reference Evapotranspiration (ET0)

Evapotranspiration calculations based on daily measurements...

Day of measurement []	10,00000
Month of measurement []	7,00000
Year of measurement []	2 009,00000
Geographic longitude [grad]	60,00000
Elevation [m]	10,00000
Actual hours of sunshine [hours]	9,25000
Max temperature during day [grad C]	22,50000
Min temperature during day [grad C]	12,50000
Max humidity during day [%]	92,00000
Min humidity during day [%]	46,00000
Wind Speed at 2 meters [m/s]	1,00000
Atmosphere pressure [mmHg]	760,00000
ET0 [mm/day]	3,45767

Copy report to clipboard

Рис.3.6.3 - Калькулятор потенциальной эвапотранспирации.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Таблица 4.1.1 - Влажность почвенных образцов, выдержанных при давлении
P = 0,1 атм (контроль)

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца, a	Масса кольца + почва, b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы c=b-a	Масса абсолютно-сухой почвы, с*К	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность, W, %
Белогорка	16	8,72	16,82	21,6	8,1	8,02	20,02	16,73	41,07
	17	8,93	17,46	22,4	8,53	8,44	20,7	17,37	39,29
	18	9,0	18,44	23,48	9,44	9,34	21,88	18,35	38,07
Pala s/w	19	8,88	18,82	23,11	9,94	9,54	21,29	18,42	30,08
	20	8,82	18,93	23,45	10,11	9,7	21,3	18,68	30,54
	21	8,74	18,22	22,39	9,48	9,1	20,65	18,02	32,63
Gafool garden	23	8,88	20,3	24,04	11,42	11,3	22,68	20,13	22,88
	24	8,73	20,24	24,05	11,51	11,39	22,83	19,95	26,34
	25	8,77	20,45	24,32	11,68	11,27	23,02	20,35	23,06
Серая лесная	34	8,65	15,0	19,48	6,35	6,28	18,33	15,37	44,04
	35	8,61	14,66	19,23	6,05	5,98	17,84	15,14	41,35
	36	8,68	14,66	19,23	5,98	5,92	17,64	15,19	37,63

Таблица 4.1.2 - Влажность почвенных образцов, выдержанных при давлении
P = 0,33 атм (контроль)

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца a	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы c = b-a	Масса абсолютно-сухой почвы с*К	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность, W, %
Белогорка	16	8,72	16,82	21,6	8,1	8,02	20,02	16,73	39,33
	18	9	18,44	23,22	9,44	9,35	21,81	18,35	37,33
	26	8,83	17,01	21,92	8,18	8,09	20,21	16,93	40,49
Pala s/w	27	8,86	18,72	22,77	9,86	9,46	21,14	18,49	27,52
	20	8,82	18,93	23,45	10,11	9,7	21,3	18,68	28,76
	21	8,74	18,22	22,39	9,48	9,1	20,65	18,02	30,73
Gafool garden	23	8,88	20,3	24,04	11,42	11,3	22,68	20,13	21,9
	24	8,73	20,24	24,05	11,51	11,39	22,83	19,95	24,55
	28	9,01	20,76	24,52	11,75	11,63	23,32	20,62	23,47
Серая лесная	34	8,65	15,0	19,04	6,35	6,28	17,95	15,27	40,48
	35	8,61	14,66	18,73	6,05	5,98	17,51	15,02	38,84
	36	8,68	14,66	19,1	5,98	5,92	17,55	15,09	38,37

Таблица 4.1.3 - Влажность почвенных образцов, выдержанных при давлении
 $P = 0,5$ атм (контроль)

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютно-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность, W, %
Белогорка	16	8,72	16,82	21,17	8,1	8,02	19,34	16,71	38,58
	18	9	18,44	23,15	9,44	9,35	21,22	18,32	36,07
	26	8,83	17,01	21,01	8,18	8,09	19,52	16,9	39,98
Pala s/w	27	8,86	18,72	22,91	9,86	9,46	20,08	18,19	26,51
	20	8,82	18,93	23,24	10,11	9,7	20,27	18,38	26,77
	21	8,74	18,22	22,26	9,48	9,1	19,8	17,72	29,16
Gafool garden	23	8,88	20,3	24,2	11,42	11,3	22,38	20,11	20,21
	24	8,73	20,24	23,75	11,51	11,39	21,79	19,89	19,03
	28	9,01	20,76	24,76	11,75	11,63	22,98	20,6	20,54
Серая лесная	34	8,65	15,0	18,92	6,35	6,28	17,64	15,14	38,52
	35	8,61	14,66	18,51	6,05	5,98	17,40	14,97	38,21
	36	8,68	14,66	18,75	5,98	5,92	17,27	14,90	38,1

Таблица 4.1.4 - Влажность почвенных образцов, выдержанных при давлении
 $P = 1$ атм (контроль)

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютно-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность, W, %
Белогорка	16	8,72	16,82	21,17	8,1	8,02	19,82	16,73	32,58
	18	9	18,44	23,15	9,44	9,35	21,76	18,35	31,79
	26	8,83	17,01	21,42	8,18	8,09	20,14	16,93	31,63
Pala s/w	27	8,86	18,72	22,91	9,86	9,46	21,02	18,49	21,52
	20	8,82	18,93	23,24	10,11	9,7	20,9	18,68	20,36
	21	8,74	18,22	22,26	9,48	9,1	20,39	18,02	22,73
Gafool garden	23	8,88	20,3	24,2	11,42	11,3	22,62	20,13	22,35
	24	8,73	20,24	23,75	11,51	11,39	22,53	19,95	22,66
	28	9,01	20,76	24,76	11,75	11,63	23,24	20,62	22,78
Серая лесная	34	8,65	15,0	18,9	6,35	6,28	17,57	15,11	38,08
	35	8,61	14,66	18,57	6,05	5,98	17,25	14,88	37,8
	36	8,68	14,66	18,8	5,98	5,92	17,0	14,72	37,75

Таблица 4.1.5 - Влажность почвенных образцов с гелем 0,1 г./ 100г. почвы, выдержанных при давлении $P = 0,1$ атм.

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютно-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность, W, %
Белогорка	17	8,96	16,01	20,52	7,05	6,97	19,12	15,85	47,46
	19	8,97	16,08	21,22	7,11	7,03	19,9	16,71	41,21
	22	8,78	15,83	21,29	7,05	6,97	19,74	16,26	46,52
Pala s/w	25	8,84	17,82	22,11	8,98	8,62	20,45	17,4	35,63
	29	8,9	17,97	22,29	9,07	8,71	20,56	17,55	34,8
	30	8,7	17,73	21,7	9,03	8,67	20,38	17,26	36,45
Gafool garden	31	8,57	20,59	24,57	12,02	11,9	22,12	20,4	14,54
	32	8,67	20,69	24,68	12,02	11,9	22,21	20,57	13,78
	33	8,25	20,27	24,68	12,02	11,9	21,91	20,16	14,69
Серая лесная	34	8,65	14,3	18,98	6,05	5,98	17,64	15,2	37,25
	35	8,61	14,71	19,19	6,1	6,04	17,77	15,23	38,37
	36	8,68	13,74	18,88	5,06	5,0	17,34	14,89	39,45

Таблица 4.1.6 - Влажность почвенных образцов с гелем 0,1г./100г. почвы, выдержанных при давлении $P = 0,33$ атм.

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютно-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность, W, %
Белогорка	17	8,96	16,01	20,25	7,05	6,97	18,99	15,85	45,57
	19	8,97	16,08	20,86	7,11	7,03	19,92	16,71	41,47
	22	8,78	15,83	20,7	7,05	6,97	19,62	16,26	44,92
Pala s/w	25	8,84	17,82	21,57	8,98	8,62	20,3	17,4	33,88
	29	8,9	17,97	21,83	9,07	8,71	20,41	17,55	33,06
	30	8,7	17,73	21,28	9,03	8,67	20,38	17,26	36,45
Gafool garden	31	8,57	20,59	24,42	12,02	11,9	21,38	20,4	8,61
	32	8,67	20,69	24,37	12,02	11,9	21,51	20,57	7,9
	33	8,25	20,27	24,02	12,02	11,9	21,16	20,16	8,4
Серая лесная	34	8,65	14,3	18,69	6,05	5,98	17,42	15,09	36,18
	35	8,61	14,71	18,8	6,1	6,04	17,53	15,12	37,01
	36	8,68	13,74	18,43	5,06	5,0	17,09	14,79	37,64

Таблица 4.1.7 - Влажность почвенных образцов с гелем 0,1г./100г. почвы, выдержанных при давлении $P = 0,5$ атм.

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютно-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность, W, %
Белогорка	17	8,96	16,01	20,21	7,05	6,97	19	15,85	45,72
	19	8,97	16,08	20,96	7,11	7,03	19,85	16,71	40,57
	22	8,78	15,83	20,84	7,05	6,97	19,59	16,26	44,52
Pala s/w	25	8,84	17,82	21,39	8,98	8,62	20,18	17,4	32,48
	29	8,9	17,97	21,76	9,07	8,71	20,35	17,55	32,37
	30	8,7	17,73	21,33	9,03	8,67	20,18	17,26	34,11
Gafool garden	31	8,57	20,59	24,31	12,02	11,9	21,33	20,4	7,86
	32	8,67	20,69	24,48	12,02	11,9	21,43	20,57	7,23
	33	8,25	20,27	23,98	12,02	11,9	21,05	20,16	7,47
Серая лесная	34	8,65	14,3	18,71	6,05	5,98	17,06	14,87	35,2
	35	8,61	14,71	18,71	6,1	6,04	17,21	15,04	33,75
	36	8,68	13,74	18,23	5,06	5,0	16,83	14,68	35,83

Таблица 4.1.8 - Влажность почвенных образцов с гелем 0,1г./100г. почвы, выдержанных при давлении $P = 1$ атм.

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютно-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность, W, %
Белогорка	17	8,96	16,01	20,04	7,05	6,97	18,59	15,85	39,77
	19	8,97	16,08	21,06	7,11	7,03	19,57	16,71	36,95
	22	8,78	15,83	20,83	7,05	6,97	19,39	16,26	41,85
Pala s/w	25	8,84	17,82	21,49	8,98	8,62	19,93	17,4	29,56
	29	8,9	17,97	21,66	9,07	8,71	20,0	17,55	28,32
	30	8,7	17,73	21,21	9,03	8,67	19,93	17,26	31,19
Gafool garden	31	8,57	20,59	24,28	12,02	11,9	21,15	20,4	6,34
	32	8,67	20,69	24,27	12,02	11,9	21,26	20,57	5,8
	33	8,25	20,27	24,0	12,02	11,9	20,87	20,16	5,96
Серая лесная	34	8,65	14,3	18,58	6,05	5,98	16,86	14,76	34,37
	35	8,61	14,71	18,77	6,1	6,04	17,02	14,94	32,86
	36	8,68	13,74	18,27	5,06	5,0	16,52	14,56	33,33

Таблица 4.1.9 - Влажность почвенных образцов с гелем 0,2 г./100г. почвы, выдержанных при давлении $P = 0,1$ атм.

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушной-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютной-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность w, %
Белогорка	16	8,73	17,42	23,08	8,69	8,6	21,66	17,31	50,7
	18	9,04	17,63	23,43	8,59	8,5	21,86	17,51	51,36
	20	8,87	17,07	22,32	8,2	8,12	20,98	17,01	46,87
Pala s/w	21	8,77	18,06	22,08	9,29	8,92	20,86	17,89	32,57
	23	8,9	18,45	22,74	9,55	9,17	21,3	18,26	32,48
	24	8,76	18,39	22,82	9,63	9,24	21,56	18,19	35,74
Gafool garden	26	8,82	20,98	25,24	12,16	12,04	24,15	20,82	27,75
	27	8,94	20,98	25,1	12,04	11,92	23,96	20,8	26,64
	28	9,04	21,18	25,58	12,14	12,02	24,46	21	28,93
Серая лесная	34	8,65	14,45	19,22	5,8	5,74	17,41	15,11	35,6
	35	8,61	14,3	19,6	5,69	5,63	17,69	15,35	34,72
	36	8,68	14,26	19,7	5,58	5,52	17,85	15,43	35,85

Таблица 4.1.10 - Влажность почвенных образцов с гелем 0,2 г./100г. почвы, выдержанных при давлении $P = 0,33$ атм.

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушной-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютной-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность w, %
Белого рка	16	8,73	17,42	22,26	8,69	8,6	21,35	17,31	47,09
	18	9,04	17,63	22,77	8,59	8,5	21,56	17,51	47,82
	20	8,87	17,07	22,05	8,2	8,12	20,9	17,01	45,93
Pala s/w	21	8,77	18,06	21,82	9,29	8,92	20,67	17,89	30,48
	23	8,9	18,45	22,4	9,55	9,17	21,15	18,26	30,88
	24	8,76	18,39	22,4	9,63	9,24	21,3	18,19	32,98
Gafool garden	26	8,82	20,98	24,98	12,16	12,04	24,12	20,82	27,7
	27	8,94	20,98	24,8	12,04	11,92	23,9	20,8	26,14
	28	9,04	21,18	25,22	12,14	12,02	24,48	21	29,09
Серая лесная	34	8,65	14,45	18,82	5,8	5,74	17,17	15,01	33,96
	35	8,61	14,3	19,05	5,69	5,63	17,47	15,24	33,63
	36	8,68	14,26	19,18	5,58	5,52	17,6	15,32	34,34

Таблица 4.1.11 - Влажность почвенных образцов с гелем 0,2 г./100г. почвы, выдержанных при давлении $P = 0,5$ атм.

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютной-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность w, %
Белогорка	16	8,73	17,42	22,17	8,69	8,6	21,24	17,31	45,8
	18	9,04	17,63	22,6	8,59	8,5	21,47	17,51	46,75
	20	8,87	17,07	22,05	8,2	8,12	20,91	17,01	46,04
Pala s/w	21	8,77	18,06	21,74	9,29	8,92	20,57	17,89	29,39
	23	8,9	18,45	22,32	9,55	9,17	21,05	18,26	29,81
	24	8,76	18,39	22,39	9,63	9,24	21,13	18,19	31,18
Gafool garden	26	8,82	20,98	24,94	12,16	12,04	24,04	20,82	26,83
	27	8,94	20,98	24,8	12,04	11,92	23,81	20,8	25,38
	28	9,04	21,18	25,18	12,14	12,02	24,39	21	28,34
Серая лесная	34	8,65	14,45	18,99	5,8	5,74	16,79	14,98	28,59
	35	8,61	14,3	19,09	5,69	5,63	17,07	15,22	27,98
	36	8,68	14,26	19,25	5,58	5,52	17,23	15,31	28,96

Таблица 4.1.12 - Влажность почвенных образцов с гелем 0,2 г./100г. почвы, выдержанных при давлении $P = 1$ атм.

Варианты опыта	№ п/о	Масса кольца а	Масса кольца + почва b	Масса кольца + почва после насыщения	Масса воздушно-сухой почвы $c = b - a$	Масса абсолютной-сухой почвы $c * K$	Масса образца после обработки	Масса образца после сушки	Влажность w, %
Белогорка	16	8,73	17,42	22,13	8,69	8,6	20,86	17,31	41,37
	18	9,04	17,63	22,6	8,59	8,5	21,24	17,51	44,04
	20	8,87	17,07	21,98	8,2	8,12	20,88	17,01	45,69
Pala s/w	21	8,77	18,06	21,65	9,29	8,92	20,27	17,89	26,09
	23	8,9	18,45	22,26	9,55	9,17	20,82	18,26	27,35
	24	8,76	18,39	22,31	9,63	9,24	20,97	18,19	29,48
Gafool garden	26	8,82	20,98	24,95	12,16	12,04	23,9	20,82	25,67
	27	8,94	20,98	24,73	12,04	11,92	23,68	20,8	24,28
	28	9,04	21,18	25,27	12,14	12,02	24,13	21	26,17
Серая лесная	34	8,65	14,45	18,58	5,8	5,74	16,57	14,82	28,36
	35	8,61	14,3	18,96	5,69	5,63	16,85	15,06	27,75
	36	8,68	14,26	19,18	5,58	5,52	17,01	15,27	26,4

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

21.04.2016	Вес , пустой кюветы, гр	m, гр увлажне нного образца	МПА	PF	Т°С	m, гр увлажненн ого образца	m, %	Время измер.	
								начал о	конец
+0,2 гр гидрогеля (Аквасорб) + 3мл вода		1 цикл							
76	2,8	5,9	-0,13	3,13	26,2	5,96	98,6	12 ²⁰	12 ²⁸
68	2,82	5,9	-0,01	2,18	26,2	7,26	97,5	12 ²⁹	12 ³⁷
79	2,83	5,9	-0,15	3,19	26,2	5,95	96,4	12 ³⁸	12 ⁴⁵
			-0,14			5,95	97,5		
2 цикл									
76	2,8	5,9	-0,25	3,41	26,2	5,81	93,7	16 ²⁵	16 ³⁴
68	2,82	5,9	-0,12	3,1	26,2	7,10	92,4	16 ³⁵	16 ⁴³
79	2,83	5,9	-0,26	3,43	26,2	5,79	91,1	16 ⁴⁴	16 ⁵³
			-0,25				92,4		
22.04.2016									
3 цикл									
76	2,8	5,9	-0,1	3,02	26,2	5,72	90,7	11 ⁰⁶	11 ¹⁶
68	2,82	5,9	-0,00	1,71	26,2	6,98	88,4	11 ¹⁷	11 ²⁹
79	2,83	5,9	-0,15	3,18	26,2	5,64	86,1	11 ³⁰	11 ³⁹
			-0,13				88,4		
4 цикл									
76	2,8	5,9	-0,30	3,5	26,2	5,46	82,0	13 ¹⁵	13 ²⁵
68	2,82	5,9	-0,07	2,86	26,1	6,71	81,2	13 ²⁶	13 ³⁷
79	2,83	5,9	-0,28	3,47	26,2	5,42	80,7	13 ³⁸	13 ⁴⁷
			-0,29				81,3		
5 цикл									
76	2,8	5,9	-0,48	3,7	26,2	5,02	67,3	16 ⁴⁰	16 ⁵⁰
68	2,82	5,9	-0,18	3,27	26,2	6,25	66,5	16 ⁵¹	17 ⁰²
79	2,83	5,9	-0,58	3,78	26,2	4,97	65,7	17 ⁰³	17 ¹²
			-0,53				66,5		

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Варианты опыта	№ кюветы	Вес, гр		МПА	pF	Т°С	m, гр	% влаги	Время	
		пустой кюветы	с 0,2 г. геля + 3мл воды						начало	конец
09.08.2016 цикл 1										
В 415 К	4	2,81	6,25	-0,18	2,94	26,3	6,25	93,5	12 ¹³	12 ²⁰
	5	2,84	6,29	-0,13	3,14	26,2	6,29	95,8	12 ²¹	12 ²⁹
	6	2,85	6,28	-0,19	2,81	26,2	6,28	94,6	12 ²⁹	12 ³⁷
				-0,17				94,6		
Аквасин	7	2,84	6,17	-0,33	3,54	26,2	6,17	89,4	12 ³⁸	12 ⁴⁵
	8	2,84	6,31	-0,39	3,6	26,2	6,31	89,7	12 ⁴⁶	12 ⁵⁴
	9	2,84	6,3	-0,24	3,39	26,2	6,3	89,6	12 ⁵⁵	13 ⁰²
				-0,32				89,6		
Ритин	10	2,82	6,76	-0,25	2,74	26,2	6,76	93,2	13 ⁰²	13 ¹⁰
	11	2,84	6,03	-0,28	3,47	26,2	6,03	92,3	13 ¹¹	13 ¹⁸
	12	2,82	6,37	-0,24	3,39	26,2	6,37	92,8	13 ¹⁹	13 ²⁶
				-0,26				92,8		
цикл 2										
В 415 К	4	2,81	6,14	-0,17	3,24	26,2	6,14	88,1	13 ²⁶	13 ³⁵
	5	2,84	6,19	-0,13	3,14	26,2	6,19	88,6	13 ³⁷	13 ⁴⁶
	6	2,85	6,16	-0,15	3,02	26,2	6,16	88,4	13 ⁴⁷	13 ⁵⁷
				-0,15				88,4		
Аквасин	7	2,84	6,06	-0,42	3,64	26,2	6,06	74,7	13 ⁵⁷	14 ⁰⁷
	8	2,84	6,2	-0,39	3,6	26,2	6,2	75,1	14 ⁰⁸	14 ¹⁸
	9	2,84	6,18	-0,4	3,61	26,2	6,18	74,8	14 ¹⁹	14 ²⁸
				-0,4				74,9		
Ритин	10	2,82	6,64	-0,22	3,35	26,2	6,64	79,3	14 ²⁸	14 ³⁹
	11	2,84	5,9	-0,4	3,62	26,2	5,9	78,2	14 ³⁹	14 ⁴⁹
	12	2,82	6,23	-0,39	3,6	26,2	6,23	78,5	14 ⁵⁰	15 ⁰⁰
				-0,34				78,7		
цикл 3										
В 415 К	4	2,81	6	-0,14	3,16	26,2	6	86,3	15 ⁰¹	15 ¹⁰
	5	2,84	6,05	-0,14	3,18	26,2	6,05	86,1	15 ¹¹	15 ²¹
	6	2,85	6	-0,22	3,38	26,2	6	86,2	15 ²²	15 ³¹
				-0,17				86,2		
Аквасин	7	2,84	5,94	-0,44	3,66	26,2	5,94	72,8	15 ³²	15 ⁴¹
	8	2,84	6,02	-0,39	3,61	26,2	6,02	73,2	15 ⁴¹	15 ⁵¹
	9	2,84	6,03	-0,34	3,55	26,2	6,03	73,2	15 ⁵¹	16 ⁰¹
				-0,39				73,1		
Ритин	10	2,82	6,5	-0,31	3,5	26,2	6,5	76,2	16 ⁰²	16 ¹²

Продолжение таблицы										
	11	2,84	5,77	-0,43	3,67	26,2	5,77	75,5	16 ¹³	16 ²²
	12	2,82	6,1	-0,46	3,68	26,2	6,1	75,9	16 ²²	16 ³²
				-0,4	75,8					
цикл 4										
В 415 К	4	2,81	5,85	-0,16	3,22	26,2	5,85	83,9	16 ³²	14 ⁴²
	5	2,84	5,91	-0,35	3,56	26,2	5,91	84,5	16 ⁴³	16 ⁵²
	6	2,85	5,86	-0,17	3,25	26,2	5,86	84,3	16 ⁵²	17 ⁰¹
				-0,23	84,2					
Аквасин	7	2,84	5,82	-0,48	3,63	26,2	5,82	70,9	17 ⁰²	17 ¹¹
	8	2,84	5,95	-0,5	3,71	26,2	5,95	71,8	17 ¹²	17 ²⁰
	9	2,84	5,9	-0,47	3,69	26,2	5,9	71,7	17 ²⁰	17 ³⁰
				-0,48	71,5					
Ритин	10	2,82	6,38	-0,35	3,56	26,2	6,38	75,6	17 ³⁰	17 ⁴⁰
	11	2,84	5,65	-0,51	3,72	26,2	5,65	74,8	17 ⁴⁰	17 ⁵⁰
	12	2,82	5,96	-0,48	3,69	26,2	5,96	74,9	17 ⁵⁰	18 ⁰⁰
				-0,45	75,1					
10.08.2016 цикл 5										
В 415 К	4	2,81	5,38	-0,51	3,72	26,3	5,38	76,9	14 ⁰⁵	14 ¹⁵
	5	2,84	5,47	-0,42	3,64	26,2	5,47	77,7	14 ¹⁵	14 ²⁵
	6	2,85	5,41	-0,38	3,59	26,2	5,41	77,8	14 ²⁵	14 ³⁵
				-0,44	77,5					
Аквасин	7	2,84	5,52	-0,67	3,8	26,2	5,52	69,1	14 ³⁸	14 ⁴⁷
	8	2,84	5,64	-0,54	3,74	26,2	5,64	69,5	14 ⁴⁸	15 ⁰⁰
	9	2,84	5,59	-0,62	3,72	26,2	5,59	69,1	15 ⁰⁰	15 ¹⁰
				-0,61	69,2					
Ритин	10	2,82	6,07	-0,46	3,68	26,2	6,07	74,7	15 ¹⁰	15 ²⁰
	11	2,84	5,36	-0,52	3,72	26,2	5,36	73,9	15 ²⁰	15 ³⁰
	12	2,82	5,68	-0,57	3,77	26,2	5,68	74,2	15 ³⁰	15 ⁴⁰
				-0,52	74,2					
цикл 6										
В 415 К	4	2,81	5,28	-0,52	3,73	26,2	5,28	75,8	16 ⁰⁰	16 ¹⁰
	5	2,84	5,36	-0,41	3,63	26,2	5,36	76,6	16 ¹¹	16 ²¹
	6	2,85	5,28	-0,39	3,6	26,2	5,28	75,8	16 ²²	16 ³²
				-0,44	76,1					
Аквасин	7	2,84	5,34	-0,68	3,82	26,2	5,34	67,3	16 ³³	16 ⁴³
	8	2,84	5,48	-0,64	3,8	26,2	5,48	68,2	16 ⁴⁴	16 ⁵⁴
	9	2,84	5,4	-0,6	3,81	26,2	5,4	67,8	16 ⁵⁵	17 ⁰⁵
				-0,64	67,7					
Ритин	10	2,82	5,89	-0,45	3,67	26,2	5,89	70,7	17 ⁰⁶	17 ¹⁷
	11	2,84	5,2	-0,5	3,7	26,2	5,2	70,1	17 ¹⁸	17 ²⁸
	12	2,82	5,53	-0,55	3,76	26,2	5,53	70,5	17 ²⁹	17 ⁴⁰
				-0,5	70,4					

Продолжение таблицы

11.08.2016 цикл 7										
В 415 К	4	2,81	5,1	-0,39	3,61	26,3	5,1	75,4	11 ²⁶	11 ³⁶
	5	2,84	5,18	-0,54	3,74	26,3	5,18	75,7	11 ³⁷	11 ⁵²
	6	2,85	5,06	-0,68	3,85	26,3	5,06	75,3	11 ⁵³	12 ⁰⁵
				-0,54				75,5		
Аквасин	7	2,84	5,15	-0,8	3,92	26,3	5,15	65,2	12 ⁰⁵	12 ¹⁷
	8	2,84	5,25	-0,9	3,98	26,3	5,25	65,6	12 ¹⁸	12 ³⁰
	9	2,84	5,17	-0,99	4,01	26,3	5,17	65,3	12 ³¹	12 ⁴³
				-0,9				65,4		
Ритин	10	2,82	5,68	-0,82	3,93	26,3	5,68	65,3	12 ⁴⁴	12 ⁵¹
	11	2,84	4,96	-0,78	3,91	26,3	4,96	64,8	12 ⁵²	13 ⁰⁵
	12	2,82	5,26	-0,99	4,01	26,3	5,26	65,2	13 ⁰⁵	13 ¹⁵
				-0,86				65,1		
цикл 8										
В 415 К	4	2,81	4,94	-1,16	4,07	26,3	4,94	72,8	13 ¹⁶	13 ³³
	5	2,84	5,02	-1,08	4,05	26,3	5,02	73,2	13 ³⁴	13 ⁴²
	6	2,85	4,88	-1,24	4,11	26,3	4,88	72,6	13 ⁴²	13 ⁵⁰
				-1,16				72,9		
Аквасин	7	2,84	5,01	-1,97	4,31	26,3	5,01	62,2	13 ⁵⁰	14 ⁰⁰
	8	2,84	5,12	-1,9	4,29	26,3	5,12	63,3	14 ⁰⁰	14 ⁰⁷
	9	2,84	5,04	-2,04	4,32	26,3	5,04	62,5	14 ⁰⁹	14 ¹⁶
				-1,97				62,6		
Ритин	10	2,82	5,54	-2,01	4,32	26,3	5,54	63,6	14 ¹⁷	14 ²⁶
	11	2,84	4,83	-2,16	4,35	26,3	4,83	63,2	14 ²⁶	14 ³⁴
	12	2,82	5,14	-2,22	4,46	26,3	5,14	63,3	14 ³⁴	14 ⁴³
				-2,13				63,4		
цикл 9										
В 415 К	4	2,81	4,81	-3,2	4,52	26,3	4,81	70,4	14 ⁴³	14 ⁵²
	5	2,84	4,91	-3,76	4,59	26,3	4,91	70,5	14 ⁵²	14 ⁵⁹
	6	2,85	4,79	-3,66	4,58	26,3	4,79	69,9	15 ⁰⁰	15 ¹⁰
				-3,54				70,3		
Аквасин	7	2,84	4,91	-4,63	4,68	26,3	4,91	58,2	15 ¹⁰	15 ²⁰
	8	2,84	5,03	-4,65	4,68	26,3	5,03	59,1	15 ²⁰	15 ³⁰
	9	2,84	4,95	-4,37	4,66	26,3	4,95	58,3	15 ³⁰	15 ⁴⁰
				-4,55				58,5		
Ритин	10	2,82	5,44	-5,21	4,73	26,3	5,44	62,7	15 ⁴⁰	15 ⁵⁰
	11	2,84	4,74	-5,31	4,74	26,3	4,74	61,8	15 ⁵¹	16 ⁰⁰
	12	2,82	5,05	-5,83	4,78	26,3	5,05	62,0	16 ⁰⁰	16 ¹⁰
				-5,45				62,2		

Окончание таблицы										
цикл 10										
В 415 К	4	2,81	4,7	-4,86	4,7	26,3	4,7	67,3	16 ¹⁰	16 ²⁰
	5	2,84	4,81	-5,59	4,76	26,3	4,81	67,6	16 ²⁰	16 ³⁰
	6	2,85	4,68	-5,38	4,74	26,3	4,68	67,2	16 ³⁰	16 ⁴⁰
				-5,28				67,4		
Аквасин	7	2,84	4,8	-4,81	4,7	26,4	4,8	56,7	16 ⁴¹	16 ⁵²
	8	2,84	4,91	-5,06	4,72	26,4	4,91	57,1	16 ⁵³	17 ⁰⁵
	9	2,84	4,82	-4,97	4,71	26,4	4,82	56,8	17 ⁰⁶	17 ¹⁶
				-4,95				56,9		
Ритин	10	2,82	5,33	-5,88	4,78	26,4	5,33	61,0	17 ¹⁷	17 ²⁷
	11	2,84	4,62	-5,96	4,79	26,4	4,62	60,5	17 ²⁸	17 ³⁸
	12	2,82	4,95	-4,97	4,96	26,4	4,95	60,8	17 ⁴⁰	17 ⁵⁰
				-5,6				60,7		
12.08.2016 цикл 11										
В 415 К	4	2,81	4,6	-8,23	4,93	26,4	4,6	58,7	11 ⁴⁰	11 ⁵⁰
	5	2,84	4,68	-8,52	4,99	26,4	4,68	59,1	11 ⁵¹	12 ⁰¹
	6	2,85	4,56	-7,84	4,91	26,4	4,56	58,8	12 ⁰²	12 ¹²
				-8,2				58,9		
Аквасин	7	2,84	4,27	-6,58	4,83	26,4	4,27	51,8	14 ²⁶	14 ³⁵
	8	2,84	4,38	-7,23	4,9	26,4	4,38	52,7	14 ³⁶	14 ⁴⁵
	9	2,84	4,44	-7,84	4,92	26,4	4,44	52,6	14 ⁴⁵	14 ⁵⁵
				-7,22				52,4		
Ритин	10	2,82	4,37	-8,31	4,93	26,4	4,37	54,0	14 ⁵⁶	15 ⁰⁶
	11	2,84	4,12	-7,94	4,92	26,4	4,12	53,9	15 ⁰⁶	15 ¹⁶
	12	2,82	4,45	-8,62	4,99	26,4	4,45	54,3	15 ¹⁷	15 ²⁶
				-8,29				54,1		

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Варианты опыта	№ кюветы	Вес, гр		МПА	pF	Т°С	m, гр	% влаги	Время измер.		
		пустой кюветы	с 0,2 г. геля + 3мл воды						начало	конец	
21.07.2016 цикл 1											
Контроль (дерново-подзол.почва)	1	2,79	9,02	0	1,71	26,1	8,98	23,8	12 ²⁹	12 ³⁰	
	2	2,82	9,08	0	1,71	26,2	9,02	24	12 ³¹	12 ³⁷	
	3	2,81	8,98	0	1,71	26,1	8,98	23,4	12 ³⁸	12 ⁴⁵	
				0				23,7			
Ритин 100 (дерново-подзол.почва)	4	2,81	9,13	0	1,71	26,2	9,11	26	12 ⁴⁶	12 ⁵¹	
	5	2,84	9,18	0	1,71	26,2	9,15	26,2	12 ⁵²	13 ⁰⁶	
	6	2,85	9,1	0	1,71	26,2	9,09	24,8	13 ⁰⁷	13 ²⁰	
				0				25,7			
Ритин 300 (дерново-подзол.почва)	7	2,84	9,24	0	1,71	26,5	9,19	27	13 ²¹	13 ³⁷	
	8	2,84	9,18	-0,07	3,9	26,5	9,16	26,4	13 ⁴¹	13 ⁵³	
	9	2,84	9,25	0	1,71	26,5	9,24	28	13 ⁵⁴	14 ⁰⁶	
				-0,07				27,1			
цикл 2											
Контроль (дерново-подзол.почва)	1	2,79	9,02	-0,06	3,14	26,3	8,83	20,8	14 ⁴⁴	14 ⁵²	
	2	2,82	9,08	-0,08	2,9	26,3	8,91	21,8	14 ⁵³	15 ⁰¹	
	3	2,81	8,98	-0,09	2,94	26,3	8,77	19,2	15 ⁰²	15 ¹⁰	
				-0,08				20,6			
Ритин 100 (дерново-подзол.почва)	4	2,81	9,13	-0,34	3,54	26,3	8,91	22	15 ¹¹	15 ¹⁸	
	5	2,84	9,18	-0,24	3,4	26,3	9	23,2	15 ¹⁹	15 ²⁷	
	6	2,85	9,1	-0,41	3,63	26,3	8,91	21,2	15 ²⁸	15 ³⁵	
				-0,33				22,1			
Ритин 300 (дерново-подзол.почва)	7	2,84	9,24	-1,56	4,21	26,3	9,05	24,2	15 ³⁶	15 ⁴³	
	8	2,84	9,18	-1,67	4,24	26,3	9,03	23,8	15 ⁴⁴	15 ⁵¹	
	9	2,84	9,25	-1,43	4,17	26,3	9,08	24,8	15 ⁵²	16 ⁰⁰	
				-1,55				24,3			
цикл 3											
Контроль (дерново-подзол.почва)	1	2,79	9,02	-0,06	2,82	26,3	8,68	17,8	16 ⁰¹	16 ⁰⁸	
	2	2,82	9,08	-0,08	2,91	26,3	8,8	19,6	16 ⁰⁹	16 ¹⁶	
	3	2,81	8,98	-0,06	2,81	26,3	8,67	17,2	16 ¹⁷	16 ²⁴	
				-0,07				18,2			
Ритин 100 (дерново-подзол.почва)	4	2,81	9,13	-0,52	3,73	26,3	8,8	19,8	16 ²⁵	16 ³²	
	5	2,84	9,18	-0,53	3,74	26,3	8,91	21,4	16 ³³	16 ⁴¹	
	6	2,85	9,1	-0,58	3,92	26,3	8,81	19,2	16 ⁴²	16 ⁵⁰	

				-0,54				20,1		
Ритин 300 (дерново- подзол.почв а)	7	2,84	9,24	-2,45	4,4	26,3	8,97	22,6	16 ⁵¹	16 ⁵⁸
	8	2,84	9,18	-2,45	4,4	26,3	8,93	21,8	16 ⁵⁹	17 ⁰⁷
	9	2,84	9,25	-2,38	4,39	26,3	8,95	22,2	17 ⁰⁸	17 ¹⁶
				-2,43				22,2		
22.07.2016 цикл 4										
Контроль (дерново- подзол.поч ва)	1	2,79	9,02	-0,06	2,83	26,3	8,61	16,4	11 ⁰²	11 ⁰⁸
	2	2,82	9,08	0	1,71	26,3	8,72	18	11 ⁰⁹	11 ¹⁵
	3	2,81	8,98	0	1,71	26,3	8,6	15,8	11 ¹⁶	11 ²⁰
				-0,06				16,7		
Ритин 100 (дерново- подзол.почва)	4	2,81	9,13	-0,7	3,01	26,3	8,75	18,8	11 ²²	11 ²⁸
	5	2,84	9,18	-0,93	3,13	26,3	8,84	20	11 ²⁹	11 ³⁵
	6	2,85	9,1	-0,85	3,41	26,3	8,73	17,6	11 ³⁶	11 ⁴³
				-0,83				18,8		
Ритин 300 (дерново- подзол.почва)	7	2,84	9,24	-2,63	3,81	26,3	8,91	21,4	11 ⁴⁴	11 ⁵⁰
	8	2,84	9,18	-2,07	4,05	26,3	8,88	20,8	11 ⁵¹	11 ⁵⁸
	9	2,84	9,25	-2,18	4,09	26,3	8,92	21,6	11 ⁵⁹	12 ⁰⁶
				-2,29				21,3		
цикл 5										
Контроль (дерново- подзол.почв а)	1	2,79	9,02	-0,21	3,33	26,3	8,47	13,6	12 ⁰⁷	12 ¹⁴
	2	2,82	9,08	-0,12	3,08	26,3	8,62	16	12 ¹⁵	12 ²²
	3	2,81	8,98	-0,09	2,96	26,3	8,5	13,8	12 ²³	12 ³⁰
				-0,14				14,5		
Ритин 100 (дерново- подзол.по чва)	4	2,81	9,13	-0,94	3,82	26,3	8,63	16,4	12 ³²	12 ³⁹
	5	2,84	9,18	-0,84	3,88	26,3	8,74	18	12 ⁴⁰	12 ⁴⁶
	6	2,85	9,1	-1,26	4,04	26,3	8,66	16,2	12 ⁴⁷	12 ⁵³
				-1,01				16,90		
Ритин 300 (дерново- подзол.по чва)	7	2,84	9,24	-2,57	4,42	26,3	8,8	19,2	12 ⁵⁴	13 ⁰²
	8	2,84	9,18	-2,77	4,46	26,3	8,78	18,8	13 ⁰⁴	13 ¹²
	9	2,84	9,25	-2,79	4,46	26,3	8,82	19,6	13 ¹³	13 ²⁰
				-2,79				19,2		
цикл 6										
Контроль (дерново- подзол.поч ва)	1	2,79	9,02	-0,34	3,55	26,3	8,31	10,4	13 ²¹	13 ²⁸
	2	2,82	9,08	-0,33	3,38	26,3	8,48	13,2	13 ³⁰	13 ³⁷
	3	2,81	8,98	-0,34	3,55	26,3	8,34	10,6	13 ³⁸	13 ⁴⁶
				-0,34				11,4		

Ритин 100 (дерново- подзол.поч ва)	4	2,81	9,13	-1,5	4,19	26,3	8,56	15	13 ⁴⁴	13 ⁵⁴
	5	2,84	9,18	-1,38	4,16	26,3	8,66	16,4	13 ⁵⁵	14 ⁰⁵
	6	2,85	9,1	-1,42	4,17	26,3	8,5	13	14 ⁰⁶	14 ¹²
				-1,43				14,8		
Ритин 300 (дерново- подзол.поч ва)	7	2,84	9,24	-4,5	4,66	26,3	8,74	18	14 ¹⁵	14 ²⁵
	8	2,84	9,18	-4,61	4,68	26,3	8,71	17,4	14 ²⁶	14 ³¹
	9	2,84	9,25	-4,68	4,69	26,3	8,7	17,2	14 ³²	14 ³⁸
				-4,6				17,5		
цикл 7										
Контроль (дерново- подзол.поч ва)	1	2,79	9,02	-0,68	3,85	26,3	8,09	6	14 ³⁸	14 ⁴⁵
	2	2,82	9,08	-0,58	3,46	26,3	8,33	10,2	14 ⁴⁶	14 ⁵³
	3	2,81	8,98	-0,62	3,72	26,3	8,27	9,2	14 ⁵⁴	15 ⁰²
				-0,63				8,5		
Ритин 100 (дерново- подзол.поч ва)	4	2,81	9,13	-2,83	4,47	26,3	8,41	12	15 ⁰³	15 ¹¹
	5	2,84	9,18	-2,3	4,38	26,3	8,56	14,4	15 ¹²	15 ²⁰
	6	2,85	9,1	-2,35	4,39	26,3	8,52	13,4	15 ²¹	15 ³⁰
				-2,5				13,3		
Ритин 300 (дерново- подзол.поч ва)	7	2,84	9,24	-5,8	4,78	26,3	8,6	15,2	15 ³¹	15 ³⁹
	8	2,84	9,18	-6,7	4,84	26,3	8,62	15,6	15 ⁴⁰	15 ⁴⁸
	9	2,84	9,25	-6,13	4,8	26,3	8,63	15,8	15 ⁵⁰	15 ⁵⁸
				-6,21				15,5		

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Варианты опыта	№ кюветы	Вес, гр		МПА	pF	Т°С	m, гр увлажненной почвы	% влаги	Время	
		пустой кюветы	с почвой						начало	конец
01.08.2016 1 цикл										
Аквасорб 100(дерн-подз)	4	2,8	7,8	0	1,71	26,4	9,16	27,2	14 ⁰⁴	14 ⁰⁸
	15	2,81	7,81	-0,05	2,75	26,4	9,22	28,2	14 ⁰⁹	14 ¹³
	21	2,83	7,83	-0,02	2,41	26,4	9,04	24,2	14 ¹⁴	14 ¹⁸
			7,81	-0,02			9,14	26,5		
Аквасорб 300(дерн-подз)	70	2,8	7,8	-0,15	3,18	26,3	9,51	34,2	14 ¹⁹	14 ²³
	72	2,84	7,84	-0,33	3,54	26,4	9,5	33,2	14 ²⁵	14 ²⁹
	94	2,82	7,82	-0,42	3,64	26,4	9,14	26,4	14 ³⁰	14 ³⁴
				-0,3				31,3		
2 цикл										
Аквасорб 100(дерн-подз)	4	2,8	7,8	-0,36	3,57	26,2	9,01	29	15 ⁰²	15 ¹⁰
	15	2,81	7,81	-0,21	3,33	26,2	9,07	25,2	15 ¹¹	15 ¹⁸
	21	2,83	7,83	-0,32	3,53	26,2	8,89	21,2	15 ¹⁹	15 ²⁶
				-0,3				25,1		
Аквасорб 300(дерн-подз)	70	2,8	7,8	-0,53	3,74	26,2	9,36	31,2	15 ²⁶	15 ³⁴
	72	2,84	7,84	-0,82	3,93	26,3	9,35	30,2	15 ³⁵	15 ⁴¹
	94	2,82	7,82	-0,54	4,2	26,2	8,99	23,4	15 ⁴²	15 ⁴⁸
				-0,63				28,3		
3 цикл										
Аквасорб 100(дерн-подз)	4	2,8	7,8	-1,37	4,15	26,2	8,78	19,6	16 ³³	16 ⁴⁰
	15	2,81	7,81	-1,2	4,09	26,2	8,89	21,6	16 ⁴⁰	16 ⁴⁷
	21	2,83	7,83	-1,61	4,22	26,2	8,72	17,8	16 ⁴⁸	16 ⁵⁴
				-1,4				19,7		
Аквасорб 300(дерн-подз)	70	2,8	7,8	-1,27	4,12	26,2	9,19	27,8	16 ⁵⁵	17 ⁰⁰
	72	2,84	7,84	-1,54	4,2	26,2	9,19	27	17 ⁰¹	17 ⁰⁷
	94	2,82	7,82	-2	4,49	26,2	8,82	20	17 ⁰⁸	17 ¹⁴
				-1,6				24,9		
02.08. 2016 4 цикл										
Аквасорб 100(дерн-подз)	4	2,8	7,8	-0,97	3,87	26,3	8,69	17,8	10 ³²	10 ³⁷
	15	2,81	7,81	-0,91	3,8	26,3	8,81	20	10 ³⁸	10 ⁴³
	21	2,83	7,83	-1,08	4,05	26,3	8,62	15,8	10 ⁴⁴	10 ⁴⁹
				-0,98				17,9		
Аквасорб 300(дерн-подз)	70	2,8	7,8	-1,31	4,13	26,3	9,07	25,4	10 ⁵⁰	10 ⁵⁸
	72	2,84	7,84	-1,27	4,12	26,3	9,07	24,6	10 ⁵⁹	11 ⁰⁶
	94	2,82	7,82	-1,89	4,29	26,3	8,73	18,2	11 ⁰⁶	11 ¹³
				-1,49				22,7		

5 цикл											окончание таблицы	
Аквасорб 100(дерн- подз)	4	2,8	7,8	-2,19	4,36	26,3	8,54	14,8	12 ⁰⁰	12 ⁰⁸		
	15	2,81	7,81	-1,83	4,28	26,3	8,66	17	12 ⁰⁹	12 ¹⁶		
	21	2,83	7,83	-2,52	4,42	26,3	8,46	12,6	12 ¹⁷	12 ²⁵		
				-2,18				14,8				
Аквасорб 300(дерн- подз)	70	2,8	7,8	-2,89	4,48	26,3	8,9	22	12 ²⁶	12 ³⁵		
	72	2,84	7,84	-2,94	4,48	26,3	8,92	21,6	12 ³⁶	12 ⁴⁴		
	94	2,82	7,82	-3,12	4,63	26,2	8,55	14,6	12 ⁴⁴	12 ⁵²		
				-2,98				19,4				
6 цикл												
Аквасорб 100(дерн- подз)	4	2,8	7,8	-3,66	4,58	26,3	8,39	11,8	13 ⁴⁰	13 ⁴⁸		
	15	2,81	7,81	-3,69	4,58	26,3	8,49	13,6	13 ⁵⁰	13 ⁵⁶		
	21	2,83	7,83	-5,25	4,73	26,3	8,3	9,4	13 ⁵⁷	14 ⁰⁶		
				-4,2				11,6				
Аквасорб 300(дерн- подз)	70	2,8	7,8	-5,47	4,75	26,3	8,74	18,8	14 ⁰⁷	14 ¹⁴		
	72	2,84	7,84	-5,39	4,75	26,2	8,74	18	14 ¹⁴	14 ²¹		
	94	2,82	7,82	-6,24	4,98	26,4	8,4	11,6	14 ²²	14 ²⁹		
				-5,7				15,9				
7 цикл												
Аквасорб 100(дерн- подз)	4	2,8	7,8	-4,9	4,7	26,4	8,26	9,2	15 ¹⁶	15 ²⁸		
	15	2,81	7,81	-4,92	4,64	26,4	8,35	10,8	15 ²⁸	15 ³⁸		
	21	2,83	7,83	-4,67	4,68	26,4	8,24	8,2	15 ⁴⁰	15 ⁴⁸		
				-4,83				9,4				
Аквасорб 300(дерн- подз)	70	2,8	7,8	-8,83	4,96	26,4	8,6	16	15 ⁴⁹	15 ⁵⁵		
	72	2,84	7,84	-8,39	4,94	26,4	8,59	15	15 ⁵⁶	16 ⁰⁴		
	94	2,82	7,82	-8,67	4,77	26,4	8,37	11	16 ⁰⁴	16 ¹¹		
				-8,63				14				

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

Варианты опыта	№ кюветы	Вес, гр		МПА	рF	Т°С	m, гр почвы с гелем после измер.	% влаги	Время измер.	
		пустой кюветы	с 0,2 г. геля + 3мл воды						начало	конец
26.07.2016 цикл 1										
Аквасин 100 (дерново-подзол.п)	5	2,83	9,12	-0,01	1,81	26,4	9,11	25,6	12 ¹⁴	12 ¹⁸
	77	2,84	9,08	0	1,71	26,4	9,08	24,8	12 ¹⁷	12 ²³
	71	2,8	9,11	0	1,71	26,3	9,11	26,2	12 ²⁴	12 ²⁷
				-0,01			9,1	25,5		
Аквасин 300 (дерново-подзол.п)	31	2,79	9,22	-0,21	3,34	26,4	9,21	28,4	12 ²⁸	12 ³¹
	38	2,86	9,28	-0,25	3,41	26,4	9,28	28,4	12 ³²	12 ³⁷
	34	2,78	9,15	-0,42	3,64	26,5	9,15	27,4	12 ³⁸	12 ⁴¹
				-0,3			9,21	28,07		
В 415 К 100 (дерново-подзол.почва)	60	2,82	9,18	-0,17	3,24	26,5	9,17	27	12 ⁴³	12 ⁴⁶
	64	2,86	9,18	-0,11	2,95	26,4	9,17	26,2	12 ⁴⁷	12 ⁵²
	96	2,81	9,12	-0,19	3,3	26,5	9,11	26	12 ⁵²	12 ⁵⁶
				-0,16				26,4		
В 415 К 300 (дерново-подзол.п)	87	2,81	9,25	-0,32	3,52	26,6	9,24	28,6	12 ⁵⁸	13 ⁰³
	88	2,81	9,29	-0,5	3,71	26,6	9,29	29,6	13 ⁰⁴	13 ⁰⁸
	186	2,85	9,15	-0,33	3,53	26,6	9,14	25,8	13 ⁰⁹	13 ¹⁴
				-0,38				28		
цикл 2										
Аквасин 100 (дерново-подзол.п)	5	2,83	9,12	-0,97	4	26,3	8,91	21,6	13 ¹⁵	13 ²¹
	77	2,84	9,08	-1,06	4,04	26,3	8,87	20,6	13 ²³	13 ²⁹
	71	2,8	9,11	-0,79	3,91	26,3	8,93	22,6	13 ³⁰	13 ³⁶
				-0,94				21,6		
Аквасин 300 (дерново-подзол.п)	31	2,79	9,22	-1,94	4,3	26,2	9,06	25,4	13 ³⁷	13 ⁴³
	38	2,86	9,28	-1,87	4,29	26,3	9,11	25	13 ⁴⁴	13 ⁵¹
	34	2,78	9,15	-1,71	4,25	26,2	8,99	24,2	13 ⁵²	13 ⁵⁷
				-1,84				24,9		
В 415 К 100 (дерново-подзол.почва)	60	2,82	9,18	-0,41	3,63	26,3	8,97	23	13 ⁵⁸	14 ⁰³
	64	2,86	9,18	-0,37	3,58	26,3	8,97	22,2	14 ⁰⁴	14 ¹⁰
	96	2,81	9,12	-0,55	3,75	26,3	8,93	22,4	14 ¹¹	14 ¹⁷
				-0,44				22,5		
В 415 К 300 (дерново-подзол.почва)	87	2,81	9,25	-1,34	4,14	26,3	9,05	24,8	14 ¹⁸	14 ²⁴
	88	2,81	9,29	-1,61	4,22	26,3	9,13	26,4	14 ²⁵	14 ³¹
	186	2,85	9,15	-2,12	4,34	26,3	8,99	22,8	14 ³²	14 ⁴⁰
				-1,69				24,7		

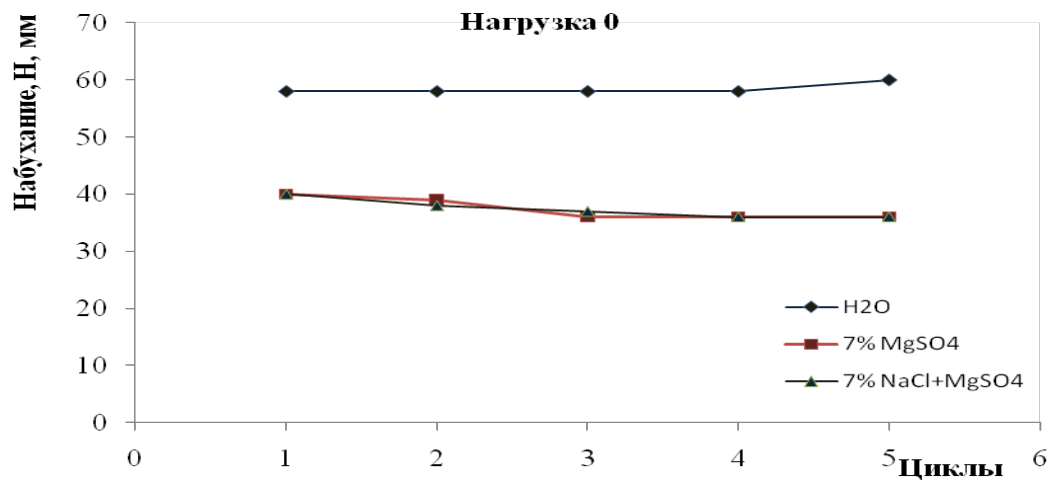
					цикл 3			продолжение таблицы		
Аквасин 100 (дерново- подзол.почв а)	5	2,83	9,12	-2,46	4,41	26,3	8,73	18	14 ⁴¹	14 ⁴⁷
	77	2,84	9,08	-2,11	4,34	26,3	8,7	17,2	14 ⁴⁸	14 ⁵⁴
	71	2,8	9,11	-1,9	4,29	26,3	8,77	19,4	14 ⁵⁵	15 ⁰²
				-2,15				18,2		
Аквасин 300 (дерново- подзол.по чва)	31	2,79	9,22	-3,09	4,51	26,3	8,87	21,6	15 ⁰⁵	15 ¹²
	38	2,86	9,28	-2,83	4,47	26,3	8,97	22,2	15 ¹³	15 ¹⁹
	34	2,78	9,15	-2,48	4,41	26,3	8,86	21,6	15 ²⁰	15 ²⁷
				-2,8				21,8		
В 415 К 100 (дерново- подзол.поч ва)	60	2,82	9,18	-1,39	4,16	26,3	8,78	19,2	15 ²⁸	15 ³⁵
	64	2,86	9,18	-0,87	3,96	26,3	8,79	18,6	15 ³⁶	15 ⁴¹
	96	2,81	9,12	-3,11	4,06	26,3	8,75	18,8	15 ⁴²	15 ⁴⁸
				-1,79				18,9		
В 415 К 300 (дерново- подзол.почв а)	87	2,81	9,25	-2,25	4,37	26,3	8,9	21,8	15 ⁴⁹	15 ⁵⁶
	88	2,81	9,29	-2,15	4,35	26,3	8,98	23,4	15 ⁵⁷	16 ⁰³
	186	2,85	9,15	-2,67	4,58	26,3	8,86	20,2	16 ⁰⁴	16 ¹¹
					-2,36				21,8	
цикл 4										
Аквасин 100 (дерново- подзол.поч ва)	5	2,83	9,12	-2,92	4,48	26,4	8,59	15,2	16 ¹²	16 ²⁰
	77	2,84	9,08	-2,7	4,45	26,4	8,57	14,6	16 ²¹	16 ²⁸
	71	2,8	9,11	-2,44	4,4	26,4	8,65	17	16 ²⁸	16 ³⁵
				-2,69				15,6		
Аквасин 300 (дерново- подзол.поч ва)	31	2,79	9,22	-3,83	4,6	26,3	8,75	19,2	16 ³⁶	16 ⁴³
	38	2,86	9,28	-3,99	4,6	26,3	8,85	19,8	16 ⁴⁴	16 ⁵³
	34	2,78	9,15	-3,46	4,55	26,4	8,73	19	16 ⁵³	17 ⁰⁰
				-3,76				19,3		
В 415 К 100 (дерново- подзол.по чва)	60	2,82	9,18	-1,43	4,25	26,3	8,66	16,8	17 ⁰²	17 ⁰⁸
	64	2,86	9,18	-1,28	4,12	26,3	8,67	16,2	17 ⁰⁹	17 ¹⁵
	96	2,81	9,12	-1,37	4,15	26,3	8,63	16,4	17 ¹⁶	17 ²²
				-1,36				16,5		
В 415 К 300 (дерново- подзол.по чва)	87	2,81	9,25	-2,37	4,04	26,3	8,79	19,6	12 ³¹	12 ³⁶
	88	2,81	9,29	-2,24	4,11	26,3	8,87	21,2	12 ³⁷	12 ⁴²
	186	2,85	9,15	-2,7	4,45	26,3	8,77	18,4	12 ⁴³	12 ⁴⁹
				-2,44				19,7		

27. 07. 2016 цикл 5											продолжение таблицы	
Аквасин 100 (дерново- подзол.поч ва)	5	2,83	9,12	-2,84	4,07	26,3	8,52	13,8	12 ⁴⁹	12 ⁵⁶		
	77	2,84	9,08	-2,96	4,12	26,3	8,5	13,2	12 ⁵⁷	13 ⁰³		
	71	2,8	9,11	-2,74	4,17	26,3	8,57	15,4	13 ⁰³	13 ¹⁰		
				-2,85				14,13				
Аквасин 300 (дерново- подзол.поч ва)	31	2,79	9,22	-3,4	4,4	26,3	8,69	18	13 ¹¹	13 ¹⁸		
	38	2,86	9,28	-3,32	4,38	26,3	8,78	18,4	13 ¹⁹	13 ²⁴		
	34	2,78	9,15	-3,43	4,4	26,3	8,65	17,4	13 ²⁵	13 ³¹		
				-3,38				17,93				
В 415 К 100 (дерново- подзол.по чва)	60	2,82	9,18	-1,5	4,13	26,3	8,57	15	13 ³²	13 ³⁹		
	64	2,86	9,18	-1,98	4,01	26,3	8,61	15	13 ⁴⁰	13 ⁴⁶		
	96	2,81	9,12	-1,6	4,02	26,3	8,56	15	13 ⁴⁶	13 ⁵³		
				-1,69				15				
В 415 К 300 (дерново- подзол.почв а)	87	2,81	9,25	-2,84	4,47	26,3	8,69	17,6	13 ⁵⁴	13 ⁵⁹		
	88	2,81	9,29	-2,9	4,36	26,3	8,78	18,8	14 ⁰¹	14 ⁰⁷		
	186	2,85	9,15	-3,11	4,63	26,3	8,69	16,8	14 ⁰⁸	14 ¹⁵		
				-2,95				17,7				
цикл 6												
Аквасин 100 (дерново- подзол.по чва)	5	2,83	9,12	-2,97	4,46	26,4	8,42	11,8	14 ¹⁶	14 ²⁸		
	77	2,84	9,08	-2,81	4,38	26,4	8,39	11	14 ²²	14 ²⁹		
	71	2,8	9,11	-3,12	4,45	26,4	8,46	13,2	14 ²⁹	14 ³⁵		
				-2,97				12				
Аквасин 300 (дерново- подзол.поч ва)	31	2,79	9,22	-3,77	4,59	26,4	8,59	16	14 ³⁶	14 ⁴³		
	38	2,86	9,28	-3,52	4,56	26,4	8,68	16,4	14 ⁴⁴	14 ⁵¹		
	34	2,78	9,15	-4,31	4,65	26,4	8,54	15,2	14 ⁵²	14 ⁵⁹		
				-2,88				15,9				
В 415 К 100 (дерново- подзол.почв а)	60	2,82	9,18	-2,03	4,32	26,3	8,47	13	15 ⁰⁰	15 ⁰⁷		
	64	2,86	9,18	-2,39	4,16	26,3	8,49	12,6	15 ⁰⁸	15 ¹⁸		
	96	2,81	9,12	-2,49	4,41	26,3	8,46	13	15 ¹⁹	15 ²⁹		
				-2,30				12,9				
В 415 К 300 (дерново- подзол.по чва)	87	2,81	9,25	-4,2	4,64	26,3	8,59	15,6	15 ²⁴	15 ³⁰		
	88	2,81	9,29	-4,7	4,45	26,3	8,67	17,2	15 ³¹	15 ³⁷		
	186	2,85	9,15	-4,72	4,69	26,3	8,59	14,8	15 ³⁸	15 ⁴⁵		
				-4,54				15,9				

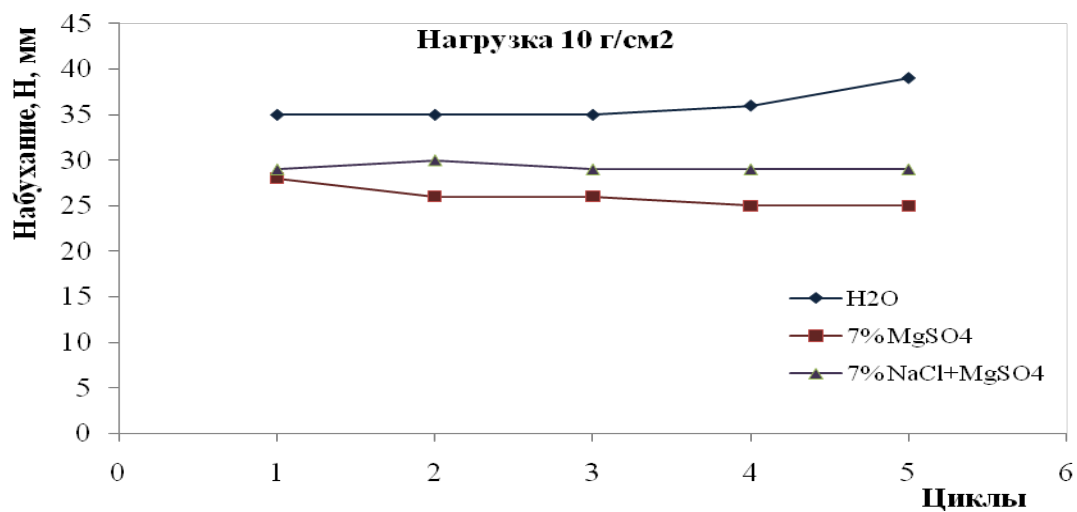
ЦИКЛ 7										
окончание таблицы										
Аквасин 100 (дерново- подзол.поч Ва)	5	2,83	9,12	-4,17	4,64	26,4	8,32	9,8	15 ⁴⁷	15 ⁵⁹
	77	2,84	9,08	-3,85	4,6	26,4	8,28	8,8	15 ⁵⁵	16 ⁰²
	71	2,8	9,11	-3,47	4,56	26,4	8,34	10,8	16 ⁰³	16 ¹⁰
				-3,83				9,8		
Аквасин 300 (дерново- подзол.поч Ва)	31	2,79	9,22	-5,67	4,77	26,4	8,49	14	16 ¹¹	16 ¹⁸
	38	2,86	9,28	-5,2	4,73	26,4	8,57	14,2	16 ¹⁹	16 ²⁶
	34	2,78	9,15	-5,51	4,76	26,4	8,43	13	16 ²⁷	16 ³⁵
				-5,46				13,73		
В 415 К 100 (дерново- подзол.поч а)	60	2,82	9,18	-3,39	4,54	26,4	8,36	10,8	16 ³⁶	16 ⁴³
	64	2,86	9,18	-3,71	4,56	26,4	8,39	10,6	16 ⁴⁴	16 ⁵²
	96	2,81	9,12	-3,82	4,62	26,4	8,37	11,2	16 ⁵³	17 ⁰⁰
				-3,64				10,86		
В 415 К 300 (дерново- подзол.поч Ва)	87	2,81	9,25	-4,68	4,69	26,4	8,51	14	17 ⁰¹	17 ⁰⁸
	88	2,81	9,29	-4,46	4,76	26,4	8,59	15,6	17 ¹⁰	17 ¹⁸
	186	2,85	9,15	-4,85	4,72	26,4	8,52	13,4	17 ²⁰	17 ²⁸
				-4,66				14,33		

ПРИЛОЖЕНИЕ 14

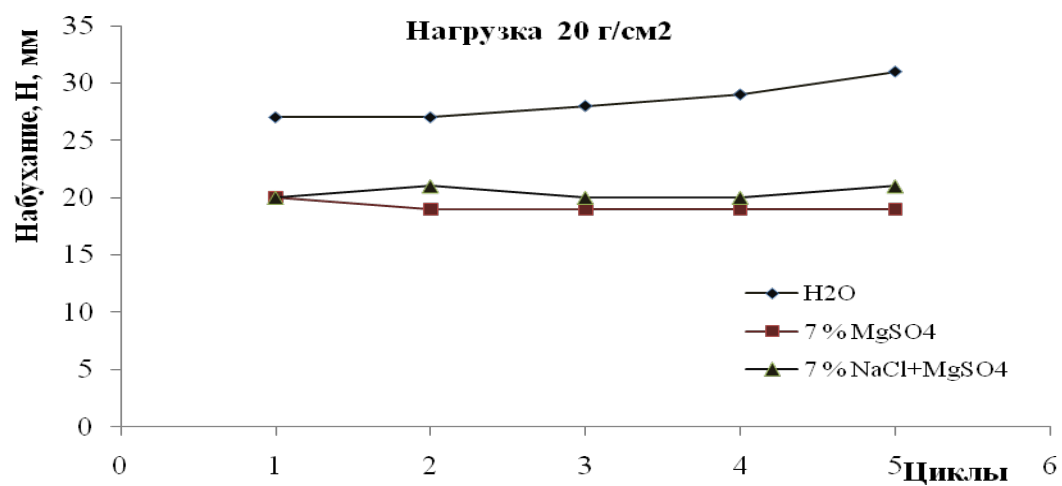
а)



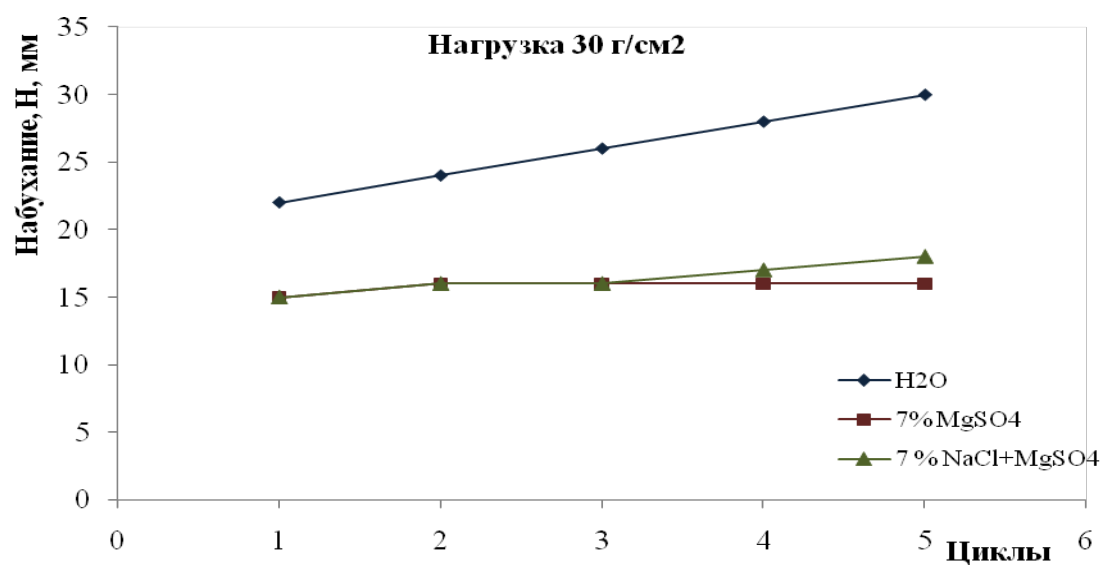
б)



в)



г)



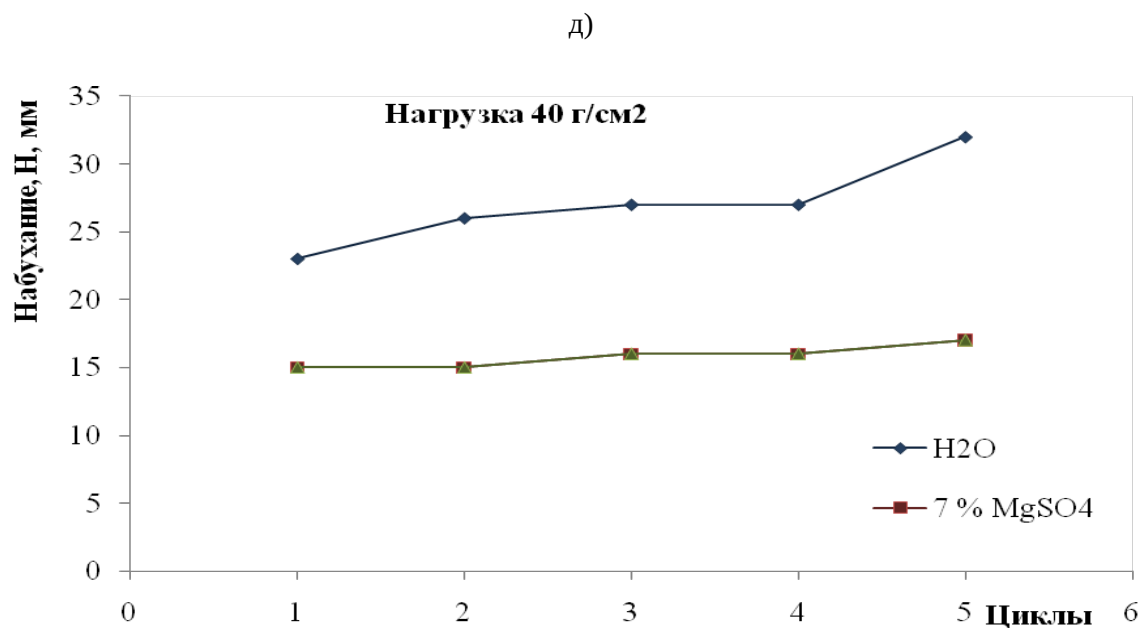


Рис 4.2.1.1- Влияние циклов замораживание-оттаивание на набухание гидрогеля В-415 К при сульфатном и хлоридно-сульфатном типах засоления в зависимости от нагрузки: а) нагрузка 0 г/см²; б) нагрузка 10 г/см²; в) нагрузка 20 г/см²; г) нагрузка 30 г/см²; д) нагрузка 40 г/см².

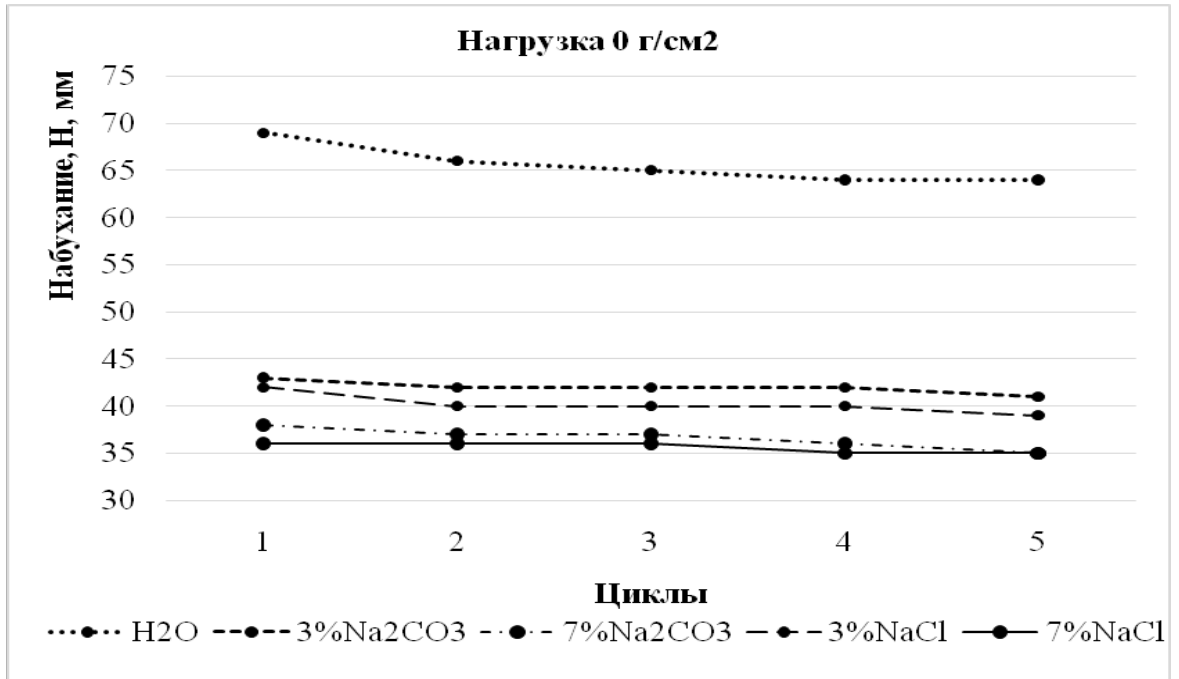
ПРИЛОЖЕНИЕ 15

Таблица 4.2.1.1 - Влияние типов засоления (сульфатного $MgSO_4$ и хлоридно-сульфатного $NaCl+HSO_4$) и циклов замерзание-оттаивание на набухание и сопротивление нагрузке водоудерживающих экранов из гидрогеля **В-415 К**.

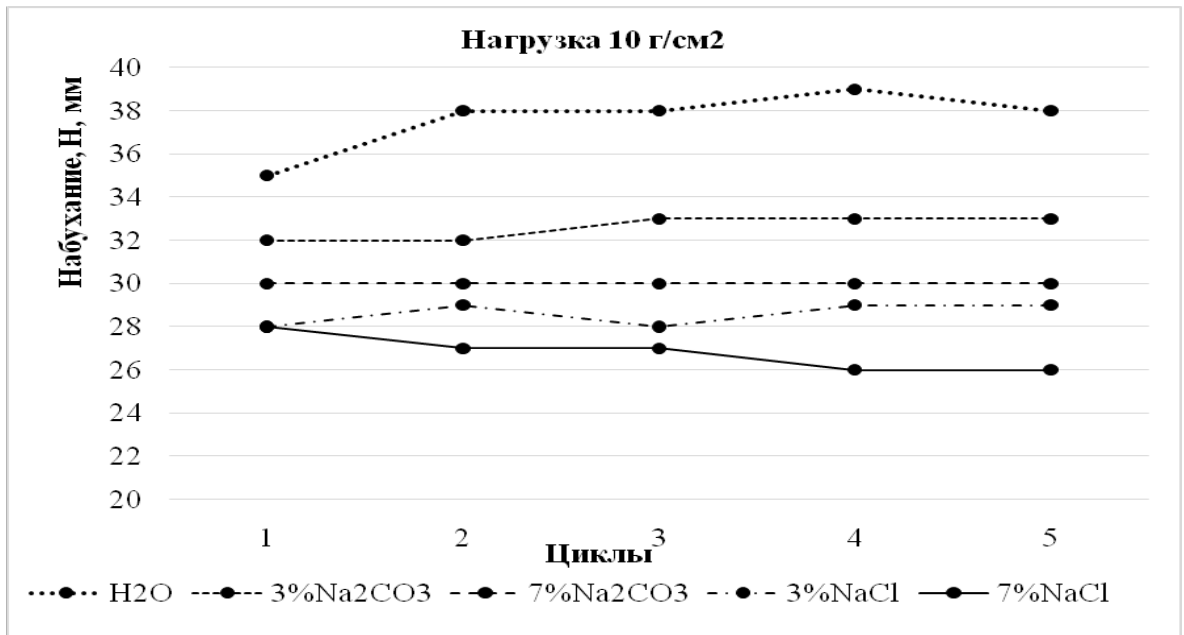
Типы засоления	Нагрузка 0 г см ⁻²					Нагрузка 10 г см ⁻²					Нагрузка 20 г см ⁻²					Нагрузка 30 г см ⁻²					Нагрузка 40 г см ⁻²					
	Циклы замерзание-оттаивание																									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
H ₂ O	56	56	56	56	58	35	35	35	36	39	27	27	28	29	31	22	24	26	28	30	23	26	27	27	32	оттаивание
	58	58	58	58	60	37	37	40	40	42	30	30	30	31	33	25	27	29	30	32	25	28	29	31	33	замерзание
7% MgSO ₄	36	33	31	31	31	28	26	26	25	25	20	19	19	19	19	15	16	16	16	16	15	15	16	16	17	оттаивание
	40	39	36	36	36	30	30	29	28	28	21	21	21	21	21	16	17	17	17	18	16	16	17	17	18	замерзание
7% NaCl+HSO ₄	32	32	31	31	31	27	26	26	26	26	20	21	20	20	21	15	16	16	17	18	15	15	16	16	17	оттаивание
	40	38	37	36	36	29	30	29	29	29	23	23	23	23	23	16	17	18	18	19	16	16	17	18	18	замерзание

ПРИЛОЖЕНИЕ 16

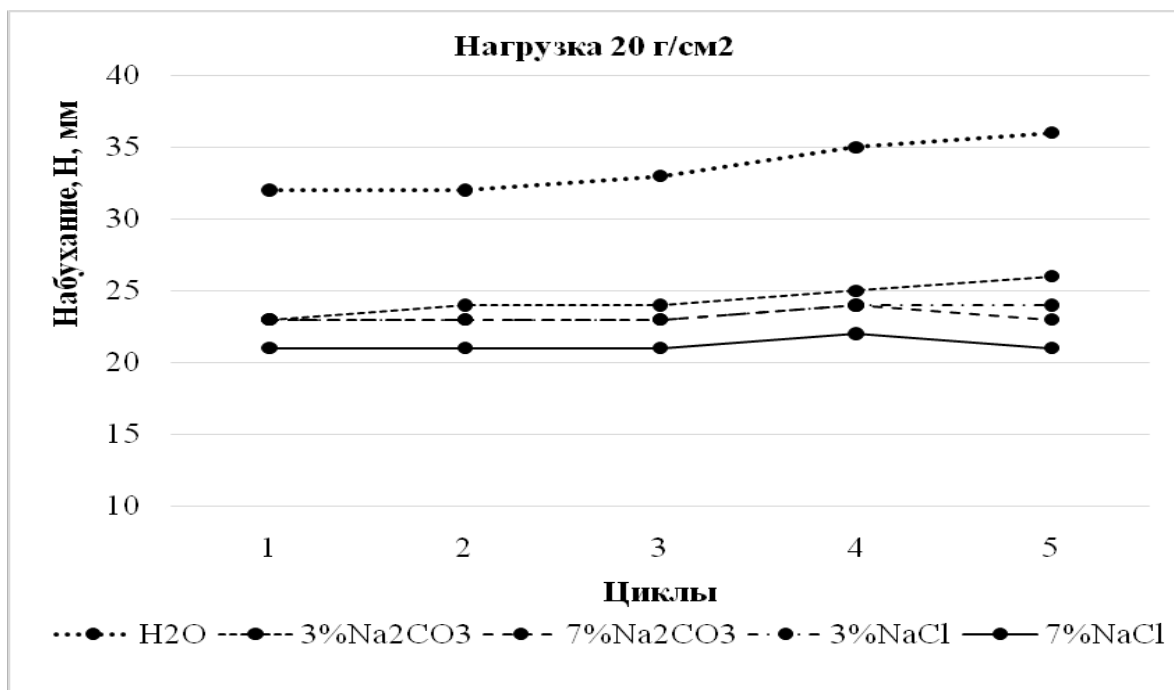
а)



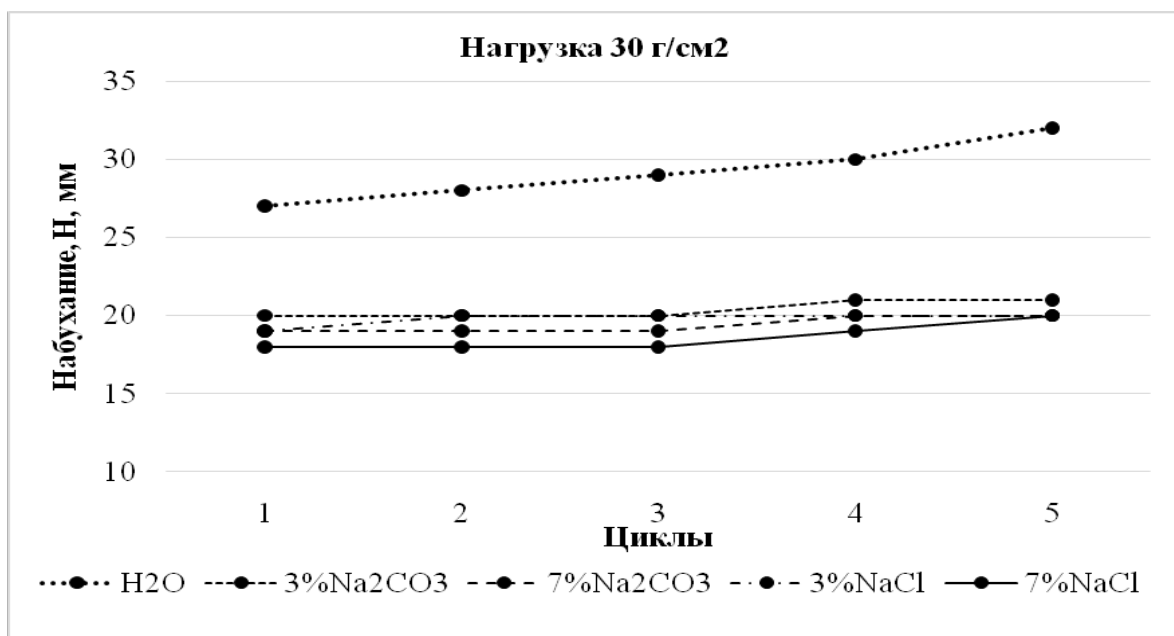
б)



в)



г)



д)

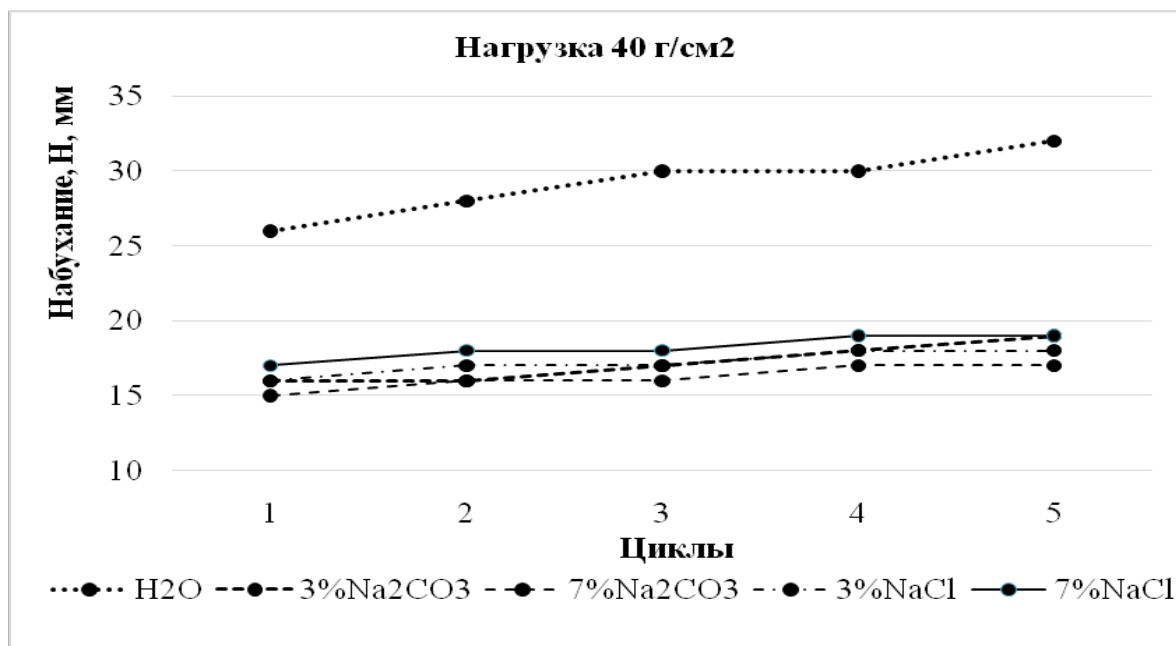


Рис 4.2.1.3 - Влияние циклов замораживание-оттаивание на набухание гидрогеля В-415 К при хлоридном и содовом типах засоления в зависимости от нагрузки: а) нагрузка 0 г/см²; б) нагрузка 10 г/см²; в) нагрузка 20 г/см²; г) нагрузка 30 г/см²; д) нагрузка 40 г/см².

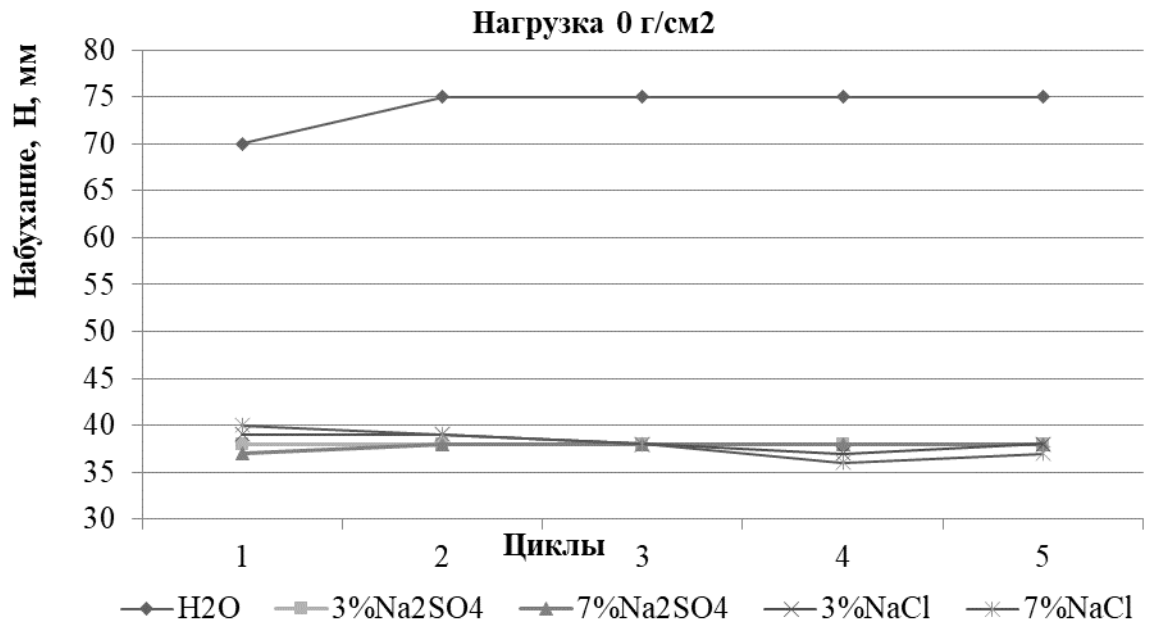
ПРИЛОЖЕНИЕ 17

Таблица 4.2.1.3 - Влияние типов засоления (содового Na_2CO_3 и хлоридного NaCl) и циклов «замерзание-оттаивание» на набухание и сопротивление нагрузке водоудерживающих экранов из гидрогеля **В-415К**.

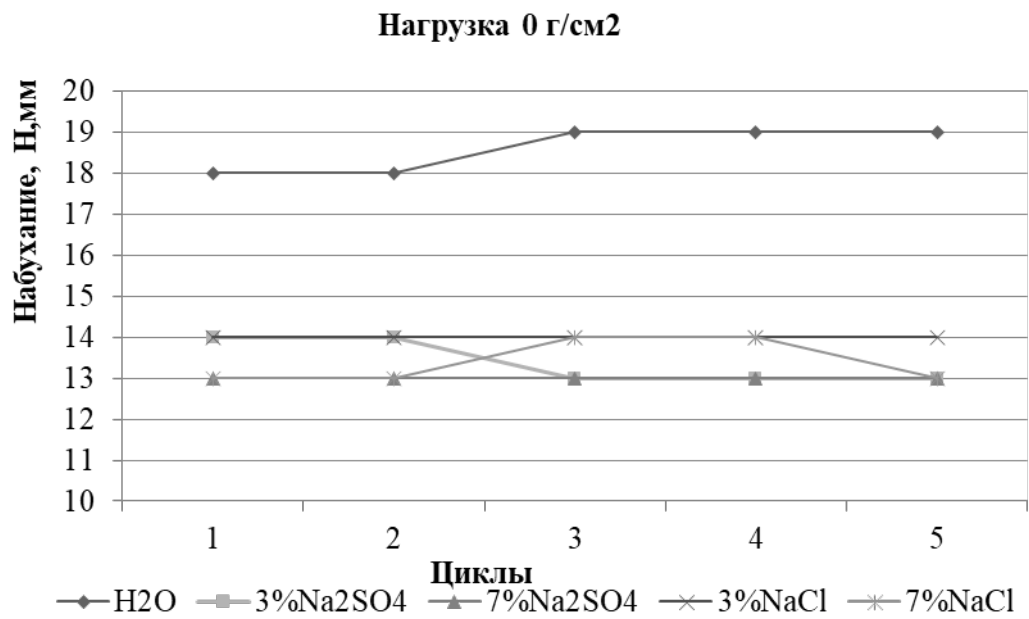
Типы засоления	Нагрузка 0 г см ⁻²					Нагрузка 10 г см ⁻²					Нагрузка 20 г см ⁻²					Нагрузка 30 г см ⁻²					Нагрузка 40 г см ⁻²					
	Циклы замерзание-оттаивание																									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
H_2O	69	66	65	64	64	35	38	38	39	38	32	32	33	35	36	27	28	29	30	32	26	28	30	30	32	оттаивание
	72	71	69	67	68	39	38	40	42	41	34	35	36	37	38	29	30	31	34	35	28	31	31	34	34	замерзание
3% Na_2CO_3	43	42	42	42	41	32	32	33	33	33	23	24	24	25	26	20	20	20	21	21	16	16	17	18	19	оттаивание
	48	47	46	46	45	35	36	36	35	35	25	26	26	27	28	20	21	22	23	23	18	18	18	19	19	замерзание
7% Na_2CO_3	38	37	37	36	35	30	30	30	30	30	23	23	23	24	23	19	19	19	20	20	15	16	16	17	17	оттаивание
	43	43	43	42	40	33	34	34	34	32	24	25	26	26	26	21	21	21	22	22	17	17	18	19	18	замерзание
3% NaCl	42	40	40	40	39	28	29	28	29	29	23	23	23	24	24	19	20	20	20	20	16	17	17	18	18	оттаивание
	45	45	44	44	43	30	30	30	30	30	24	24	24	25	25	20	21	21	21	21	16	17	18	19	19	замерзание
7% NaCl	36	36	36	35	35	28	27	27	26	26	21	21	21	22	21	18	18	18	19	20	17	18	18	19	19	оттаивание
	40	42	41	41	39	28	30	30	29	29	23	23	23	23	23	18	19	19	20	20	17	18	19	19	19	замерзание

ПРИЛОЖЕНИЕ 18

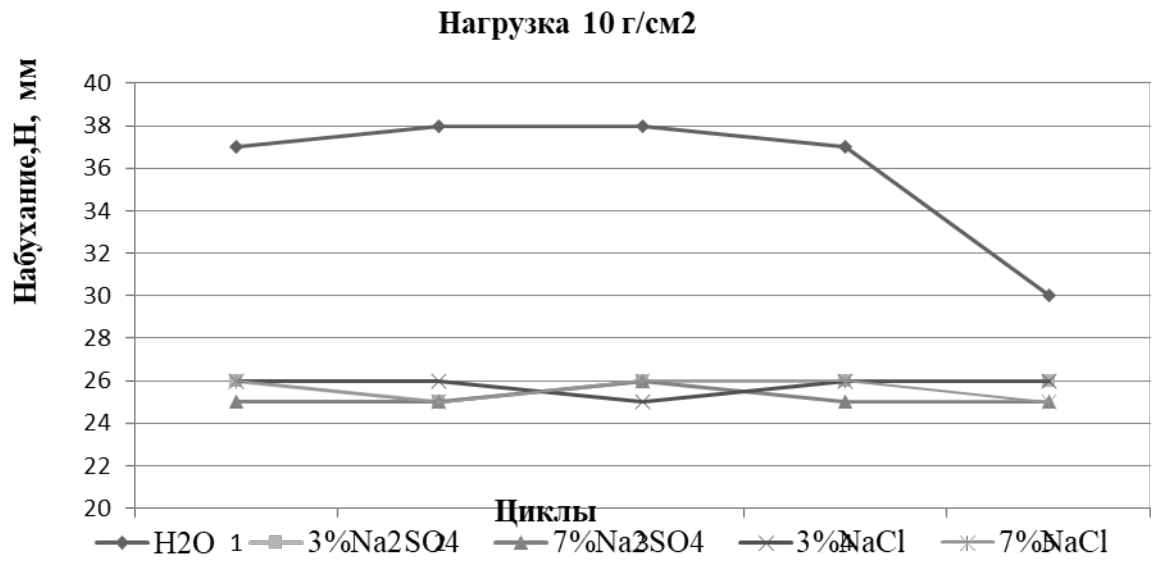
а)



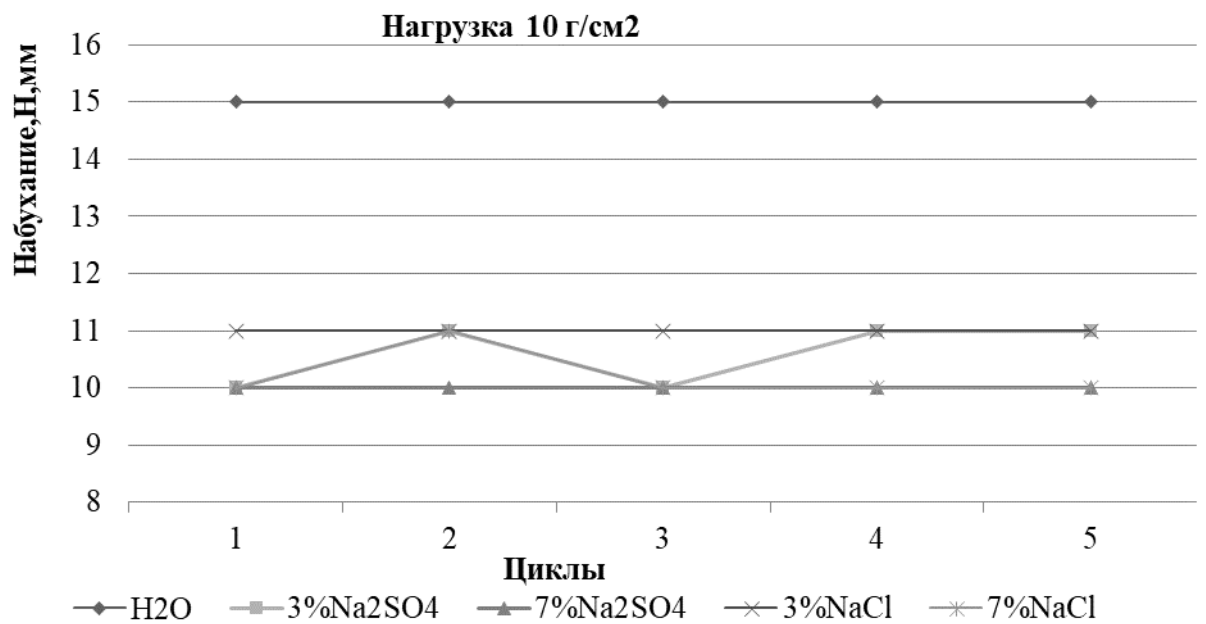
б)



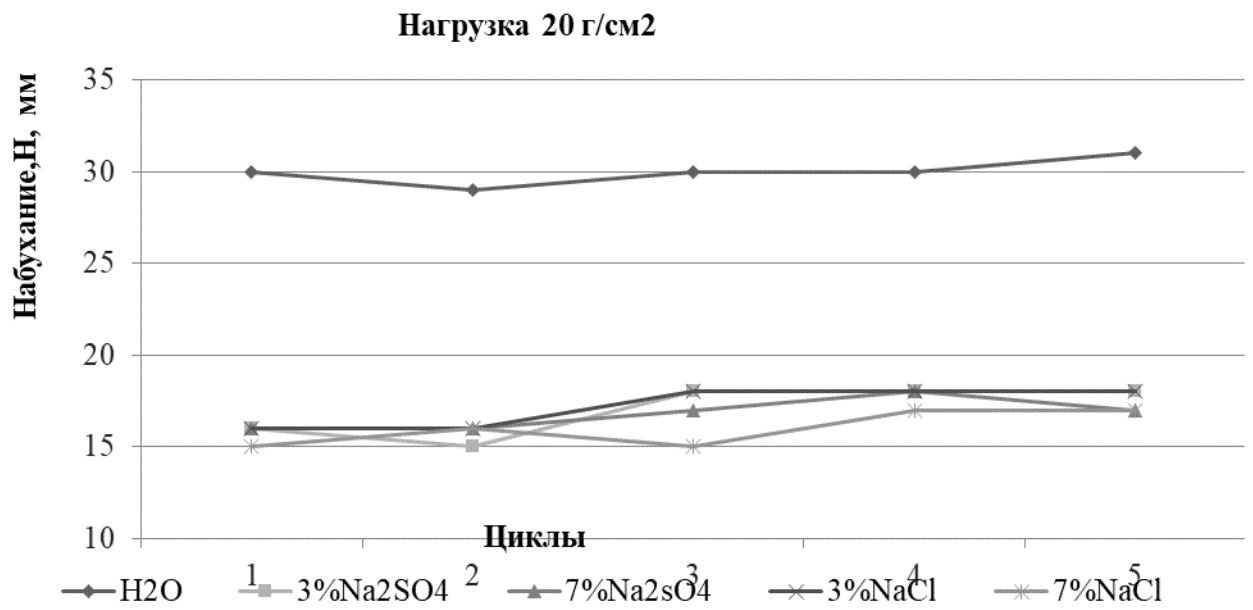
в)



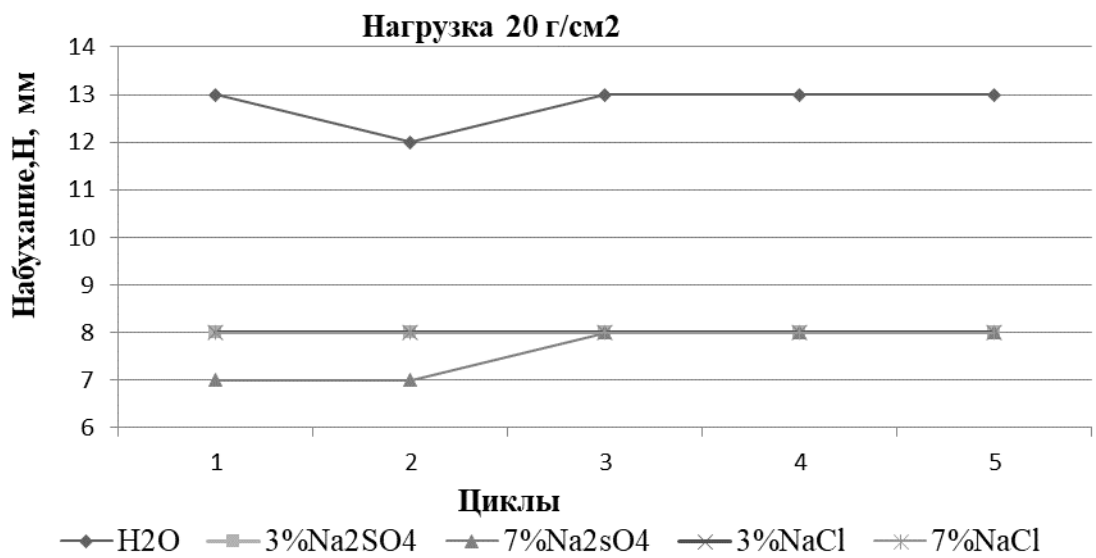
г)



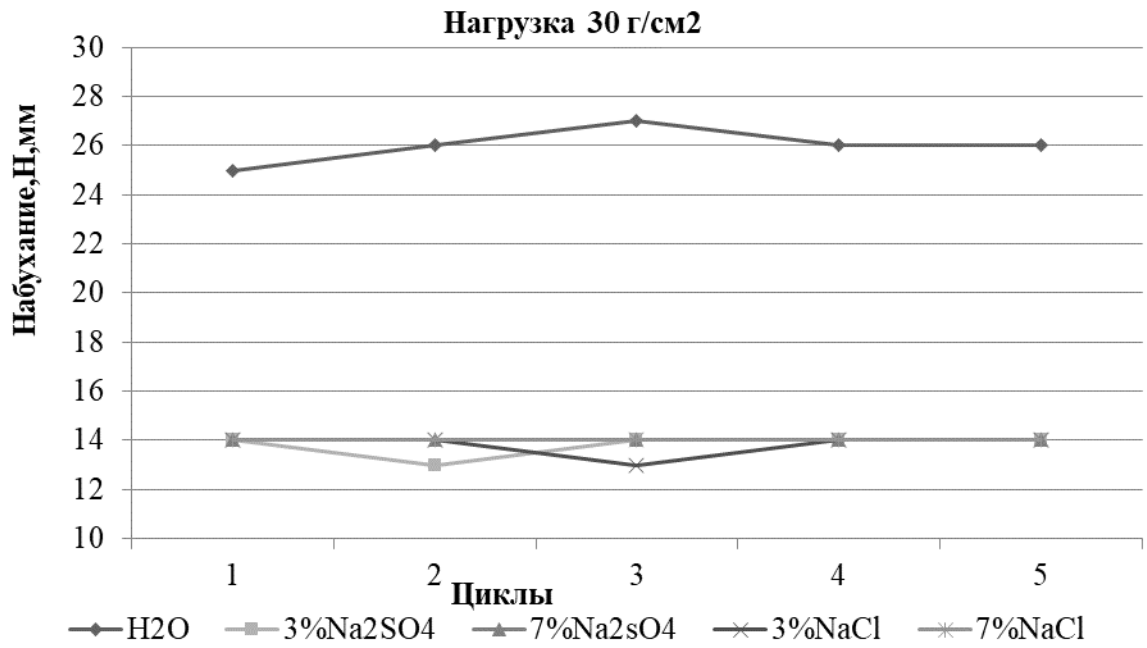
д)



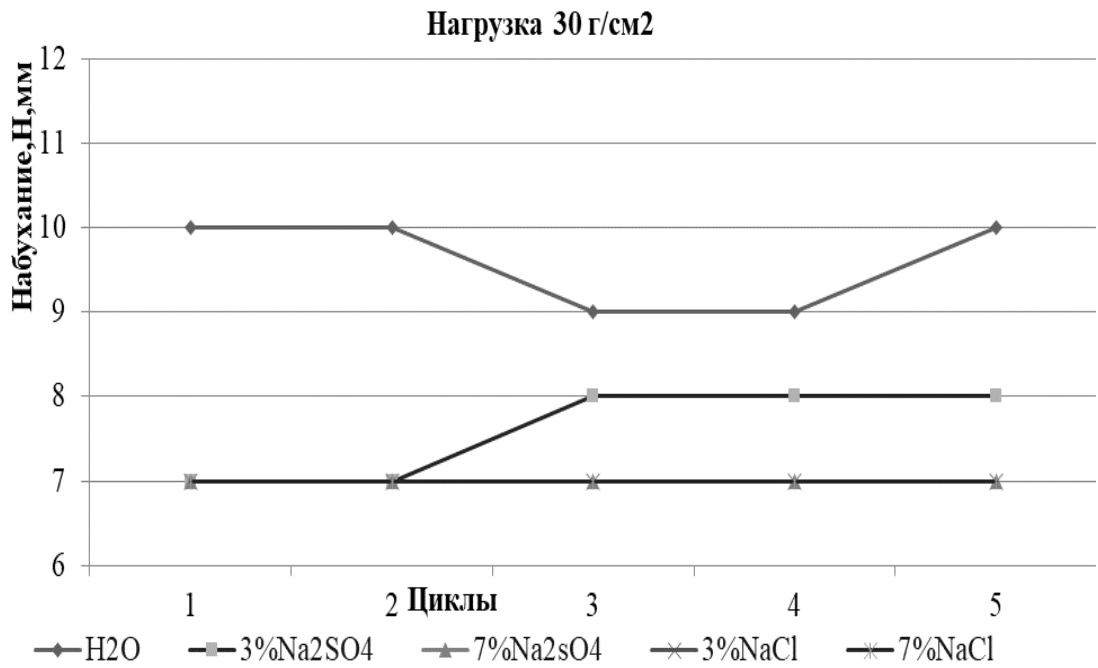
е)



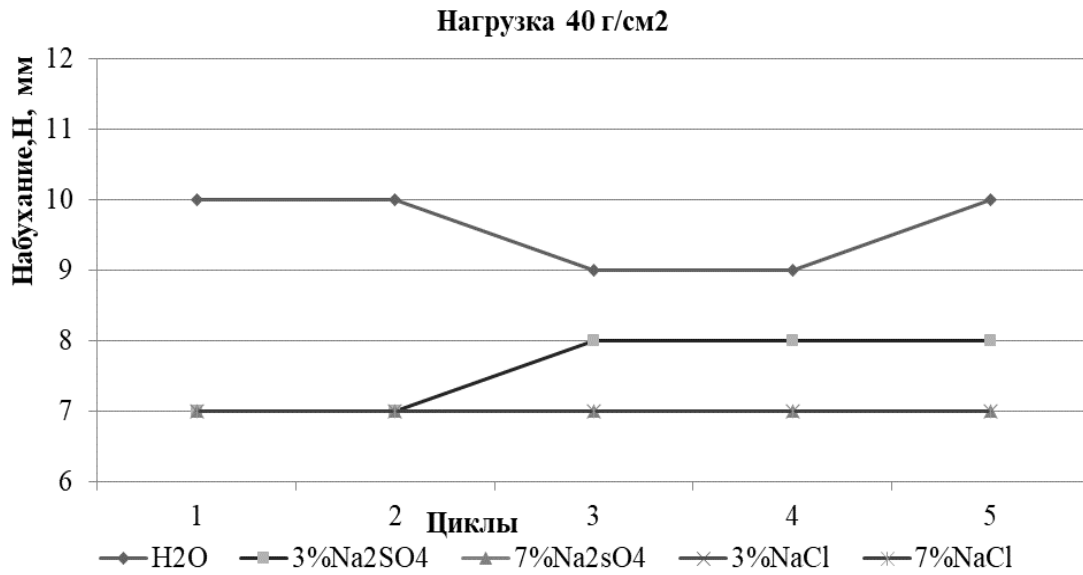
ж)



з)



и)



к)

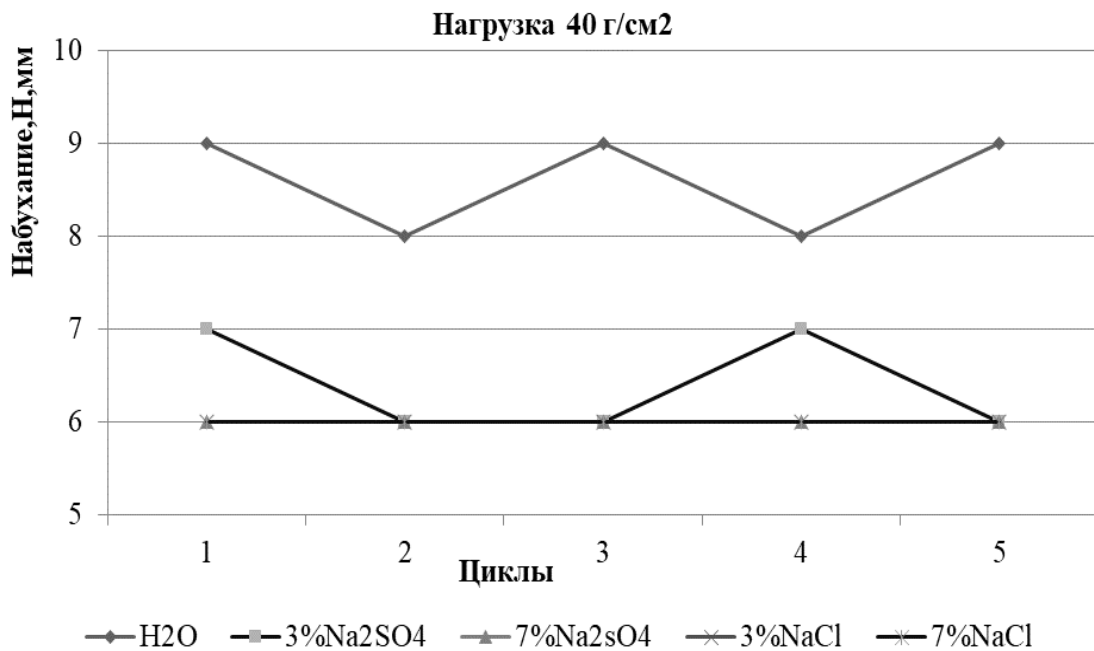


Рис 4.2.1.5 - Влияние циклов «замораживание-оттаивание» на набухание гидрогелей Аквасорб (а, в, д, ж, и) и Аквасин (б, г, е, з, к) при хлоридном и сульфатном типах засоления в зависимости от нагрузки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 19

Таблица 4.2.1.5 - Влияние типов засоления (хлоридного NaCl и сульфатного Na₂SO₄) и циклов «замерзание-оттаивание» на набухание и сопротивление нагрузке водоудерживающего экрана из гидрогеля **Аквасорб**.

Аквасорб	Типы засоления	Нагрузка 0 г см ⁻²					Нагрузка 10 г см ⁻²					Нагрузка 20 г см ⁻²					Нагрузка 30 г см ⁻²					Нагрузка 40 г см ⁻²								
		Циклы замерзание-оттаивание																												
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
H ₂ O		70	75	75	75	75	37	38	38	38	37	30	29	30	30	31	25	26	27	26	26	22	23	25	25	25	25	оттаивание		
		75	75	80	80	80	38	40	40	41	40	32	32	32	32	32	28	28	29	28	29	25	26	28	28	27	27	замерзание		
3% Na ₂ SO ₄		38	38	38	38	38	26	25	26	26	26	16	15	18	18	18	14	13	14	14	14	14	14	14	15	14	14	оттаивание		
		40	38	39	38	39	28	27	28	28	28	19	19	19	19	19	16	16	17	16	16	15	15	15	15	15	15	замерзание		
7% Na ₂ SO ₄		37	38	38	38	38	25	25	26	25	25	16	16	17	18	17	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	13	оттаивание		
		40	39	39	38	39	26	27	27	27	27	18	18	19	19	18	15	16	15	16	16	14	14	15	14	14	14	замерзание		
3% NaCl		39	39	38	37	38	26	26	25	26	26	16	16	18	18	18	14	14	13	14	14	14	14	14	15	14	14	оттаивание		
		40	41	40	39	40	27	28	28	28	28	18	18	19	19	19	16	15	15	16	16	15	16	15	16	16	16	замерзание		
7% NaCl		40	39	38	36	37	26	25	26	26	25	15	16	15	17	17	14	14	14	14	14	13	13	14	14	14	14	оттаивание		
		40	41	40	38	38	26	26	27	26	26	18	18	17	18	18	15	16	15	15	16	14	14	15	15	15	15	замерзание		

ПРИЛОЖЕНИЕ 20

Таблица 4.2.1.6 - Влияние типов засоления (хлоридного NaCl и сульфатного Na₂SO₄) и циклов «замерзание-оттаивание» на набухание и сопротивление нагрузке водоудерживающего экрана из гидрогеля **Аквасин**.

Аквасин	Типы засоления	Нагрузка 0 г см ⁻²					Нагрузка 10 г см ⁻²					Нагрузка 20 г см ⁻²					Нагрузка 30 г см ⁻²					Нагрузка 40 г см ⁻²										
		Циклы замерзание-оттаивание																														
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
H ₂ O		18	18	19	19	19	15	15	15	15	15	13	12	13	13	13	10	10	9	9	10	9	8	9	8	9	9	9	9	9	9	оттаивание
		19	19	19	19	19	15	15	15	15	15	13	13	14	13	13	10	10	9	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	замерзание
3% Na ₂ SO ₄		14	14	13	13	13	10	11	10	11	11	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	7	6	6	7	6	6	6	7	6	оттаивание	
		14	14	13	13	14	10	11	11	11	11	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	замерзание	
7% Na ₂ SO ₄		13	13	13	13	13	10	10	10	10	10	7	7	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	оттаивание	
		14	13	13	13	13	10	11	10	10	10	8	8	8	8	8	8	7	7	8	7	6	6	7	6	7	6	7	6	7	замерзание	
3% NaCl		14	14	14	14	14	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	оттаивание	
		14	14	14	14	14	11	11	11	11	11	8	8	8	8	8	6	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	замерзание	
7% NaCl		13	13	14	14	13	10	11	10	10	10	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	оттаивание	
		13	14	14	14	13	11	11	10	10	11	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	замерзание	

ПРИЛОЖЕНИЕ 21

h	мгСО ₂ /Г в час, н.в.	влажн., %	мгСО ₂ /Г в час, с.в.		h	мгСО ₂ /Г в час, н.в.	влажн., %	мгСО ₂ /Г в час, с.в.	засушник 2015 (1)
120	0,01068	15,3	0,012609	засушник 2015(1)	146	0,10366	15,3	0,122384888	контроль
113	0,010057	15,3	0,011874		103	0,07313	15,3	0,086340024	
115	0,010235	15,3	0,012084	контроль	134	0,09514	15,3	0,112325856	
144	0,012816	18,6	0,015744		96	0,06816	18,6	0,083734644	
155	0,013795	18,6	0,016947	Na(10-12)	80	0,0568	18,6	0,06977887	Na(10-12)
143	0,012727	18,6	0,015635		70	0,0497	18,6	0,061056511	
128	0,011392	17,62	0,013829		60	0,0426	17,62	0,05171158	
149	0,013261	17,62	0,016097	K(10-12)	107	0,07597	17,62	0,092218985	K(10-12)
145	0,012905	17,62	0,015665		96	0,06816	17,62	0,082738529	
155	0,013795	19,3	0,017094		87	0,06177	19,3	0,076542751	
113	0,010057	19,3	0,012462	Na(20-22)	55	0,03905	19,3	0,048389095	
137	0,012193	19,3	0,015109		40	0,0284	19,3	0,035192069	
103	0,009167	18,71	0,011277			83	0,05893	18,71	0,072493542
131	0,011659	18,71	0,014342	K(20-22)		125	0,08875	18,71	0,109177021
113	0,010057	18,71	0,012372		105	0,07455	18,71	0,091708697	
	0		0				0		0
115	0,010235	18,26	0,012521	поле	92	0,06532	18,26	0,079911916	поле
98	0,008722	18,26	0,01067	контроль	96	0,06816	18,26	0,083386347	контроль
155	0,013795	18,26	0,016877		100	0,071	18,26	0,086860778	
103	0,009167	19,95	0,011452		91	0,06461	19,95	0,080712055	
93	0,008277	19,95	0,01034	Na(10-12)	103	0,07313	19,95	0,091355403	
92	0,008188	19,95	0,010229		97	0,06887	19,95	0,086033729	
93	0,008277	19,46	0,010277			143	0,10153	19,46	0,126061584

97	0,008633	19,46	0,010719	K(10-12)
104	0,009256	19,46	0,011492	
78	0,006942	19,38	0,008611	Na(20-22)
62	0,005518	19,38	0,006844	
74	0,006586	19,38	0,008169	
119	0,010591	19,02	0,013079	K(20-22)
108	0,009612	19,02	0,01187	
112	0,009968	19,02	0,012309	

158	0,11218	19,46	0,139284827	Na(20-22)
132	0,09372	19,46	0,116364539	
99	0,07029	19,38	0,087186802	
107	0,07597	19,38	0,0942322	K(20-22)
111	0,07881	19,38	0,0977549	
98	0,06958	19,02	0,08592245	
104	0,07384	19,02	0,091183008	
81	0,05751	19,02	0,071017535	

	0		0	засушник 2015 (2)
				контроль
42	0,003738	25,28	0,005003	Na(10-12)
46	0,004094	25,28	0,005479	
50	0,00445	25,28	0,005956	
41	0,003649	23,19	0,004751	K(10-12)
52	0,004628	23,19	0,006025	
54	0,004806	23,19	0,006257	Na(20-22)
52	0,004628	22,96	0,006007	
44	0,003916	22,96	0,005083	
55	0,004895	22,96	0,006354	K(20-22)
49	0,004361	19,08	0,005389	
34	0,003026	19,08	0,003739	
41	0,003649	19,08	0,004509	
50	0,00445	26,23	0,006032	
32	0,002848	26,23	0,003861	
35	0,003115	26,23	0,004223	

	0		0	засушник 2015 (2)
				контроль
15	0,01065	25,28	0,014253212	Na(10-12)
18	0,01278	25,28	0,017103854	
19	0,01349	25,28	0,018054069	
18	0,01278	23,19	0,016638459	K(10-12)
27	0,01917	23,19	0,024957688	
25	0,01775	23,19	0,02310897	Na(20-22)
21	0,01491	22,96	0,019353583	
18	0,01278	22,96	0,016588785	
19	0,01349	22,96	0,017510384	K(20-22)
14	0,00994	19,08	0,012283737	
20	0,0142	19,08	0,017548196	
20	0,0142	19,08	0,017548196	
15	0,01065	26,23	0,014436763	
15	0,01065	26,23	0,014436763	
17	0,01207	26,23	0,016361665	

h, мм	мгСО2/г в час, н.в.	влажн., %	мгСО2/г в час, с.в.	
50	0,00445	23,58	0,005823	поле 2015(2) контроль
40	0,00356	23,58	0,004658	
44	0,003916	23,58	0,005124	Na(10-12)
62	0,005518	26,29	0,007486	
36	0,003204	26,29	0,004347	K(10-12)
63	0,005607	26,29	0,007607	
38	0,003382	25,05	0,004512	K(10-12)
30	0,00267	25,05	0,003562	
48	0,004272	25,05	0,0057	Na(20-22)
56	0,004984	26,78	0,006807	
39	0,003471	26,78	0,004741	K(20-22)
42	0,003738	26,78	0,005105	
50	0,00445	22,5	0,005742	K(20-22)
48	0,004272	22,5	0,005512	
30	0,00267	22,5	0,003445	

h	мгСО2/г в час, н.в.	влажн., %	мгСО2/г в час, с.в.	
15	0,01065	23,58	0,013936	поле2015(2)
20	0,0142	23,58	0,018582	контроль
18	0,01278	23,58	0,016723	Na(10-12)
19	0,01349	26,29	0,018301	
17	0,01207	26,29	0,016375	K(10-12)
15	0,01065	26,29	0,014449	
10	0,0071	25,05	0,009473	K(10-12)
7	0,00497	25,05	0,006631	
15	0,01065	25,05	0,014209	Na(20-22)
16	0,01136	26,78	0,015515	
12	0,00852	26,78	0,011636	K(20-22)
13	0,00923	26,78	0,012606	
11	0,00781	22,5	0,010077	K(20-22)
15	0,01065	22,5	0,013742	
18	0,01278	22,5	0,01649	

21	0,001869	16,04	0,002226	засушник 2016(1)
14	0,001246	16,04	0,001484	
18	0,001602	16,04	0,001908	
20	0,00178	11,5	0,002011	
19	0,001691	11,5	0,001911	Na(10-12)
23	0,002047	11,5	0,002313	
20	0,00178	16,97	0,002144	
17	0,001513	16,97	0,001822	K(10-12)
18	0,001602	16,97	0,001929	
28	0,002492	17,42	0,003018	
33	0,002937	17,42	0,003557	Na(20-22)
35	0,003115	17,42	0,003772	
37	0,003293	13,82	0,003821	
27	0,002403	13,82	0,002788	K(20-22)
21	0,001869	13,82	0,002169	
	0		0	поле 2016(1)
28	0,002492	17,05	0,003004	контроль
35	0,003115	17,05	0,003755	
37	0,003293	17,05	0,00397	
24	0,002136	16,42	0,002556	Na(10-12)
28	0,002492	16,42	0,002982	
19	0,001691	16,42	0,002023	
33	0,002937	17,03	0,00354	K(10-12)
37	0,003293	17,03	0,003969	
43	0,003827	17,03	0,004613	
14	0,001246	17,9	0,001518	Na(20-22)
23	0,002047	17,9	0,002493	
28	0,002492	17,9	0,003035	
22	0,001958	17,3	0,002368	K(20-22)
31	0,002759	17,3	0,003336	
40	0,00356	17,3	0,004305	

9	0,00639	16,04	0,007611	засушник 2016 (1)
10	0,0071	16,04	0,008456	
7	0,00497	16,04	0,005919	
15	0,01065	11,5	0,012034	Na(10-12)
12	0,00852	11,5	0,009627	
15	0,01065	11,5	0,012034	
12	0,00852	16,97	0,010261	K(10-12)
11	0,00781	16,97	0,009406	
13	0,00923	16,97	0,011116	
11	0,00781	17,42	0,009457	Na(20-22)
15	0,01065	17,42	0,012897	
14	0,00994	17,42	0,012037	
7	0,00497	13,82	0,005767	K(20-22)
9	0,00639	13,82	0,007415	
6	0,00426	13,82	0,004943	
	0		0	поле 2016 (1)
13	0,00923	17,05	0,011127	контроль
13	0,00923	17,05	0,011127	
17	0,01207	17,05	0,014551	
9	0,00639	16,42	0,007645	Na(10-12)
10	0,0071	16,42	0,008495	
10	0,0071	16,42	0,008495	
14	0,00994	17,03	0,01198	K(10-12)
10	0,0071	17,03	0,008557	
11	0,00781	17,03	0,009413	
8	0,00568	17,9	0,006918	Na(20-22)
14	0,00994	17,9	0,012107	
13	0,00923	17,9	0,011242	
12	0,00852	17,3	0,010302	K(20-22)
16	0,01136	17,3	0,013736	
15	0,01065	17,3	0,012878	

ПРИЛОЖЕНИЕ 22

Технологическая карта на применение гидрогеля, уборку и переработку ярового ячменя, сорт Ленинградский, с подсевом многолетних трав, (полевой севооборот, контроль, 2012 г.)

Прямые затраты на производство зерна в Меньковском филиале АФИ в 2012 г					
№ п.п	Статьи затрат, с.-х. операции	Едн. изм	Кол. един	Стоимость един.(руб)	Стоимость всего(руб)
1	2	3	4	5	6
	Подготовка почвы к посеву (всего)	га	1,00		3765,65
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
	- удобрения по видам:				
	Азофоска	т	0,23	6000,0	1872,00
2	Посев, посадка(всего)				2616,84
	вт.ч.				
	- семена	т	0,22	3300,0	726,00
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,65
	-неквалиф.ручн.труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	-труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	806,54
3	Уход за посевами				
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,14	-	-
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,14	-	-
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,29	-	-
4	Уборка урожая: прямое комбайнирование, и реализация (всего)				1707,75
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,45	715,0	321,75
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
5	Итого по пп. 1-4	руб			8090,24

ПРИЛОЖЕНИЕ 23

Технологическая карта на применение гидрогеля, уборку и переработку ярового ячменя, сорт Ленинградский, с подсевом многолетних трав, (полевой севооборот, 2012 г. доза внесения 100 кг/га)

Прямые затраты на производство зерна в Меньковском филиале АФИ в 2012					
Г					
1	2	3	4	5	6
	Подготовка почвы к посеву (всего)	га	1,00		23765,65
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
	- удобрения по видам:				
	Азофоска	т	0,23	6000,0	1872,00
	Гидрогель	кг	100	200,0	20000,00
2	Посев, посадка(всего)				2616,84
	вт.ч.				
	- семена	т	0,22	3300,0	726,00
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,65
	-неквалиф.ручн.труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	-труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	806,54
3	Уход за посевами				
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,14	-	-
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,14	-	-
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,29	-	-
4	Уборка урожая: прямое комбайнирование, и реализация (всего)				1707,75
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,45	715,0	321,75
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
5	Итого по пп. 1-4	руб			28090,24

ПРИЛОЖЕНИЕ 24

Технологическая карта на применение гидрогеля, уборку и переработку ярового ячменя, сорт Ленинградский, с подсевом многолетних трав, (полевой севооборот, 2012 г. доза внесения 200 кг/га)

Прямые затраты на производство зерна в Меньковском филиале АФИ в 2012					
Г					
№ п.п	Статьи затрат, с.-х. операции	Едн. изм	Кол. един	Стоимость един.(руб)	Стоимость всего(руб)
1	2	3	4	5	6
	Подготовка почвы к посеву (всего)	га	1,00		43765,65
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	- труд механиз. и водите	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
	- удобрения по видам:				
	Азофоска	т	0,23	6000,0	1872,00
	Гидрогель	кг	200	200,0	20000,00
2	Посев, посадка(всего)				2616,84
	вт.ч.				
	- семена	т	0,22	3300,0	726,00
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,65
	-неквалиф.ручн.труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	-труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	806,54
3	Уход за посевами				
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,14	-	-
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,14	-	-
	- труд механиз. и водите	ч/дн	0,29	-	-
4	Уборка урожая: прямое комбайнирование, и реализация (всего)				1707,75
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,45	715,0	321,75
	- труд механиз. и водите	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
5	Итого по пп. 1-4	руб			48090,24

ПРИЛОЖЕНИЕ 25

Технологическая карта на применение гидрогеля, уборку и переработку ярового ячменя, сорт Ленинградский, с подсевом многолетних трав, (полевой севооборот, 2012 г. доза внесения 300 кг/га)

Прямые затраты на производство зерна в Меньковском филиале АФИ в 2012					
Г					
№ п.п	Статьи затрат, с.-х. операции	Едн. изм	Кол. един	Стоимость един.(руб)	Стоимость всего(руб)
1	2	3	4	5	6
	Подготовка почвы к посеву (всего)	га	1,00		63765,65
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
	- удобрения по видам:				
	Азофоска	т	0,23	6000,0	1872,00
	Гидрогель	кг	300	200,0	60000,00
2	Посев, посадка(всего)				2616,84
	вт.ч.				
	- семена	т	0,22	3300,0	726,00
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,65
	-неквалиф.ручн.труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	-труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	806,54
3	Уход за посевами				
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,14	-	-
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,14	-	-
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,29	-	-
4	Уборка урожая: прямое комбайнирование, и реализация (всего)				1707,75
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,45	715,0	321,75
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
5	Итого по пп. 1-4	руб			68090,24

ПРИЛОЖЕНИЕ 26

**Технологическая карта на применение гидрогеля и уборку многолетних трав
I и II г.п. на сено (полевой севооборот, 2013-2014 гг)**

Прямые затраты на производство зерна в Меньковском филиале АФИ в 2013-2014 гг					
№ п.п	Статьи затрат, с.-х. операции	Едн. изм	Кол. един	Стоимость един.(руб)	Стоимость всего(руб)
1	2	3	4	5	6
1	Уход за посевами: ранневесеннее боронование	га	1,00		1057,18
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,14	3700	518,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,14	757,4	106,04
	- труд механиз. и вод	ч/дн	0,29	1493,6	433,14
4	Заготовка сена (первый укос): (всего)				1258,00
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,14	3200	448,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	-	-	
	- труд механиз. и вод	ч/дн	0,54	1500	810,00
5	Итого по пп. 1-4	руб			2315,18

ПРИЛОЖЕНИЕ 27

Технологическая карта на применение гидрогеля, уборку и переработку озимой ржи, сорт Славия, (полевой севооборот, 2015 г)

Прямые затраты на производство зерна в Меньковском филиале АФИ в 2015 г					
№ п.п	Статьи затрат, с.-х. операции	Едн. изм	Кол. един	Стоимость един.(руб)	Стоимость всего(руб)
1	2	3	4	5	6
	Подготовка почвы к посеву: осенняя вспашка, культивация (всего)	га	1,00		3882,29
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3700	666,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,71	757,4	537,75
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1493,6	806,54
	- удобрения по видам:				
	Азофоска	т	0,23	6000,0	1872,00
2	Посев, посадка(всего)				2616,84
	вт.ч.				
	- семена	т	0,22	3300,0	726,00
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,65
	-неквалиф.ручн.труд	ч/дн	0,71	715,0	507,65
	-труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	806,54
3	Уход за посевами				
	ранневесеннее боронование в т.ч.:				1327,18
	- машины и механизмы	м/дн	0,14	3700	518,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,14	757,4	106,04
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,29	1493,6	433,14
	- средства защиты по видам:				
	линтур	кг	0,18	1500	270,00
4	Уборка урожая: прямое комбайнирование, и реализация (всего)				1813,37
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3700	666,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,45	757,4	340,83
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1493,6	806,54
5	Итого по пп. 1-4	руб			9759,13

ПРИЛОЖЕНИЕ 28

Технологическая карта на применение гидрогеля, уборку и переработку ярового ячменя, сорт Ленинградский (полевой севооборот, 2016 г)

Прямые затраты на производство зерна в Меньковском филиале АФИ в 2016 г					
№ п.п	Статьи затрат, с.-х. операции	Едн. изм	Кол. един	Стоимость един.(руб)	Стоимость всего(руб)
1	2	3	4	5	6
	Подготовка почвы к посеву (всего)	га	1,00		3882,29
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3700	666,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,71	757,4	537,75
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1493,6	806,54
	- удобрения по видам:				
	Азофоска	т	0,23	6000,0	1872,00
2	Посев, посадка(всего)				2736,29
	вт.ч.				
	- семена	т	0,22	3300,0	726,00
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3700	666,00
	-неквалиф.ручн.труд	ч/дн	0,71	757,4	537,75
	-труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1493,6	806,54
3	Уход за посевами				
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,14	-	-
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,14	-	-
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,29	-	-
4	Уборка урожая: прямое комбайнирование, и реализация (всего)				1707,75
	в т.ч.:				
	- машины и механизмы	м/дн	0,18	3200	576,00
	- неквалиф. ручн. труд	ч/дн	0,45	715,0	321,75
	- труд механиз. и водителей	ч/дн	0,54	1500,0	810,00
5	Итого по пп. 1-4	руб			8326,33

ПРИЛОЖЕНИЕ 29

Энергозатраты на применение гидрогелей

Варианты опыта	Прибавка урожая, ц/га	Энергозатраты на уборку, доработку и реализацию дополнительного урожая за счет гидрогеля, МДж	Энергозатраты на производство, хранение, погрузку, транспортировку и внесение гидрогелей с учетом их последствий, МДж	Общие энергозатраты на применение гидрогеля, уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, МДж
Ячмень с подсевом многолетних трав				
ПГ _{Na} -100	6,9	2021,7	7855,8	9877,5
ПГ _K -100	8,2	2402,6	7855,8	10258,4
ПГ _{Na} -200	8,4	2461,2	8045,8	10507
ПГ _K -200	7,3	2138,9	8045,8	10184,7
ПГ _{Na} -300	3,5	1025,5	8235,8	9261,3
ПГ _K -300	2,2	644,6	8235,8	8880,4
Многолетние травы 1-ого года пользования				
ПГ _{Na} -100	2,9	3045	3928	6973
ПГ _K -100	1,5	1575	3927,9	5502,9
ПГ _{Na} -200	3,1	3255	4022,9	7277,9
ПГ _K -200	1,3	1365	4023	5388
ПГ _{Na} -300	2,0	2100	4117,9	6217,9
ПГ _K -300	2,7	2835	4118	6953
Многолетние травы 2-ого года пользования				
ПГ _{Na} -100	0,3	315	1571,2	1886,2
ПГ _K -100	0,75	787,5	1571,2	2358,7
ПГ _{Na} -200	1,2	1260	1609,2	2869,2
ПГ _K -200	1,1	1155	1609,2	2764,2
ПГ _{Na} -300	2,2	2310	1647,2	3957,2
ПГ _K -300	2,9	3045	1647,2	4692,2
Озимая рожь				
ПГ _{Na} -100	2,47	810,2	1571,2	2381,3
ПГ _K -100	1,1	360,8	1571,2	1931,9
ПГ _{Na} -200	3,74	1226,7	1609,2	2835,9
ПГ _K -200	1,51	495,3	1609,2	2104,4
ПГ _{Na} -300	5,02	1646,6	1647,2	3293,7
ПГ _K -300	2,95	967,6	1647,2	2614,7
Ячмень				
ПГ _{Na} -100	1,64	480,5	785,6	1266,1
ПГ _K -100	1,43	419	785,6	1204,6
ПГ _{Na} -200	2,18	638,7	804,6	1443,3
ПГ _K -200	1,13	331,1	804,6	1135,7
ПГ _{Na} -300	2,32	679,8	823,6	1503,4
ПГ _K -300	1,01	295,9	823,6	1119,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 30

**Федеральная служба по надзору в сфере защиты
прав потребителей и благополучия человека**

**Федеральное бюджетное учреждение здравоохранения
«Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан (Татарстан)»**

Аккредитованный испытательный лабораторный центр
420061, г. Казань, ул. Сеченова, д. 13а. Тел. (843) 221-90-92, факс (843) 221-90-87
ИНН/КПП 1660077474/166001001

Аттестаты аккредитации:

- 1) № РОСС.RU.0001.510710 от 05.10.2011
Действителен до 11.09.2013
- 2) № РОСС.RU.0001.21 АЮ80 от 31.10.2012
Действителен до 22.12.2014

УТВЕРЖДАЮ
Зам. руководителя ИЛЦ

Сафина Г.Н.
(ФИО)

ПРОТОКОЛ № 17741.Э.

результатов испытаний
от «30» мая 2013 г.

Адрес заказчика и наименование объекта: ООО ПКФ «Сингер», РТ, г. Зеленодольск, ул. Фабричная, 58; производство, РТ, г. Зеленодольск, ул. Фабричная, 88.

Наименование образца (пробы): Суперабсорбент «Аквасин».

Производитель: ООО ПКФ «Сингер»

Нормативная документация: ТУ 2219-017-74584703-2011

Акт приема: ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в РТ (Татарстан)»

Количество: 0,1 кг

Величина партии: 10 кг

Дата выработки: 29.04.2013 г.

Дата отбора: 30.04.2013 г.

Дата доставки: 30.04.2013 г.

Дата начала и окончания проведения испытаний: 07.05.2013 г. – 30.05.2013 г.

Внешний вид упаковки пробы: полимерная тара

Код образца: 2460.13.17741.Э.

ОБРАЗЕЦ

Цель исследования:

1. Изучение раздражающего действия на кожу.
2. Изучение кожно-резорбтивного действия.
3. Изучение сенсибилизирующего действия.
4. Изучение раздражающего действия на слизистые оболочки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	Результаты исследований	НД на методы исследований
1	2	3	4	6
1	Токсикологические показатели			
1.1	Раздражающее действие на кожу	балл	0	МУ № 2196-80
1.2	Кожно-резорбтивное действие		Не обладает	МУ № 2102-79
1.3	Сенсибилизирующее действие		Не выявлено	МУ 1.1.578-96
1.4	Раздражающее действие на слизистые оболочки	балл	4	МУ № 2196-80

Суперабсорбент «Аквасин» исследовали в разведении 1 г. на 250 г. дистиллированной воды.

Изучение раздражающего действия на кожу раствора суперабсорбента проводили в опытах на морских свинках. На выстриженный участок кожи животных размером 5x5 см наносили

Настоящий протокол характеризует исключительно испытанный образец.
Перепечатка (копирование) части протокола без письменного разрешения ИЛЦ не допускается!
Протокол от 30.05.2013 г. № 17741

Стр. 1 из 2

раствор суперабсорбента и легко втирали в кожу в течение 10 дней. Время экспозиции - 4 часа, после чего раствор суперабсорбента удаляли теплой водой с мылом. Контрольным животным на боковую поверхность наносили дистиллированную воду. Цвет, тургор, эластичность кожи морских свинок в сравнении с контрольной группой не изменились, т.е. раствор суперабсорбента не обладает раздражающим действием на кожу.

Кожно-резорбтивное действие раствора суперабсорбента изучали по «хвостовой» пробе на белых мышах. Животных помещали в специальные домики, хвосты опускали на 2/3 длины в пробирку с раствором суперабсорбента. Время экспозиции 2 часа в течение 7 дней. Животные живы, состояние кожи хвостов, вес подопытных животных не изменились. При вскрытии животных видимых изменений внутренних органов не наблюдалось.

При введении раствора суперабсорбента морским свинкам в кожу уха (по методу Алексеевой/Петкевич) сенсибилизирующее действие не выявлено.

При изучении раздражающего действия раствора суперабсорбента (1 капля) на слизистые оболочки глаза морских свинок наблюдалось: слезотечение, отдельные сосуды конъюнктивы и роговицы трудно различимы, выраженный отек век.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суперабсорбент «Аквасин» ТУ 2219-017-74584703-2011 (1 г на 250 г воды) не обладает кожно-раздражающим и кожно-резорбтивным действием. Обладает раздражающим действием на слизистые оболочки. Сенсибилизирующее действие не выявлено.

Нормативно-методическая документация:

1. «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» Раздел 19. Требования к химической и нефтехимической продукции производственного назначения.
2. «МУ к постановке исследований для обоснования санитарных стандартов вредных веществ в воздухе рабочей зоны», 1980 г., г. Москва, № 2163-80.
3. «МУ к постановке исследований по изучению раздражающих свойств и обоснованию ПДК избирательно действующих раздражающих веществ в воздухе рабочей зоны», 1980 г., г. Москва, № 2196-80.
4. «Оценка воздействия вредных химических соединений на кожные покровы и обоснование ПДУ загрязнений кожи», 1980 г., г. Москва, № 2102-79.
5. «Требования к постановке экспериментальных исследований по обоснованию ПДК промышленных химических аллергенов в воздухе рабочей зоны и атмосферы», МУ 1.1.578-96, г. Москва, 1997 г.

Ответственный за проведение исследований, эксперт

Фельдшер-лаборант
(должность)

Крусева И.Н.
(ФИО)

Заведующий лабораторией, эксперт Фадеева Е.В.
(ФИО)

Ответственный за формирование протокола

Джураев М.У.
(ФИО)

(подпись)

зав.отд. кодирования
(должность)

Протокол напечатан И.А.Нагумановой

ОБРАЗЕЦ

Настоящий протокол характеризует исключительно испытанный образец.

Перепечатка (копирование) части протокола без письменного разрешения ИЛЦ не допускается!
Протокол от 30.05.2013 г. № 17741

Стр.2 из 2