

ФГАОУ ВО ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Тетянников Николай Валерьевич

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВНУТРИВИДОВОГО
РАЗНООБРАЗИЯ *HORDEUM VULGARE* L. И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ФОРМ

06.01.05 - Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений

Диссертация на соискание учёной степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Научный руководитель
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Боме Нина Анатольевна

Тюмень - 2019

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЯЧМЕНЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	10
1.1. Систематика и биологические особенности вида <i>Hordeum vulgare</i> L.....	10
1.2. Основные признаки ботанических разновидностей ячменя	15
1.3. Значимость изучения и сохранения исходного материала.....	19
1.4. Химический мутагенез, как метод расширения биоразнообразия	23
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ.....	26
2.1. Объекты и методы исследования	26
2.2. Агроклиматическая характеристика Тюменской области.....	33
2.3. Метеорологические условия в годы проведения полевых опытов.....	39
ГЛАВА 3. ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ <i>HORDEUM VULGARE</i> L. ПО КОМПЛЕКСУ СЕЛЕКЦИОННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ...	45
3.1. Полевая всхожесть семян, биологическая устойчивость и выживаемость растений ячменя как показатели адаптации к меняющимся условиям среды	45
3.2. Высота и устойчивость растений ячменя к полеганию	58
3.3. Длина главного колоса	68
3.4. Ассимиляционная поверхность листьев.....	70
3.5. Оценка устойчивости ячменя к грибным болезням	85
3.6. Число продуктивных стеблей	88
3.7. Масса зерна с растения.....	93
3.8. Масса 1000 зёрен.....	95
3.9. Урожайность.....	97
ГЛАВА 4. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ХИМИЧЕСКОГО МУТАГЕНА ФОСФЕМИДА НА ЯЧМЕНЕ	104
4.1. Изменчивость количественных признаков ячменя под влиянием фосфемиды	106
4.2. Действие химического мутагена на частоту и разнообразие измененных форм растений ячменя	117

ГЛАВА 5. РОЛЬ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ СЕЛЕКЦИОННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ЯЧМЕНЯ.....	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	135
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	138
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	139
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	167

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Климатические условия Тюменской области отличаются резкой контрастностью. Часто, возделываемые культуры подвергаются воздействию весенних заморозков, повышенных или пониженных температур, а также избытка или недостатка влаги как в раннем онтогенезе, так и в течение всего вегетационного периода (Агроклиматические ресурсы..., 1972). Вследствие чего снижается как качество, так и количество получаемой продукции (Боме, 2014).

Несмотря на такую контрастность, на юге Тюменской области успешно возделываются многие сельскохозяйственные культуры, за счёт создания и внедрения в производство сортов, обладающих высоким адаптивным потенциалом к неблагоприятным воздействиям среды, что позволяет, в конечном счёте, получать относительно высокие урожаи (Ячмень в Тюменской..., 1972).

При этом становится очевидным, что для селекции ячменя остаются актуальными вопросы создания и подбора новых сортов, адаптированных к конкретным условиям среды и проявляющих высокие показатели по хозяйственно-ценным признакам (Заушинцена, 2009; Сурин, 2011). Основопологающим для этих целей является изучение исходного материала. По мнению Н.И. Вавилова, успех селекционной работы во многом определяется правильно подобранным и использованным исходным материалом (Вавилов, 1966). Оценка исходного материала по селекционно-ценным признакам позволяет выделить из большого количества образцов, наиболее перспективные, которые характеризуются большей степенью адаптации к конкретным условиям (Логинов и др., 2014; Беляев и др., 2014; Сурин и др., 2015; Герасимов, 2018).

Яровой ячмень занимает одно из лидирующих мест среди зерновых культур в Тюменской области. За последние годы его посевы составили около 130 тыс. га, а урожайность в среднем – 24,0 ц/га (ЕМИСС, Государственная статистика, 2017). Зерно ячменя используется в качестве фуража, а также в пищевой и пивоваренной промышленности (Берзин, Сурин, 1972; Опанасюк, 2013).

Степень разработанности темы. Вопросам изучения и сохранения генетических ресурсов растений, выделения источников ценных признаков посвящен ряд научных работ (Сурин, Ляхова, 1993; Тарануха, 2009; Ковригина, Заушинцева, 2010; Ерешко и др., 2015; Сурин и др., 2015; Аниськов и др., 2016; Герасимов, 2018). Для северных регионов с низким биоклиматическим потенциалом необходимы методы создания и оценки форм растений, устойчивых к биотическим и абиотическим стрессам. Для решения этих задач широко и успешно применяют метод экспериментального мутагенеза (Прийлинн, Шнайдер, 1984; Шевцов и др., 1984; Володин и др., 1989; Дудин, Балахонцева, 2013; Raina et al., 2016; Лаштабова и др., 2017), но дальнейшее развитие мутационной селекции связано с поиском новых мутагенных факторов. В решение вопросов оптимального экологического размещения сортов культурных растений существенный вклад вносят работы А.А. Жученко (1988, 2004), но требуется агроэкологическое обоснование для конкретных почвенно-климатических условий.

Цель исследования – комплексная эколого-биологическая оценка коллекции ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.), выделение ценного исходного материала для адаптивной селекции Северного Зауралья и обоснование применения химического мутагена фосфемида для создания новых форм.

Задачи исследования:

- изучить особенности роста и развития образцов различного эколого-географического происхождения из мировой коллекции ФГБНУ ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР) по фенотипическому проявлению ценных селекционных признаков и биологических свойств;

- на основании комплексной оценки выделить генотипы с высоким адаптивным потенциалом;

- определить реакцию трёх коллекционных образцов ячменя на действие химического мутагена фосфемида по чувствительности, мутабельности и изменчивости количественных признаков;

- изучить влияние агроэкологических условий сельскохозяйственной территории Тюменской области на формирование адаптивных и продуктивных свойств сортов ячменя;

- сформировать коллекцию исходного материала ячменя, адаптированного к условиям северных широт для селекционного использования.

Научная новизна. Впервые в условиях Северного Зауралья оценено внутривидовое разнообразие *H. vulgare* на примере 146 коллекционных образцов, относящихся к подвидам двурядного и многорядного ячменя, 40 разновидностям. Для селекционных программ выделены новые ценные источники по показателям всхожести семян, выживаемости растений, устойчивости к полеганию и тёмно-бурой пятнистости, элементов продуктивности. Впервые обоснована возможность применения химического мутагена фосфемиды для получения новых форм с целью увеличения генетического и морфологического разнообразия ячменя. Установлены оптимальные концентрации фосфемиды (0,002%; 0,01%) для обработки семян и получения мутантных популяций, различающихся по частоте и спектру мутаций. Выявлены особенности формирования урожайности сортов ячменя, выращенных из семян разных агроэкологических зон сельскохозяйственной территории Тюменской области. Изучен адаптивный потенциал культуры в меняющихся условиях внешней среды, на примере Государственных сортоиспытательных участков Тюменской области. Установлено, что реализация продуктивности сортов зависит от агроэкологического происхождения посевного материала.

Теоретическая значимость. Данная работа вносит вклад в совершенствование теоретических основ и методов изучения исходного материала *H. vulgare*, определения реакции генотипов на агроклиматические факторы среды. Изучены закономерности формирования признаков продуктивности ячменя в различных условиях выращивания. По вкладу средовой, генотипической изменчивости и их взаимодействия в общее фенотипическое варьирование получены значимые различия по изученным признакам. Выявлены наиболее информативные признаки с высокими корреляционными связями, определяющими адаптивный потенциал культуры. Предложена экспресс-диагностика содержания хлорофилла в листьях с

использованием оптического счетчика SPAD 502 (Minolta Camera Co, Ltd, Токио, Япония). Показана эффективность применения мутагена фосфемиды в концентрациях 0,002 и 0,01% для получения форм ячменя с улучшенными признаками. Установлены различия по изменчивости количественных признаков сортов ячменя при посеве семенами разных репродукций с шести государственных сортоиспытательных участков Тюменской области.

Практическая значимость. Выделенные из коллекции источники ценных признаков и полученные методом химического мутагенеза изменённые формы рекомендуются в качестве исходного материала и переданы для внедрения в селекционный процесс других научно-исследовательских учреждений: ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья» (Россия, г. Тюмень); ТОО «НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева» (Казахстан, п. Шортанды-1); УО «БГСХА» (Беларусь, г. Горки). Доля влияния факторов, корреляционные связи, характер изменчивости селекционных признаков растений ячменя могут быть использованы при составлении программ адаптивной селекции, разработке модели сорта для конкретных почвенно-климатических условий. Генетическое и морфологическое разнообразие *H. vulgare*, индуцированное фосфемидом, расширяет генофонд Института биологии Тюменского государственного университета (ТюмГУ). Методы полевых исследований, статистической обработки экспериментальных данных используются в учебном процессе ТюмГУ по направлениям: 06.04.01 Биология (магистерская программа «Биотехнология»), 06.03.01 Биология (бакалавриат).

Методология и методы исследований основаны на комплексном подходе и общепризнанных методиках. В работе применялись аналитические, экспериментальные (лабораторные и полевые опыты), статистические (математическая обработка полученных данных) методы исследований.

Положения, выносимые на защиту:

1. По реакции на абиотические и биотические факторы окружающей среды у коллекционных образцов ячменя наблюдается значительная генетическая гетерогенность.

2. Применение химического мутагена фосфемида в оптимальных концентрациях водного раствора эффективно для увеличения генетической изменчивости ячменя и отбора селекционно-ценных форм.

3. Агробиологическое обоснование подбора сортов ячменя по изменчивости биологических свойств семян и зерновой продуктивности.

Степень достоверности и апробация результатов работы. Работа выполнена автором самостоятельно с применением современных методов, оборудования и статистической обработки экспериментального материала. Степень достоверности результатов обеспечивается постановкой необходимого количества опытов, значительным объёмом фактического материала, воспроизводимостью.

Основные результаты исследования апробированы на: V Международной конференции «Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов» (Тюмень, 2014); Всероссийском конкурсе фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере «УМНИК-2014» (Тюмень, 2014); Международной дистанционной научно-практической конференции «Актуальные и новые направления в селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур» (Владикавказ, 2017); IV Всероссийской научно-практической дистанционной конференции с международным участием «Роль молодых учёных в инновационном развитии сельского хозяйства» (Москва, 2017); Международной научно-практической конференции «Проблемы экологии и сельское хозяйство в XXI веке», посвященной 130-летию со дня рождения Н.И. Вавилова (Москва, 2017); XIV Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Тобольск научный - 2017» (Тобольск, 2017); Национальной научно-практической конференции, посвященной 130-летию со дня рождения Н.И. Вавилова «Наследие Н.И. Вавилова в современной науке» (Новосибирск, 2017); VII Международной научной конференции «Селекционно-генетическая наука и образование (Парийские чтения)» (Умань, Украина, 2018); Международный форум BIOTECH «Биотехнология: состояние и перспективы развития» (Москва, 2018); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные подходы и методы в защите растений» (Екатеринбург, 2018).

Личный вклад автора заключается в проведении лабораторных и полевых экспериментов, обобщении и анализе полученных данных, написании и оформлении отчётов, статей и текста диссертации.

Автор выражает глубокую и искреннюю признательность научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук, профессору Н.А. Боме за непрерывную поддержку и оказанную помощь в выполнении исследований и подготовке диссертации.

Автор благодарит кандидата биологических наук, доцента кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Н.Н. Колоколову за помощь в идентификации фитопатогенных грибов; научный состав кафедры за своевременные замечания и ценные указания, а также всех причастных в проведении полевых исследований.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 печатных работ, из них 4 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в том числе 1 статья в международной базе данных Web of Science, 10 – в других изданиях. Общий объём публикаций 6,3 печатных листа.

Структура и объём диссертации. Диссертация изложена на 166 страницах печатного текста с 29 приложениями, иллюстрирована 38 таблицами и 30 рисунками; состоит из введения, 5 глав, заключения, практических рекомендаций. Список литературы включает 264 источников, в том числе 33 на иностранном языке.

ГЛАВА 1. ЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ЯЧМЕНЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1. Систематика и биологические особенности вида *Hordeum vulgare* L.

Ячмень является одной из ведущих зерновых культур в мире по площадям посева (46,9 млн. га), уступая лишь пшенице, рису и кукурузе, при общем объёме производства – 134 млн. тонн (за период 1994-2014 гг.) (FAOSTAT, 2017). К основным производителям зерна в Европе относят Францию, Германию, Австрию, Испанию, Великобританию, также значительные площади заняты в Канаде, среди стран СНГ – России и Украине. Высокую урожайность получают в Дании, Голландии, Бельгии, Швеции (Алабушев, 2013; Водяников и др., 2013; Репко и др., 2015; Тихонов, Авдеев, 2015).

По данным единой межведомственной информационно-статистической системы за последние годы (2014-2017) в Российской Федерации ячмень занимал 8042,9 тыс. га, опережая такие культуры как овёс (3010,5 тыс. га), кукуруза (2845,0 тыс. га), рожь (1402,7 тыс. га), но уступая по данному показателю пшенице (13385,9 тыс. га). Статистические данные продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, демонстрируют что за 20 лет объём производства ячменя в Российской Федерации составил порядка 16,8 млн. тонн зерна (FAO, 2017).

Такая значимость и практически повсеместная распространённость ячменя, прежде всего, обуславливается универсальностью его использования. В зерне содержится достаточное количество белка и крахмала, что делает его хорошей фуражной культурой, способной обеспечить животноводство зелёным и грубым кормом (в размолотом и дроблёном виде) (Берзин, Сурин, 1972; Машкевич, 1974; Verstegen, Köneke, et al., 2014; Сурин, Ляхова, 2017).

В пищевой промышленности зерно ячменя с высоким содержанием белка используются в производстве перловой и ячневой крупы. Особенно ценятся голозёрные формы, которые не редко характеризуются высокими значениями таких признаков как натура зерна, масса 1000 зёрен, а также отличаются большей питательной ценностью, и повышенным содержанием проантоцианидов (антоциани-

динов) являющихся биологическими антиоксидантами (Нейштадт, 1954; Костылев, 1972; Жуковский, 1974; Грязнов, 2014; Белкина и др., 2015). Отмечается, что по содержанию клетчатки, а также ценности белка, перловая крупа превосходит пшеницу (Типсина, Пуляева, 2013). В хлебопечении мука пигментированного голозёрного ячменя может быть использована в смеси с пшеничной мукой, при оптимальном соотношении не более 10% (Летяго и др., 2018).

В пивоварении, как правило, ячмень применяют в качестве солода, беря во внимание содержание белка и крахмала в зерне используемых сортов. Считается, что ячмень с высоким содержанием белков, малопригоден для пивоварения, поскольку он трудно перерабатывается в солод, а также характеризуется меньшим содержанием крахмала, который определяет экстрактивность сусла. В зерне пивоваренного ячменя содержание белка не должно превышать 12% (Голикова, 1981; Сурин, Вчерашний, 1997; Борисова, 2013; Ерошенко и др., 2015; Меледина и др., 2017; Белкина и др., 2017). Согласно сведениям Е.Г. Филиппова (2016), ген *Vrn-H2* оказывает влияние на изменчивость признака содержания белка в зерне, рецессивное состояние которого обуславливает меньшее накопление белка, доминантное – большее, что может быть использовано в селекции, при создании сортов фуражного, крупяного или пивоваренного направления.

Начало введения ячменя в культуру, по мнению И.И. Белякова (1985), датируется X и даже XV тысячелетием до нашей эры, уже тогда зерно ячменя шло на приготовления хлеба и выработки спиртосодержащих и освежающих напитков.

Возделывание ячменя в нашей стране началось также давно, отмечены случаи обнаружения зерна ячменя при раскопках, датирующиеся 3-2 вв. до н.э. (Костылев, 1972).

Первая, дошедшая до наших дней классификация ячменя, была отмечена ещё в трудах древнегреческого естествоиспытателя и философа Теофраста. В основе принципа его классификации, лежит число рядов, образуемых зерновками в колосе (двурядные, трёхрядные, четырёхрядные, пятирядные, шестирядные). Подразделение на двурядные и шестирядные ячмени сохранилось и в современной классификации (Культурная флора..., 1990).

Род *Hordeum* L. состоит из одного вида культурного ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и множества видов дикорастущего ячменя (подрод *Hordeastrum* (Doell) Rouy, объединяющий ячменные травы и представлен секциями: *Stenostachys Nevskiemend.* Trof. – многолетних трав и *Hordeastrum Nevski* – однолетних трав. Считается, что предшественником ячменя культурного была группа сорно-полевых ячменей (*H. spontaneum* C. Koch) (Verstegen, Köneke, et al., 2014; Сухина и др., 2016).

В своих экспедициях Н.И. Вавилов отмечал, что наиболее близкая группа диких ячменей (*H. spontaneum* C. Koch) максимально приблизилась к условиям возделываемого поля, что способствовало облегчению введения неломких форм, с ней связанных, в культуру (Вавилов, 1987). По результатам исследования О.В. Яковлевой (2009), вид *H. spontaneum* C. Koch. характеризуется более высокой устойчивостью к действию токсичных ионов алюминия, чем вид *H. vulgare* L. В целом дикорастущие формы ячменя характеризуются высокой устойчивостью к абиотическим стрессам (засоленности, повышенной кислотности почвы, засухе).

В настоящее время вид ячменя культурного насчитывает 218 ботанических разновидностей (*varietas*, сокращенно – *var.*). Принадлежность ячменя к конкретной разновидности определяется отношением к одному из подвидов – многорядного или двурядного ячменя, а также изменению морфологических признаков колоса (плёнчатость зерна, плотность колоса, ширина колосковых чешуй, остистость и характер остей, окраска колоса). Внутри отдельных разновидностей создаются сорта, отличающиеся своими хозяйственно-биологическими особенностями (Культурная флора..., 1990).

Среди культурного ячменя выделяют несколько подвидов: двурядный, многорядный и промежуточный (Посыпанов, 2007). Данный признак является важным для данной культуры, определяющий количество зёрен в колосе, а также способный оказывать влияние на кустистость растений, массу 1000 зёрен, содержание белка в зерне, длину стеблей и др. (Кобылянский, Фадеева, 1986).

У двурядного ячменя на каждом выступе колосового стержня образуется только один плодущий колосок, два боковых бесплодны. У многорядного ячменя

на каждом выстуге все три колоска являются плодущими, при этом зерновки располагаются в три ряда с каждой стороны. У ячменя промежуточного (*H. intermedium* Vav. et. Orl.) на членике стержня могут нормально развиваться от одного до трёх зёрен, не только у разных колосьев одного растения, но и на разных уступах одного колоса (Кобылянский, Лукьянова, 1990; Вавилов, 1981). По мнению А.А. Грязнова (2007) промежуточные формы весьма незначительны в общем объёме генофонда ячменя культурного и не имеют существенного значения.

Опираясь на записи, представленные в Культурной флоре (1990), а также на таксономическую систему классификации цветковых растений (2009), представленной группой филогении покрытосеменных, классификацию ячменя культурного можно представить следующим образом:

Класс (*classis*) – Однодольные (*Liliopsida, Monocotyledones*)

Порядок (*ordo*) – Злакоцветные, или Мятликоцветные (*Poales*)

Семейство (*familia*) – Мятликовые (злаки) – *Poaceae*;

Подсемейство – Мятликовые (злаковые) – *Pooideae*

Род (*genus*) – Ячмень – *Hordeum* L.

Подрод (*subgenus*) Ячмень – *Hordeum*

Вид (*species*) – Ячмень культурный – *Hordeum vulgare* L.

Подвид (*subspecies*) – Двурядный - *H. distichon* (L.) Körn.

Convarietas *distichon* – группа плёнчатых разновидностей

Convar. *nudum* (L.) A. Trof – группа голозёрных разновидностей.

Подвид (*subspecies*) – Многорядный – *H. vulgare* L.

Convar. *vulgare* – группа плёнчатых разновидностей

Convar. *coeleste* (L.) A. Trof. – группа голозёрных разновидностей

(Культурная флора..., 1990; The Angiosperm Phylogeny Group, 2009).

Культурный ячмень – однолетнее растение ярового и озимого типа, в основном, самоопыляющиеся диплоиды ($2n=2x=14$). Среди дикорастущих ячменей встречаются диплоиды, тетраплоиды ($2n=4x=28$) или гексаплоиды ($2n=6x=42$) (Singh, Jauhar, 2005; Blattner, 2018).

Среди яровых зерновых культур, ячмень – самое скороспелое растение, с вегетационным периодом 80-110 суток (Боме, 2002). По биологическому развитию ячмень различают яровой, озимый, двуручка. В соавторской работе Г.Е. Филиппова (2016) отмечается, что гены *Ppd* и *Vrn* влияют на длину периода всходы-колошение, а также яровизацию. Некоторые сорта двуручки, с доминантным геном *Ppd-H1*, могут быть использованы в селекции ячменя в качестве доноров раннеспелости.

Уборка растений, как правило, проводится в стадии полной спелости, при долгом перестое в зерне ячменя отмечается снижение количества крахмала вследствие усиленного дыхания (Долгачева, 1999).

В разные стадии развития, отношение ячменя к теплу различается. Прорастание семян может проходить при температуре 1-2°C, однако оптимумом для дружных, своевременных всходов является 15-20°C. В дальнейшие фазы роста растений благоприятной температурой является 20-22°C, при созревании – 23-24°C (Посыпанов, 2007).

Как известно, ячмень является более жаровыносливой и засухоустойчивой культурой, переносящей высокие летние температуры легче, чем пшеница, овёс и рожь, тем самым позволяя обеспечивать более высокие урожаи в засушливых условиях в южных и юго-восточных районах. Установлено, что в раннем онтогенезе недостаток влаги (менее 30%) может привести к угнетению деления клеток и прорастания семян, из-за начинающихся процессов гидролиза белков, накапливания промежуточных соединений и аммиака. Дефицит влаги в фазу выхода в трубку или колошения также способен привести к снижению продуктивности растений (Демина, Никитенко, 1973; Никляев, 2000; Полевой, 2001; Родина, 2006; Филиппов, Алабушев, 2014).

В зависимости от вида, сорта и условий произрастания высота стебля ячменя варьирует от 15 до 160 см. Довольно часто на посевах ячменя наблюдается полегание растений, высокий уровень которого может быть связан с морфологическими характеристиками соломины или нарушениями технологии выращивания (увеличение дозы минеральных удобрений по площади и в пахотном горизонте,

несоответствие норм высева семян) (Неттевич, 1974; Баташаева, 2011; Ерешко и др., 2015). Если растения ячменя обладают низкой устойчивостью к полеганию, иногда для решения данной проблемы применяются морфорегуляторы, способные приспособить посеvy ячменя к полеганию (Ващенко, 2012, 2013). Однако эффективным решением данной проблемы остаётся создание устойчивых сортов.

К числу основных факторов, влияющих на химический состав ячменя, относят генотипические особенностей сортов, уровень плодородия почв в районе возделывания, климатические условия вегетационных периодов (Коданев, 1964). В своей работе Н.Н. Типсина и О.С. Пуляева (2013) приводят данные о том, что зерно ячменя на 80-88% состоит из сухого вещества (СВ), и на 12-10% из воды, цветковая плёнка занимает от 6 до 17% от массы зерна. В свою очередь, сухое вещество содержит, как органические соединения (углеводы, белки, жиры, полифенолы, органические кислоты, витамины и др.), так и неорганические вещества (йод, фосфор, цинк, калий, натрий, магний, кальций, железо и др.). Немаловажная роль в жизненных процессах клеток, а также всего растительного организма, принадлежит белкам, которые, как правило, имеют сложный химический состав. В среднем в ячмене содержится от 7 до 28% белка, который в своём составе содержит такие ценные аминокислоты, как лизин и триптофан. Среди углеводов (65-73% на СВ) выделяются крахмал, целлюлоза, гемицеллюлоза, пектиновые вещества и др. Содержание растворимых в эфире жиров (липидов) в среднем составляет 2% от СВ, клетчатки – 2,4-3,5%, золы – 2-3%. В состав ячменя входят витамины Д, А, РР, В₁, В₂ (Голикова, 1981; Боме, Логинов, 2002; Типсина, Пуляева, 2013; Фатыхов и др., 2016).

1.2. Основные признаки ботанических разновидностей ячменя

В основе определения конкретной ботанической разновидности культурного ячменя лежат внешние морфологические признаки колоса. На первом этапе идентификации разновидности, необходимо определить принадлежность к одному из подвидов – многорядного или двурядного ячменя. Число плодущих колосков на каждом выступе колосового стержня позволяет отнести исследуемую фор-

му к подвиду двурядного или многорядного ячменя (Кобылянский, Лукьянова, 1990; Грязнов, 2007). Считается, что в ячмене главным геном контролирующим рядность колоса является *Vrs1*. В нормальном, функционирующем состоянии, данный ген обеспечивает проявление фенотипа с двурядным колосом. В случае, когда в работе гена происходит мутация, можно наблюдать формы с шестирядным колосом (Alqudah et al., 2016).

Согласно определителю внутривидовых таксонов ячменя А.А. Грязнова (2007), среди двурядных ячменей выделяются две основные группы разновидностей: 1. тип нутация (*nutantes*), с наличием колосковой, цветковой чешуи и пыльников, без завязи; 2. тип дефициенция (*deficientes*) – колосок представлен лишь колосковыми чешуями. Цветковые чешуи, пыльники, завязи отсутствуют. В основе данного распределения на группы лежит признак редукции боковых бесплодных колосков.

К числу признаков, по которым многорядный и двурядный ячмень можно отличить друг от друга, является выравненность зерна. При этом, если зёрна двурядного ячменя имеют симметричное строение, и по размерам они незначительно различаются по всей длине колоса, что обусловлено свободным расположением их на уступе колосового стержня, то для многорядных форм характерна невыравненность зерна. У многорядного ячменя симметричными и более крупными являются зёрна, находящиеся в середине каждой тройки колосков, а боковые зёрна обычно значительно мельче и не симметричны, поскольку искривлены в своем основании. Несимметричных зёрен обычно больше. Описанное явление используют для определения подвида ячменя у обмолоченного зерна: образец ячменя, в котором все зёрна симметричные, определяется как двурядный; образец, в котором 40% и меньше симметричных зёрен относится к многорядному ячменю; образец ячменя, в котором более 40% симметричных зёрен, представляет смесь двурядного и многорядного подвидов (Боме, Логинов, 2002).

Плёнчатость зерна, также является одним из главных признаков при определении разновидности. Выделяют разновидности с плёнчатым и голым зерном. В культуре преобладают формы с плёнчатым зерном, у которых цветковые чешуи

срастаются с зерновкой и при обмолоте последние не освобождаются из чешуи. У голозёрных ячменей цветковые чешуи не срастаются с зерновкой, и при обмолоте выпадает голое зерно (Грязнов, 2007, 2017; Белкина и др., 2017).

Группа голозёрных ячменей по ряду качественных показателей превосходит формы с плёнчатым зерном. Например, они отличаются повышенным содержанием белка, незаменимых аминокислот и β -глюканов, в связи с этим использование такого зерна в кормовых целях повышает его кормовое достоинство и исключает необходимость добавки дополнительных компонентов. С точки зрения экономической эффективности, отсутствие плёнок облегчает работу по обработке и переработке такого зерна. Однако отмечается, что голозёрный ячмень имеет ряд отрицательных свойств: слабая устойчивость к полеганию, относительно низкая полевая всхожесть, восприимчивость к грибным болезням (Ходьков, 1985; Грязнов, 2007, 2017; Тяглый и др., 2009).

Плотность колоса всходит в число важных признаков разновидностей. По строению, различают плотные и рыхлые колосья. Они определяются числом членников на 4 см средней части колосового стержня. При насчитывании от 7 до 14 членников, колос считается рыхлым, 15-19 – плотным, от 20 и более – очень плотным (Грязнов, 2007).

Наряду с вышеупомянутыми признаками, большое значение имеет остистость колоса. Существуют остистые, безостые и фуркатные формы ячменя. В работе И.Л. Никифоровой (1976) приводятся сведения о генах, определяющих признаки остистости, безостости, а также фуркатности ячменя. Показано, что фуркатность и остистость определяются двумя парами генов *K* и *Lk*, и для фуркатности необходимо наличие двух доминантных генов. Считается, что фуркатность является доминирующим признаком над остистостью и безостостью. Образование коротких остей связано с серией генов *lk*, *lk2*, *lk4*, *kl*, а также генами *lk6*, *lk3*, при этом гены *Lk6*, *Kl* в доминантном состоянии определяют длинные ости. Фенотипическое проявление нормальных или «сидячих» фурок зависит от гена *Sk*, в то время как фурки «на ножках» определяются геном *ke*. Установлено, что гены *Lr* и *Lr2* играют роль в развитии остей на боковых колосках у многорядных ячменей.

Характер остей определяется наличием или отсутствием зубчиков по краям остей, если зубчики ясно выражены по всей длине ости, тогда ость считается зазубренной, при зазубренности только верхней части, ость считается гладкой. Также ости характеризуются различиями по расположению и длине на колосках, могут быть прямыми или извилистыми, простыми или трёхраздельными, идти параллельно колосу или расходиться веером (Майсурия, 1970; Грязнов, 2007).

Такой признак как окраска цветочных и колосковых чешуй имеет значимое место в определении разновидностей ячменя. Как правило, окраска остей и фурок идентична окраске колоса, однако имеются случаи, когда ости могут иметь иной цвет. В качестве примера А.А. Грязнов (2007) приводит черноколосые формы, ости которых могут иметь серовато-жёлтый цвет.

В работе О.Ю. Шоевой в соавторстве (2018) показано, что помимо зелёной окраски, вегетативные органы ячменя способны приобретать красно-фиолетовый цвет, зерно ячменя может иметь фиолетовую, красно-коричневую окраску, благодаря участию флавоноидов (антоцианов, проантоцианидинов). Чёрную окраску чешуй колоса и зерна придают меланиновые пигменты, образование данного цвета контролируется геном *Blpl*, при этом доминантные аллели *Blpl.b* (*B*), *Blpl. Mb* (*B^{mb}*), *Blpl.g* (*B^g*) определяют насыщенный чёрный, тёмный и серый цвет зерновки.

Отмечается, что голубая пигментация алейронового слоя определяется доминантным состоянием всех генов *Blx*, однако *blx4*, в гомозиготном состоянии способен приводить к смене голубой на розовую окраску. Развитие фиолетовой окраски зерновки связано с влиянием генов *Pre1*, *Pre2*, контролирующих пигментацию цветковой чешуи и перикарпа ячменя, при этом, установлена сцепленность локусов *Pre2* и *Ant2*, последний демонстрировал ассоциацию с окраской ушек, остей и жилок чешуй колоса. Также в формирование фиолетовой окраски зерна вклад вносит ген *Ant1*. При этом сообщается, что гены *Ant1*, *Ant2*, участвуют в окраске вегетативных органов (Шоева и др., 2018).

Окраска зерновок определяется лишь у голозёрных ячменей, и в ряде случаев она может не совпадать с окраской цветковых чешуй, т.е. с окраской колоса.

При неблагоприятных погодных условиях, а также при неправильных условиях хранения окраска колоса, зёрен может изменяться (Грязнов, 2007).

1.3. Значимость изучения и сохранения исходного материала

Генетические ресурсы растений составляют основу продовольственной безопасности каждой страны, однако серьёзную угрозу устойчивого развития сельского хозяйства представляет генетическая эрозия.

Основными факторами окружающей среды, ограничивающими производительность сельскохозяйственных растений во всем мире, являются засуха, засоление почв, температурные колебания. Неблагоприятные последствия стрессов усугубляются изменением климата и непредсказуемостью погодных условий (Porter, Semenov, 2005).

По существующим прогнозам, к середине XXI века имеется вероятность утраты до 60% видового состава растений. В научных кругах широко обсуждается проблема сокращения генетического разнообразия возделываемых культур, поскольку современные сорта ряда сельскохозяйственных растений имеют узкую генетическую основу, базирующуюся на ограниченном количестве исходного материала, что в свою очередь отражается на уменьшении возможности обеспечения потребителей разнообразными и высококачественными продуктами питания (Алексабян, 2007; Дзюбенко, Потокина, 2009; Mark van de Wouw, 2010; Современные методы..., 2011; McCouch et. al., 2013). О проблеме потенциальной генетической эрозии в селекции ячменя в северном регионе Европы говорится в работах Kolodinska Brantestam A. (2005, 2009). В связи с чем, выявление новых ресурсов для увеличения генетического разнообразия культурных растений не теряет своей актуальности.

В данных условиях, особенно остро ощущается необходимость бережного сохранения существующего биоразнообразия. Для решения этой задачи большая роль принадлежит мобилизации растительных ресурсов культурных и диких видов в коллекции *exsitu* в сети генбанков по всему миру (Алексабян, 2007).

Всего мировой генофонд растений насчитывает около 7 млн. образцов, находящихся в 1750 генбанках, из которых 130 имеют коллекции, превышающие 10 тыс. образцов. К числу стран, с наибольшим количеством растительного материала в генбанках относятся США (свыше 500 тыс.), Китай (более 390 тыс.), Индия (около 360 тыс.), Япония (более 240 тыс. образцов) (СИММИТ, ИКАРДА, СИАТ и др.). Крупнейшее хранилище семян располагается в Норвегии, где в условиях вечной мерзлоты хранится более 400 тыс. (Дзюбенко, 2012; Коновалов и др., 2013; Sato, Flavell et al., 2014).

Отдельно стоит выделить один из крупнейших мировых генных банков, расположенный на территории России, в котором сосредоточена уникальная коллекция генетических ресурсов дикой и культурной флоры (свыше 320 тыс. образцов) – «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР) (Country report..., 2007; Коновалов и др., 2013). Число образцов ячменя различного географического происхождения составляет порядка 18 тыс. (Пыльнев и др., 2005; Лоскутов, 2009).

Огромный вклад в создание стратегии сохранения, пополнения и использования коллекции генетических ресурсов растений принадлежит выдающемуся российскому учёному – Николаю Ивановичу Вавилову (1887-1943). За свою жизнь Н.И. Вавиловым было организовано множество экспедиций в разные страны мира, в которых собранные образцы послужили основой уникальной коллекции различных сельскохозяйственных растений. Его научная деятельность была направлена на сбор данных, изучение и использование в практической селекционной работе мирового генофонда культурных растений и их сородичей, с целью создания принципиально новых сортов культурных растений, отличающихся высокой устойчивостью к неблагоприятным условиям внешней среды, а также высокой продуктивностью, тем самым решая проблему нехватки продуктов питания не только для своей родины, но и для всего человечества (Николай Иванович Вавилов..., 1997; Драгавцев, 2012).

Кроме того, была дана описательная характеристика растений пяти континентов, установлены районы с особенно высоким уровнем генетического разно-

образия, что в итоге отразилось в организации учения о центрах происхождения культурных растений, и выделении семи основных центров происхождения культурных растений: Южноазиатский тропический; Восточноазиатский; Юго-западноазиатский; Средиземноморский; Эфиопский; Центральноамериканский; Андийский (Гончаров, 2007). Дальнейшие работы многих исследователей в данной области приносили свои коррективы, так, например, П.М. Жуковским (1974) при изучении культурных растений и их сородичей выделено 12 генцентров: Китайско-японский; Индонезийско-индокитайский; Австралийский; Индостанский; Среднеазиатский; Переднеазиатский; Средиземноморский; Африканский; Европейско-сибирский; Центральноамериканский; Южноамериканский; Североамериканский.

Уникальная коллекция генетического разнообразия ячменя (состоящая из 150 ботанических разновидностей) была собрана в ходе многолетней работы с мировым генофондом ячменя сотрудниками отдела генетических ресурсов овса, ржи, ячменя под руководством Александры Яковлевны Трофимовской (1903-1991) (Лоскутов, 2009).

Коллекционные образцы, сосредоточенные в генбанках, являются основным источником исходного материала для обеспечения селекционных программ по созданию новых конкурентоспособных сортов. Для селекции необходимо иметь объективную и подробную характеристику исходного материала по комплексу хозяйственно-ценных признаков (Ерошенко, 1999; Тарануха, 2009; Щенникова и др., 2013; Сурин и др., 2014, 2015; Ерошенко, Левакова, 2014; Герасимов, 2017).

Существенный вклад в изучение адаптивного потенциала исходного материала для селекции ячменя в Сибири, разработку эффективных технологий в селекционном процессе вносят работы учёных Красноярского НИИСХ, и в первую очередь селекционером по ячменю, академиком Николаем Александровичем Суриным (Сурин, 1977, 2011; Сурин, Ляхова, 1993, 2001; Сурин, Зобова, 2007; Сурин и др., 2014).

В исследованиях Н.И. Вавилова прослеживается идея о том, что местные формы, произрастающие долгое время в определённых условиях, адаптированы к

стрессовым факторам данной территории, и, несомненно, являются основой для селекции. Мировые ассортименты, включающие всё разнообразие генетических ресурсов данной культуры, могут обладать важными и искомыми селекционно-ценными признаками, иметь большой потенциал продуктивности и конкурировать с лучшими селекционными сортами. В связи с чем, такой материал также должен быть всесторонне изучен и вовлечён в селекционный процесс (Вавилов, 1966).

Внимание исследователей привлекают дикие сородичи культурных растений из коллекций генетических банков, так как в ряде случаев они обладают повышенной адаптивной способностью к стрессовым факторам среды и могут быть потенциальным источником неиспользованных генетических вариаций (Лошаков, Лошакова, 2017; Roumosrat et al., 2018). Такой генетический коллекционный материал растений подлежит всестороннему изучению и использованию в качестве ценного источника для селекции и интродукции.

В селекции растений увеличение генетического разнообразия культурных растений достигается за счёт применения классических и современных методов. Рекомбинационная изменчивость у новых и улучшенных форм растений продолжительное время достигалась при помощи гибридизации (Беккер, 2015). Улучшение ряда сельскохозяйственных культур за счёт применения естественного или индуцированного генетического разнообразия является проверенным гарантом получения нового перспективного селекционного материала (Martin, 2009). Индуцированный мутагенез даёт возможность создавать неизвестные до сих пор аллели (Raina et al., 2016). При этом наибольшие успехи отмечены в изменении продолжительности вегетационного периода, устойчивости к болезням, абиотическим и биотическим стрессам, а также в продуктивности, что обуславливает значимость и необходимость проведения исследований по созданию индуцированных мутаций растений в сложных, нередко экстремальных условиях Западной Сибири.

1.4. Химический мутагенез, как метод расширения биоразнообразия

Перспективным направлением в расширении генетического разнообразия растений является индуцированный мутагенез, с помощью которого удаётся получить новые формы растений с ценными количественными и качественными признаками. Полученные мутанты могут быть использованы в селекции в качестве исходного материала или же быть выделенными в качестве отдельного мутантного сорта и быть внедрены непосредственно в производство (Володин и др., 1989; Козаченко, 1993; Mba et al., 2013).

Возможность искусственной или спонтанной индукции с помощью мутагенов форм растений, отсутствующих в природе имеют научное значение (Рапопорт, 1984, 1991). Экспериментальный мутагенез является методом, основывающимся на выявлении и использовании индуцированных мутаций, применение которого находит широкое применение на многих сельскохозяйственных культурах, поскольку он способен обеспечить достаточно высокий выход хозяйственно-ценных форм (Петров, 1980; Шевцов и др., 1993). При создании сортов сельскохозяйственных культур ещё более востребованными могут стать индуцированные мутации, связанные с изменениями таких свойств как содержание и качество крахмала, белка, отдельных аминокислот; более глубокая корневая система, обеспечивающая устойчивость к засухе; устойчивость к засолению почв, болезням (Ahloowalia et al., 2004).

Во всём мире активно применяются методы индуцированного мутагенеза. Общее число сельскохозяйственных сортов, созданных при помощи различных видов мутагенов, насчитывает свыше 3 тыс., при этом на долю зерновых культур приходится более 1,5 тыс. выведенных и возделываемых сортов (FAO, 2015). Большая часть успешно выращивается в таких странах как Китай, Япония, Индия, Германия, США и другие (Raina et al., 2016). Что касается Российской Федерации, то по данным FAO (2018), лидером по количеству мутантных сортов является мягкая яровая пшеница (36), у ячменя число сортов, созданных при помощи мутагенов, составляет 29. В сельскохозяйственной зоне Тюменской области среди районированных мутантных сортов нет.

Экспериментальный мутагенез в сочетании с другими методами селекции, служит базой, обеспечивающей создание новых перспективных форм растений, которые с успехом конкурируют с существующими сортами. Поэтому следует считать индуцированный мутагенез экспериментально обеспечивающим генетическое разнообразие растений, то есть их наследственную изменчивость.

Применение химического мутагенеза в нашей стране тесно связано с именем Иосифа Абрамовича Рапопорта, показавшего мутагенное действие формальдегида и его производных на личинок дрозофилы, а в дальнейшем указавшего на возможность применения химических мутагенов в селекции растений. Среди изученных им химических веществ (около 300) для селекционных целей он выделял этилинемин, нитрозоэтилмочевину, нитрозометилмочевину, диметилсульфат, диэтилсульфат, 1,4-бис-диазоацетилбутан и другие супермутагены (Рапопорт, 1993, 1996; Эйгес, 2013, 2014).

На практике применение данного метода наиболее целесообразно использовать, при необходимости устранения определённых недостатков у имеющихся сортов, либо для получения исходного материала с нужными признаками и свойствами (Прийлинн, Шнайдер, 1984). Для селекции ячменя используются различные мутагены, к числу которых можно отнести этилметансульфонат (ЭМС), гисфен (МД-2) (Шукене, Ширмулите, 1980), нитрозоэтилмочевину (НЭМ) (Кузнецова и др., 2014); азид натрия (Лаштабова и др., 2017) и многие другие химические вещества в различных концентрациях.

Однако дальнейшее развитие мутационной селекции может быть связано с применением уже известных химических супермутагенов, или открытием новых веществ, обладающих высокой мутагенной активностью. Среди которых выделяют хиральные стереоизомеры, используемые при производстве гербицидов, инсектицидов, фунгицидов (Моргун и др., 2013); протравители семян, являющиеся «мягкими мутагенами» (Помелов, Зелененко, 2010). В настоящее время исследования по химическому мутагенезу направлены на изучение новых эффективных концентраций, экспозиций и способов воздействия.

Полученные данным методом мутантные сорта имеют экономическую значимость (Ahloowalia et al., 2004). Например, мутантный короткостебельный и высокоурожайный сорт ячменя Диамант из Чехии обеспечил дополнительный доход в пивоваренной промышленности, на основе которого было получено более 150 сортов ячменя в нескольких странах Европы, Северной Америки и Азии.

В России одними из первых районированных мутантных сортов ячменя, являются Темп и зимостойкий Дебют, полученные в Краснодарском НЦЗ им. П.П. Лукьяненко. Следует отметить, что большинство мутантов, давших начало сортам, получено как побочный материал при различных теоретических разработках (Володин и др., 1989). В работе В.М. Шевцова с соавторами (1984), показано, что полученные новые признаки у мутантных сортов не оказали отрицательного влияния на удачном сочетании других признаков, а лишь его дополнили.

Метод химического мутагенеза можно считать действенным средством генетической реконструкции сельскохозяйственных растений, увеличения их продуктивности и повышения устойчивости к неблагоприятным факторам среды, что подтверждается передачей в государственное сортоиспытание и внесением в Государственный Реестр сортов, допущенных к использованию в производстве полученных с помощью химического мутагенеза: Факел, Темп, Новатор, Дебют, Арараты 7, Каскад, Широколистный, Аккорд, Харьковский 84, Радикал, Витим, Вавилон, Скороход, Тайлер, Бастион, Мамлюк, Секрет, Добрыня-3, Стимул, Хуторок (FAO, 2018).

В условиях Западной Сибири эффективность применение химического мутагенеза для создания селекционно-ценных форм растений яровой и озимой мягкой пшеницы показана в работах Р.И. Рутца (1992, 1998), Н.А. Поползухиной (2003, 2004, 2017), Л.А. Кротовой (2009, 2010, 2015), Рипбергер, Боме (2014), при этом получены новые сорта яровой и озимой пшеницы, озимой ржи устойчивых к неблагоприятным условиям внешней среды Западной Сибири.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

2.1. Объекты и методы исследования

Исследование проведено в 2015-2018 гг. на кафедре ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Института биологии Тюменского государственного университета (ТюмГУ). Полевая часть работы выполнена на экспериментальном участке биостанции ТюмГУ «Озеро Кучак», расположенной в Нижнетавдинском районе Тюменской области.

Почва участка окультуренная, дерново-подзолистая супесчаная. Почвенный анализ проведён на базе лаборатории «Экотоксикологии» Тобольской комплексной научной станции Уральского отделения РАН. Отбор проб выполнен в соответствии с ГОСТ 28168-89. Валовое содержание элементов в образцах почвы определено атомно-эмиссионным методом на спектрометре OPTIMA-7000DV. Содержание химических элементов в почве проведено в соответствии с гигиеническими нормативами.

Кислотность в солевой вытяжке почвы экспериментального участка составила 6,6 – близкая к нейтральной (ГОСТ 26423-85).

Содержание гумуса 3,67%. Сухой остаток – 0,47%, в норме 0,30% (ГОСТ 26423-85). Количество анионов составило (мг•экв): Cl^- (ГОСТ 26425-85, п.1) – $0,43 \pm 0,00$; SO_4^{2-} (ГОСТ 26426-85) – $0,2 \pm 0,00$; HCO_3^- (ГОСТ 26424-85) – $0,23 \pm 0,01$. Катионов (мг•экв): Mg^{2+} (ГОСТ 26487-85) – $1,66 \pm 0,04$; Ca^{2+} (ГОСТ 26487-85) – $6,86 \pm 0,06$. Содержание биогенных веществ (мг/кг): NH_4^+ (ГОСТ 26489-85) – $19,5 \pm 0,12$; NO_2^- (ГОСТ 26107-84) – $9,15 \pm 0,73$; NO_3^- (26488-85) – $18,8 \pm 0,32$; H_2PO_4^- и HPO_4^- (ГОСТ 26207-84) – $433,3 \pm 34,51$. Валовое содержание макро- и микроэлементов (мг/кг): As - 2,09; Ca – 3362,33; Cd – 25,02; Co – 17,52; Cr – 92,27; Cu – 55,41; Fe – 3553,51; Mg – 1125,37; Mn – 382,64; Mo – 68,61; Ni – 61,84; Pb – 38,99; Sr – 29,69; Zn – 402,52.

**Опыт 1. Оценка коллекционных образцов ячменя *Hordeum vulgare* L.
по комплексу селекционно-ценных признаков**

Исследование проведено в 2015-2017 гг. Объектом послужила коллекция ячменя культурного (*Hordeum vulgare* L.), состоящая из 146 образцов различного эколого-географического происхождения (рис. 1).

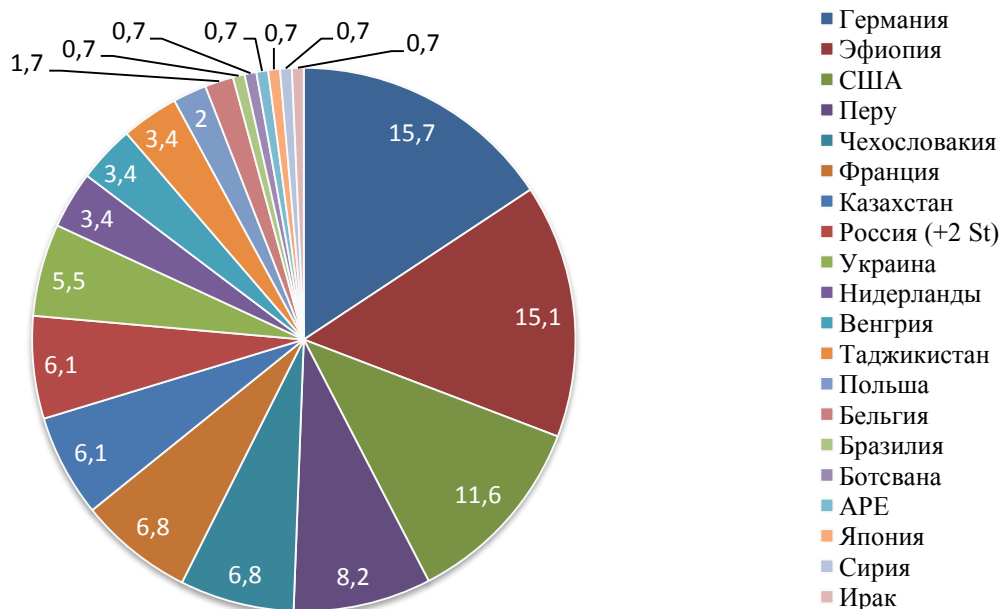


Рисунок 1 - Географический анализ коллекции ячменя, %.

Большая часть материала получена из мировой коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР), 6 образцов из Научно-производственного центра зернового хозяйства им. А.И. Бараева (Казахстан). В качестве стандартов взяты 2 сорта (Ача и Абалак – var. *nutans*), рекомендованные к выращиванию в Тюменской области (прил. 1).

В целом, изученные образцы ячменя представлены 20 странами. Ведущими по числу образцов являются Германия и Эфиопия, включающие 23 (15,7% от общего числа изученных образцов) и 22 (15,1%) образцов соответственно. Из США и Перу в исследовании было 17 и 12 образцов соответственно, Чехословакии и Франции – по 10. На долю Российских образцов приходилось 6,1% (9 шт.) от всего изучаемого сортимента. Образцов из Казахстана – 9; Украины – 8; Нидерландов, Венгрии и Таджикистана – по 5; Польши – 3; Бельгии – 2. Такие страны как

Бразилия, Ботствана, АРЕ (Арабская Республика Египет), Япония, Сирия и Ирак представлены одним образцом каждая.

Коллекционный материал представлен 40 ботаническими разновидностями, относящимися к двум подвидам ячменя: двурядный – *distichon* (L.) Körn. и многорядный – *vulgare* (прил. 2).

К подвиду двурядного ячменя относятся 18 ботанических разновидностей: *colonicum* (колоникум, сельский), *compositum* (комполитум, сложный), *dupliatrum* (дуплиатрум, дважды чёрный), *erectum* (эректум, прямостоячий), *griseinudiinermis* (гризеинудиинерме, серый голый безоружный), *macrolepis* (макролепис, крупночешуйчатый), *medicum* (медикум, лечебный), *neogenes* (неогенес, новорождённый), *nigricans* (нигриканс, чернеющий), *nigrinudum* (нигринудум, чёрный голый), *nudum* (нудум, голый), *nutans* (нутанс, поникающий), *rehmii* (рехмии), *rimpauii* (римпауи), *rubrum* (рубрум, красный), *subinermis* (субинерме, почти инерме), *steudelii* (стеуделии), *tetranutans* (тетранутанс).

К подвиду многорядного ячменя относятся 22 ботанические разновидности: *acachicum* (акахикум), *afghanicum* (афганикум, афганский), *atrispicatum* (атриспикатум, черноколосый), *brachyatherum* (брахиатерум, короткоостистый), *coeleste* (целесте, небесный), *cornutiforme* (корнутиформе, рогообразный), *duplinigrum* (дуплинигрум, дважды чёрный), *harlani* (харлани), *himalayense* (гималайензе, гималайский), *hypatherum* (гипатерум, полуостистый), *nigrum* (нигрум, чёрный), *nigripallidum* (нигрипаллидум, чёрный паллидум), *pallidum* (паллидум, блеклый), *parallellum* (параллелюм, параллельный), *platilepis* (платилепис, плоскочешуйчатый), *revelatum* (ревелятум, открытый), *rikotense* (рикотензе, рикотский), *schimperianum* (шимперианум), *sinicum* (синикум, китайский), *tibetanum* (тибетанум, тибетский), *trifurcatum* (трифуркатум, трёхвильчатый), *violaceum* (виоляцеум, фиолетовый). Описание разновидностей ячменя культурного (*Hordeum vulgare* L.) проведено согласно Культурной флоре (1990) и Определителю внутривидовых таксонов ячменя культурного (Грязнов, 2007).

Закладка полевого опыта, учёты и наблюдения выполнены в соответствии с методическими указаниями ВИР по изучению и сохранению коллекции ячменя

(2012) и методике полевого опыта Б.А. Доспехова (2014). Посев проведён на делянках площадью 1 м², междурядье 15 см, глубина заделки семян 5-6 см. Высевалось по 500 семян на 1 м². Стандарты размещались в начале и в конце коллекции, а также через каждые 18 образцов. Общее количество делянок составило 164.

В вегетационный период определяли полевую всхожесть семян, биологическую устойчивость и выживаемость растений. Полевую всхожесть рассчитывали, как процентное отношение числа появившихся всходов к числу высеянных всхожих семян (Ижик, 1976). Под биологической устойчивостью понимается способность растений противостоять комплексу факторов окружающей среды в течение всего вегетационного периода. Данный показатель выражали в процентном отношении числа растений, сохранившихся к уборке к числу высеянных всхожих семян (Гужов и др., 2003). Выживаемость растений определяли, как отношение сохранившихся к уборке растений, к числу полных всходов, выраженное в процентах (Голочаев, Кириловская, 1989).

Описание морфологических признаков, проводили в соответствии с Международным классификатором рода *Hordeum* L. (1983).

В фазу колошения учитывали такие параметры как высота растений, количество листьев на стебле, длина и ширина флагового и второго листьев, а также длина колоса с остями и без остей. Высоту растений на делянках измеряли от поверхности почвы до вершины колоса (с остями). Оценка устойчивости растений к полеганию проводилась в течение всего вегетационного периода визуально согласно международному классификатору по девятибалльной шкале (в баллах): 1 балл – очень низкая (растения лежат на земле в разных направлениях, колосья лежат на земле или на других растениях); 3 балла – низкая (растения изогнуты в нижней части соломины, почти лежат на земле); 5 баллов – средняя (растения наклонены, часть находится почти в горизонтальном положении); 7 баллов – высокая (растения стоят вертикально, соломина слегка наклонена с середины последнего междоузлия); 9 баллов – очень высокая (растения не полегают, стоят вертикально вместе с колосом или колос слегка поник).

Расчет площади листовой пластинки произведён по формуле В.В. Аникеева и Ф.Ф. Кутузова (1961), где $S = L \times D \times 0,67$, где S – площадь листа, см²; L – длина листа, см; D – ширина листа, см; 0,67 – коэффициент пересчета.

В фазу выхода в трубку, определяли содержание хлорофилла в клетках флагового листа при помощи оптического счетчика SPAD – 502 (Minolta Camera Co, Ltd, Токио, Япония). Определение содержания хлорофилла в листьях происходит за счёт измерения спектрального поглощения в двух диапазонах спектра, соответствующих поглощению хлорофилла. На основании этих данных рассчитывается числовое значение SPAD, которое пропорционально содержанию хлорофилла в листьях. Число проанализированных листьев по каждому образцу составило 10 растений, всего проанализировано 1640 листьев.

Измерение SPAD основано на оптической плотности, рассчитанной по поглощению листа на длине волны 650 нм (максимальное поглощение хлорофиллов a и b) и оптической плотности при 940 нм с учётом толщины листа. Перед началом измерения проводили калибровку прибора. Определяли хлорофилл в листьях верхней части типичных растений каждого образца. Серединную часть листовой пластинки располагали на нижней части прибора, зажимали на несколько секунд до появления числового значения. Прибор автоматически запоминает все показания и высчитывает среднее значение хлорофиллового индекса.

При оценке устойчивости растений к тёмно-бурой листовой пятнистости использовали показатель «процент поражения листовой поверхности». При оценке образцов по степени поражённости листьев и устойчивости к болезни использовали шкалу Э.Э. Гешеле (1978) и градацию международного классификатора СЭВ (1984). Характеристика образцов по устойчивости к болезням проведена в соответствии с Международным классификатором рода *Hordeum* L. (1983).

Уборка проведена в конце фазы восковой спелости – начале полной вручную выдергиванием растений с корнем. В период уборки проведён подсчёт сохранившихся растений и стеблей (общих и продуктивных). Для анализа элементов структуры урожая образцы были перевезены в лабораторию Института биологии Тюменского государственного университета для обмолота и дальнейшего

анализа. В лабораторных условиях проведён учёт массы зерна с 1 м². Масса зерна с растения рассчитывалась делением массы зерна с 1 м² на число растений (Методическими указаниями ВИР..., 2012). Масса 1000 зёрен определялась по двум навескам из 500 зёрен (ГОСТ-12042-80).

Опыт 2. Изучение влияния химического мутагена фосфемиды на агро-биологические признаки.

В качестве объекта исследования взяты три образца из коллекции ячменя (Зерноградский-813 (к-30453) Россия, var. *erectum*; Dz02-129 (к-22934) Эфиопия var. *nigripallidum*; С.И. 10995 (к-30630) Перу, var. *sinicum*), различающиеся по происхождению, морфологическим признакам и биологическим свойствам.

Обработка семян, посев, учёт и наблюдения проведены согласно Практикуму по росту и устойчивости растений (2001), а также в соответствии с методическими указаниями, изложенными Л.И. Вайсфельд (2010, 2016). Сухие семена обрабатывались водным раствором препарата фосфемид в концентрациях 0,002% ($2 \cdot 10^{-3}M$) и 0,01% ($1 \cdot 10^{-2}M$), экспозиция 3 часа. Затем семена промывали в проточной водопроводной воде в течение 40 мин. В качестве контроля использовали семена, выдержанные в дистиллированной воде.

На полевой эксперимент, для каждого образца брали по 300 семян. Для получения первого поколения (M_1) посев каждого варианта осуществляли по 25 семян в 4-кратной повторности на делянках с длиной рядка 1 м, число рядков 2, междурядье 15 см, глубина посева 5-6 см, расстояние между растениями в рядке 10 см. Растения M_1 убраны индивидуально.

Посев второго поколения (M_2) проводили семьями по 20 семян в каждой, потомство колосьев с растений M_1 . Всего высеяно 286 семей.

На поколение M_3 высевались семена по 20 шт., собранные с растений во втором поколении, имеющих фенотипические отклонения от исходного образца. Семена с изменённых растений высевались семьями. Всего высеяно 112 семей или 217 растений. В третьем поколении (M_3) учитывали процент семей, в которых чётко наследовался изменённый признак.

В вегетационный период в поколениях M_1 , M_2 , M_3 определяли полевую всхожесть семян и выживаемость растений в контрольных и опытных вариантах. Проведён учет морфологических признаков: высота растений, устойчивость растений к полеганию, длина колоса (с остями и без остей). В лабораторных условиях проведен анализ элементов структуры продуктивности: число продуктивных стеблей, масса зерна растения и колоса, а также масса 1000 зёрен.

Путем визуальных наблюдений и описания растений второго поколения (M_2) в процессе их вегетации были отобраны измененные по морфологическим признакам и биологическим свойствам формы в контрольных и обработанных мутагеном популяциях сортов.

Определение содержания крахмала в зерне ячменя выполнено в соответствии с ГОСТ 10845-98, определение влажности зерна согласно ГОСТ 13586.5-93. Переработка зерна ячменя на крахмал и побочные продукты осуществлялось сернистокислотным методом во ВНИИ крахмалопродуктов филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН.

Опыт 3. Изучение агроэкологического эффекта формирования семян на выраженность селекционно-ценных признаков ячменя.

Исследование проведено в 2016-2017 гг. на сортах ячменя, выращенных на опытных полях шести Государственных сортоиспытательных участков (ГСУ) Тюменской области (Нижнетавдинский, Аромашевский, Ялуторовский, Омутинский, Ишимский, Бердюжский), расположенных в четырёх агроэкологических зонах Тюменской области:

I зона – тайга низменности (таёжная, прохладная, хорошо увлажненная). ГСУ: Нижне-Тавдинский (с. Киндер), Аромашевский (р.п. Аромашево);

II зона – подтайга низменности (подтаёжная, умеренно-прохладная, достаточно увлажненная). ГСУ: Нижне-Тавдинский (с. Киндер), Аромашевский (р.п. Аромашево);

III зона – северная лесостепь низменности (северная лесостепная, умеренно-теплая, недостаточно увлажненная). ГСУ: Ялуторовский (с. Зиново), Омутинский (д. Кашевская), Ишимский (с. Мизоново);

IV зона – южная лесостепь низменности (южная лесостепная, теплая, засушливая). ГСУ: Бердюжский (с. Полозаозерье).

Изучено 13 сортов: Бейсик, Татум, Чероки, Помпе, Саломе, Сольдо, Абалак, Атико, Лаурика, Фабиола, Ача, Ворсинский, Челябинский 99. Используются семена двух репродукций 2015 и 2016 гг. Набор сортов в полевом испытании совпал с ГСУ. Закладка опыта по изучению агроэкологического эффекта на селекционно-ценные признаки ячменя выполнена в соответствии с методикой государственного сортоиспытания (1989). Анализ, статистическая обработка и обобщение данных шести ГСУ за 2015-2017 гг. проведены на основе материалов по сортовому районированию сельскохозяйственных культур и результатов сортоиспытания по Тюменской области (Выдрин, Федорук, 2015, 2016, 2017).

Статистическая обработка экспериментальных данных по поставленным опытам выполнена методами дисперсионного и корреляционного анализов (Доспехов, 1985, 2014; Лакин, 1990), с использованием программного обеспечения STATGRAPHICS, STATISTICA 7 (StatSoft). Для средних величин рассчитаны стандартная ошибка (S_x), коэффициент вариации (CV, %), достоверность различий по критерию Стьюдента. Построение диаграмм «ящик с усами» проведено по методике Джона Тьюки, изложенной в работе A. Field et al. (2012).

2.2. Агроклиматическая характеристика Тюменской области

Территория Тюменской области (1464,2 тыс. км²) расположена в основном в бассейне нижнего течения рек Оби и Иртыша, в пределах Западно-Сибирской низменности (Агроклиматические ресурсы..., 1972; Официальный портал..., 2017). Открытая с севера и юга равнина подвержена сильному влиянию внешних воздействий, что способствует резким и неожиданным переходам от тепла к холоду, а также резким колебаниям среднесуточных температур (Иваненко, Кулясова, 2008).

Климат области можно характеризовать как континентальный, что обусловлено его формированием под влиянием воздушных масс азиатского материка и атлантических масс, приводящих к резким изменениям погоды. При этом отмеча-

ется, что увеличение континентальности климата происходит по мере продвижения на юг (Агроклиматические ресурсы..., 1972).

Для территории Тюменской области характерна суровая продолжительная зима, сравнительно короткое, но тёплое лето, короткие переходные сезоны – весна и осень, поздние весенние и ранние осенние заморозки, короткий безморозный период (Схема размещения, использования..., 2013).

Согласно Зональной системе земледелия (1989) вся территория Тюменской области делится на северную и южную части. Северная включает два национальных округа – Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий. Южная часть подразделяется на агроклиматические зоны.

В своей работе В.В. Бурлака (1974), после анализа климатических условий произрастания сельскохозяйственных растений, анализа работы сортоиспытательных участков, данных НИИ, предложил разграничить Тюменскую область на 4 зоны: Южная тайга, Подтайга, Северная лесостепь, Южная лесостепь.

К зоне южной тайги относятся: Уватский, Тобольский, Вагайский районы;

Подтаёжной зоне: Нижнетавдинский, Ярковский, Югринский, Аромашевский, Сорокинский и Викуловский районы;

Северной лесостепи: Тюменский, Ялуторовский, Исетский, Упоровский, Заводоуковский, Омутинский, Гольшмановский, Ишимский, Абатский районы;

Южной лесостепи: Армизонский, Бердюжский, Казанский и Сладковский административные районы (Бурлака, 1974; Зональная система земледелия...1989).

Типы почв, их свойства и состав являются одной из важных составляющих характеристик общеклиматических условий, в связи с чем, районирование культурных растений следует проводить, учитывая данные сведения для достижения максимально благоприятных условий, обеспечивающих полноценное развитие растений (Константинов, 1970).

На территории юга области выделяют подзолистые, серые лесные, чернозёмные почвы (Горшенин, 1955). Южно-таёжная зона представлена плоско-волнистой равниной с широкими речными долинами. Территория характеризуется чередованием необширных лесов с болотами. Северная часть зоны – бессточ-

ные, заболоченные равнины. Почвенный покров представлен подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами, а также двумя родами – обычные и со вторым гумусовым горизонтом, зачастую оглееными на водоразделах, тяжёлого механического состава с торфяно-болотными (Зональная система...1989; Токарева и др., 2017).

Рельеф подтаёжной зоны представлен нерасчленённой, значительно залесённой равниной, с наличием болот на межгрядных пространствах. Почвы под лесами частично дерново-подзолистые, на осветлённых межлесных пространствах отмечаются светло-серые, серые и тёмно-серые лесные почвы, оподзоленные и осолоделые. Нередко по периферии болот наблюдается солончаково-солонцеватый комплекс. В межгрядных понижениях встречаются торфяно-болотные, травянистые, торфяные и луговые почвы. При этом отмечается, что все почвы тяжелосуглинистого и глинистого гранулометрического состава.

Для лесостепной зоны характерен плоский рельеф, с наличием оврагов. Почвенный покров отличается контрастностью. Зонально встречаются серые лесные почвы, боровые пески, подзолы и оподзоленные почвы. Луговые, торфяно-болотные и подзолисто-болотные почвы характерны для водораздельных пространств. На возвышенностях рельефа можно наблюдать выщелоченные, оподзоленные и осолоделые чернозёмы, в межгрядных понижениях – солонцы и солонцеватые почвы (Агроклиматические ресурсы..., 1972; Каретин, 1990; Кулясова, 2017).

Почвенный покров Тюменской области по свойствам и уровню потенциального плодородия достаточно разнообразен. Поэтому возникает необходимость для каждого конкретного случая разрабатывать систему мероприятий, обеспечивающих полное использование всех возможностей высокоплодородных полей. Данная оценка, должна быть сделана на основе тщательного анализа урожаев предшествующих культур, обеспеченности почвы подвижными элементами питания, степени её кислотности, водного режима и т.д. (Удобрения и урожай..., 1973). Специфичность условий Тюменской области выдвигает особые требования, предъявляемые к сорту, который должен характеризоваться высокой потен-

циальной урожайностью, скороспелостью, а также стабильным формированием высокого уровня качественных показателей зерна (Лихенко, 1992).

На сельскохозяйственной территории Тюменской области среднесуточная температура воздуха в период вегетации является лимитирующим фактором. При недостаточной теплообеспеченности, созревание сортов, особенно с продолжительным вегетационным периодом, сопровождается неполной спелостью зерна, низким качеством семян, а также значимыми потерями при уборке (Бабушкина, 1992).

В работах С.А. Сапожниковой (1970), Д.И. Шашко (1985) приводятся сведения о прямой зависимости, между продуктивностью земледелия и теплообеспеченностью. Природные ресурсы сельского хозяйства, обуславливают набор сельскохозяйственных культур по их требованию к теплу, что, в конечном счёте сказывается на формировании общей продуктивности растений.

Температурный режим летних месяцев в значительной степени определяется процессом трансформации (прогрева и насыщения влагой воздушных масс, притекающих с севера, и формирования своеобразного местного континентального воздуха Западной Сибири). Снижение летних температур в северной части Тюменской области главным образом связано с воздействием северных морей. Наибольшие значения сумм температур приходятся на засушливые годы с преобладанием устойчивой антициклональной циркуляции в летние месяцы. В дождливые холодные лета с преобладанием циклонической погоды суммы температур бывают ниже средних (Михайлов, 1951; Справочник по климату..., 1965).

На большей части территории Западной Сибири в среднем наблюдается достаточная теплообеспеченность для успешного возделывания ряда зерновых культур. Однако скорость прохождения вегетационных фаз, а также созревание в значительной степени определяется ресурсами теплообеспеченности, которые способны изменяться в широких пределах. (Синельщиков и др., 1970; Сенников, Сляднев, 1972).

В весенний период отрицательные среднесуточные температуры воздуха нередко удерживаются до середины апреля, при этом наблюдается частая смена

морозных и безморозных дней. Среднемесячная температура воздуха июля (самый тёплый месяц) составляет 17,5-18,5°C. Одним из благоприятных факторов для роста и развития сельскохозяйственных растений является продолжительность дня (в летние месяцы 15-18 часов). Продолжительность тёплого периода (с положительной среднесуточной температурой) в среднем варьирует от 181 до 199 дней. Сумма эффективных положительных температур на юге области составляет порядка 1700-2100°C, распределяясь по зонам: 1700°C (таёжная), 1800°C (подтаёжная), 1900°C (северная лесостепь), 2100°C (южная лесостепь). Продолжительность активной вегетации (среднесуточная температура воздуха выше 10°C) в подзонах тайги и подтайги в среднем составляет 100-144 и 114-123 суток соответственно. В лесостепной зоне 123-127 суток. В отдельные годы могут наблюдаться отклонения от среднего многолетнего значения (Агроклиматические ресурсы..., 1972).

Средняя температура января колеблется от -18 до -20°C. Продолжительность периода с устойчивыми морозами в среднем равна 135 дням. Отмечается, что при низких температурах в зимние месяцы адвекция тёплого воздуха с юга в отдельные дни может привести к повышению температуры до 4-5°C. Число дней с оттепелью незначительно (3-5 дней) (Агроклиматические ресурсы..., 1972; Схема размещения, использования..., 2013).

Отмечается, что в северных районах, недостаток тепла приводит к сокращению вегетационного периода растений и эффективности фотосинтеза, что в свою очередь ограничивает возделывание позднеспелых, более продуктивных сортов и культур. Полное созревание обеспечивается у менее требовательных к теплу ранних яровых культур. При агроэкологическом районировании следует учитывать, что потребность в тепле у различных культур и сортов способна различаться. Согласно В.В. Синельщикову (1970), северная граница устойчивости обеспеченности теплом ранних сортов ячменя в 80-90% лет проходит по линии многолетней средней температуры 1400°C, яровой пшеницы – 1800°C.

Снижение чувствительности растений к погодным условиям может быть достигнуто за счёт оптимального территориального размещения культур, гибкого

использования сортов (Понько, 1986). К неблагоприятным факторам, ограничивающим возделывание сельскохозяйственных растений в северных районах, относятся повышенное или недостаточное увлажнение вегетационных периодов (Журина, 2015). В условиях неполивного земледелия основным источником увлажнения сельскохозяйственных полей являются атмосферные осадки. Поэтому наряду с теплообеспеченностью необходимо учитывать и оценивать влагообеспеченность той или иной местности (Сенников, Сляднев, 1972; Шашко, 1985).

К числу неблагоприятных явлений континентального климата Западной Сибири, способных приводить к снижению количества и качества получаемого урожая зерновых культур, относят частые засухи, суховеи, проявляющиеся в течение всего вегетационного периода растений (Пасечнюк, Сенников, 1983). В работе В.В. Новохатина (2015) отмечается нестабильность проявления климата на юге Тюменской области, при анализе климатических данных за более чем 100-летний период, засухи различной степени интенсивности проявлялись в 46% лет, на долю увлажнённых лет приходится 26%.

Северные таёжные районы области вполне обеспечены влагой, южные части характеризуются неустойчивым увлажнением. Сумма осадков за период активной вегетации в среднем составляет 220-240 мм, годовое количество осадков достигает 400-600 мм, изменяясь по зонам тайга – 465 мм, северная лесостепь – 443 мм, южная лесостепь – 330 мм. Однако выпадение осадков неравномерное, колеблющееся по годам (Схема размещения, использования..., 2013; Новохатин, 2015).

В оценке многообразия климатических условий для нужд сельского хозяйства одним из значимых является степень обеспеченности вегетационного периода теплом и влагой. В связи с чем, в работах Г.Т. Селянинова (1933, 1966) в основе деления климата на зоны лежит месячная сумма осадков и сумма активных температур за период с устойчивой температурой выше 10°C.

На сельскохозяйственной территории Тюменской области увлажнённость зоны тайги составляет ГТК=1,5; северной лесостепи ГТК=1,3; южной лесостепи ГТК=1,0 (Новохатин, 2015). Таким образом, разнообразие агроклиматических

условий Северного Зауралья, в сочетании с воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды ставят особые требования, предъявляемые при выращивании сельскохозяйственных растений.

2.3. Метеорологические условия в годы проведения полевых опытов

Данные по среднесуточной температуре воздуха и осадкам получены со справочно-информационного портала "Погода и климат" URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> [Электронный ресурс]. За норму были приняты среднелетние значения среднесуточной температуры воздуха и количества осадков за период 1936-2017 гг.

2015 год. Посев полевых опытов ячменя проводили в конце первой декады мая. В начале вегетационного периода наблюдалось превышение на 2,1°C по среднесуточной температуре воздуха над многолетними значениями (табл. 1). Количество осадков в мае выпало выше нормы на 4,3 мм или 109%.

Таблица 1 - Среднесуточная температура воздуха (t°C) вегетационных периодов 2015-2018 гг.

Месяц	Средняя t°C за месяц				Среднее многолетнее
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	
Май	13,4	12,2	10,2	8,2	11,3
Июнь	20,0	17,2	16,9	15,0	17,1
Июль	16,4	19,8	17,7	20,6	18,8
Август	13,1	21,2	17,0	15,5	15,8

Июнь по сравнению со средним многолетним значением характеризовался повышенной (на 2,9°C) среднесуточной температурой воздуха. Сумма осадков за июнь составила 85,8 мм или 156% по отношению к норме (табл. 2).

Таблица 2 - Количество осадков (мм), выпавшее за вегетационные периоды 2015-2018 гг.

Месяц	Сумма за месяц				Среднее многолетнее
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	
Май	49,3	5,8	65,2	82,3	45,0
Июнь	85,8	57,7	107,0	58,3	55,0
Июль	81,1	72,5	64,4	50,5	89,0
Август	65,6	13,8	45,0	111,7	60,0

Рост и развитие растений в июне проходили в условиях повышенного температурного режима на фоне обильных осадков в первой декаде и дефицита влаги во второй и третьей декадах (прил. 3) Отмечалось повреждение растений шведской мухой. В июле среднесуточная температура воздуха не превышала $16,4^{\circ}\text{C}$ при норме $18,8^{\circ}\text{C}$. Сумма осадков близка к норме. Формирование генеративных органов, колошение, цветение проходили при недостатке тепла, что не могло не отразиться на продуктивности растений. В условиях достаточного увлажнения отмечалось развитие болезней.

Август по показателям температурного режима также был прохладным. Среднесуточная температура воздуха в среднем за месяц составила $13,1^{\circ}\text{C}$, что ниже среднего многолетнего значения на $2,7^{\circ}\text{C}$ (рис. 2) Пониженные температуры сопровождались частыми дождями. Всего за месяц выпало $65,6$ мм осадков, что составило $109,4\%$ по отношению к норме. Условия для созревания зерна складывались неблагоприятно, наблюдалось полегание растений, поражение болезнями.

2016 год. Посев ячменя происходил в конце первой декады месяца, в условиях пониженных температур на фоне дефицита влаги. Выпадение осадков отмечено 7 и 10 мая ($2,8$ мм осадков). Вторая декада мая характеризовалась также пониженной температурой воздуха, сопровождающейся дефицитом осадков, что оказывало негативное воздействие на прораствание семян и появление всходов (прил. 4). В третьей декаде колебание среднесуточной температуры происходило в пределах от $7,1^{\circ}\text{C}$ (31 мая) до $28,4^{\circ}\text{C}$ (22 мая). В течение 8 дней наблюдалось превышение температуры воздуха на $2,0-9,2^{\circ}\text{C}$. Общее количество осадков составило $1,6$ мм. Данный период можно характеризовать как засушливый и неблагоприятный для роста и развития растений ячменя.

Июнь характеризовался незначительным превышением над многолетним значением температуры воздуха (на $0,1^{\circ}\text{C}$). Сумма осадков за июнь составила $57,7$ мм или 105% по отношению к норме. Наибольшее значение выпавших осадков приходится на 2 декаду месяца ($30,3$ мм), при этом максимум осадков 20 мм отмечен 12 июня (табл. 2).

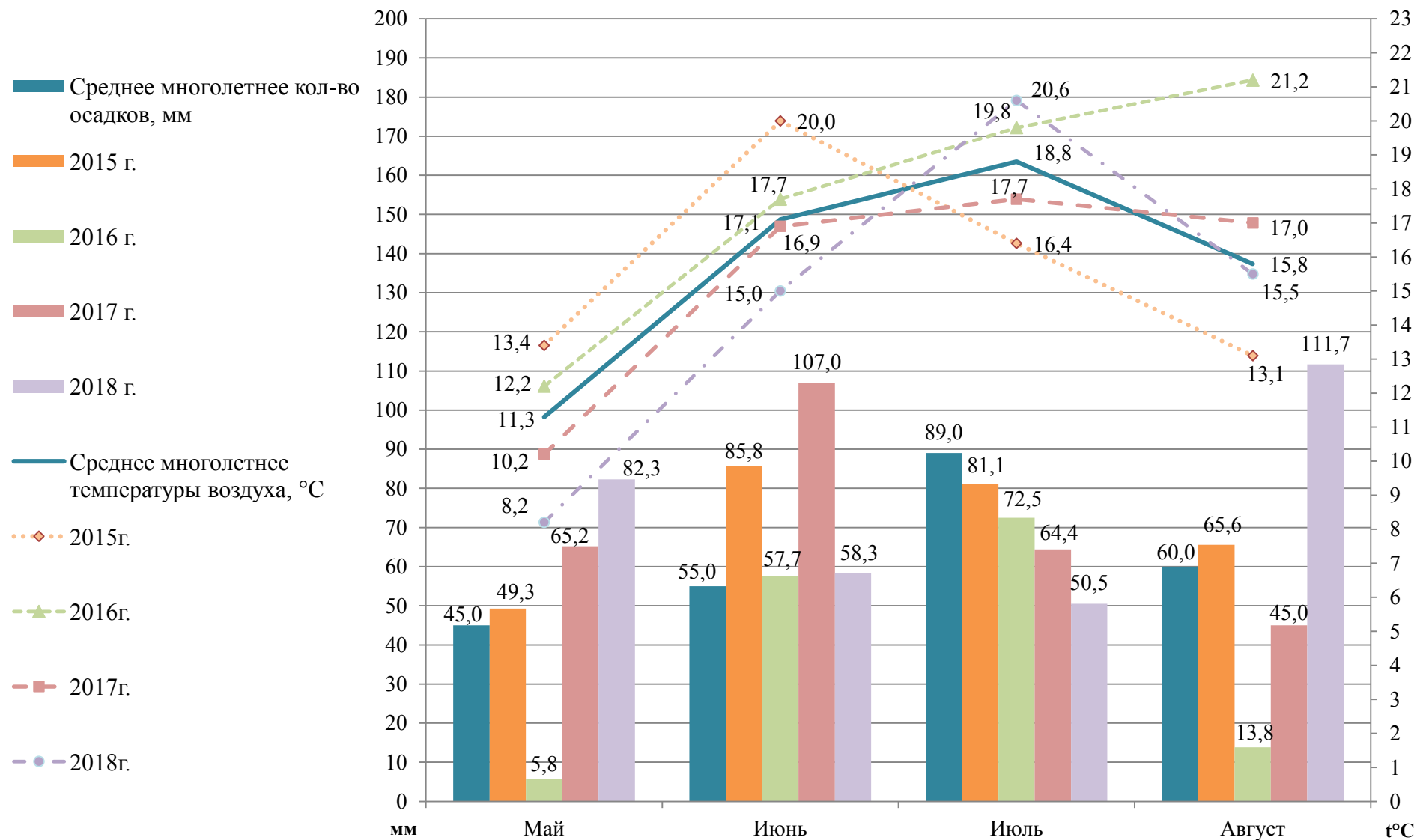


Рисунок 2 - Гидротермические условия в годы исследований (2015-2018 гг.) Тюмень.

Июль по показателям температурного режима превышал среднее значение на 1°С. Среднесуточная температура воздуха по трем декадам составила 20,1; 19,8 и 19,5°С соответственно. Сумма осадков была ниже нормы. Максимальное количество осадков 21 и 27 мм, выпало во второй декаде месяца, 13 и 15 июля соответственно.

В данный период рост и развитие растений проходили на фоне повышенных температур и в неблагоприятных по влагообеспеченности условиях.

Август по показателям температурного режима был жарким. Среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетнее значение во всех трёх декадах. Средняя температура за месяц выше многолетней на 5,4°С. Высокая температура воздуха сопровождалась дефицитом влаги. Сумма осадков за месяц была 13,8 мм, что составляет 23% к норме. Максимум осадков приходится на третью декаду 5,8 мм. Таким образом, формирование зерна проходило в условиях недостаточной влаги, на фоне повышенных температур.

2017 год. Посев коллекции ячменя, происходил в конце первой декады мая, посев семян, обработанных мутагеном - в начале второй декады месяца.

По температурному режиму май был прохладнее по сравнению со средней многолетней, отклонение от нормы составило 1,1°С. По сумме осадков наблюдалось превышение средней многолетней, за месяц сумма составила 144% по отношению к норме (прил. 4). Среднемесячная температура июня составила 16,9°С, что незначительно ниже среднего многолетнего значения. Данный месяц характеризовался обильными осадками, их сумма составила 107 мм (195% от нормы). В июле среднесуточная температура воздуха была ниже относительно средней многолетней на 1,1°С. Фактическая температура за месяц составила 17,7°С. Осадков за месяц выпало 64 мм или 72% от нормы. В августе же наблюдалось превышение среднемесячных температур над многолетней на 1,2°С. По влагообеспеченности данный месяц характеризовался недостатком осадков, за месяц сумма не превысила 45 мм (75% от нормы).

2018 год. Закладка полевого опыта была проведена в начале второй декады мая. Среднесуточная температура воздуха по декадам составила 6,0; 7,8; 10,7°С

соответственно. Среднемесячная температура воздуха составила $8,2^{\circ}\text{C}$ что ниже среднего многолетнего значения на $3,1^{\circ}\text{C}$. Осадков за месяц в сумме выпало $82,3$ мм, что составляет 182% от нормы. В июне температура воздуха, была ниже среднего многолетнего значения на $2,1^{\circ}\text{C}$, и составила $15,0^{\circ}\text{C}$. Влагообеспеченность в данный месяц была на уровне многолетнего значения, сумма осадков составила $58,3$ мм (105% от нормы). Июль характеризовался повышенной температурой воздуха на $1,8^{\circ}\text{C}$, и дефицитом осадков – $50,5$ мм или 57% от нормы. В августе сумма выпавших осадков за месяц составила $117,7$ мм (187% от нормы). Среднесуточная температура воздуха превысила среднее многолетнее значение на $0,3^{\circ}\text{C}$.

По сумме активных температур выше 10°C и количеству выпавших атмосферных осадков можно судить о благоприятности климатических условий для возделываемой культуры.

Согласно Г.Т. Селянинову (1930), гидротермический коэффициент (ГТК) показывает условия увлажнения вегетационного периода, другими словами ГТК это показатель естественного обеспечения территории влагой. Данный показатель рассчитывается по формуле: $\text{ГТК} = R/0,1 * \Sigma t$, где R – сумма осадков в миллиметрах за месяц, Σt – сумма среднесуточных значений температуры воздуха больше 10°C , в градусах.

По градации, приводимой Л.Л. Журиной (2015), выделяют 6 зон увлажнения: избыточно-влажная – ГТК более $1,6$ (территория тундры, тайги); влажная – ГТК= $1,6-1,3$ (зона южной тайги и лиственных лесов); слабозасушливая – ГТК= $1,3-1,0$ (лесостепная зона); засушливая – ГТК= $1,0-0,7$ (типичная степь); очень засушливая – ГТК= $0,7-0,4$ (часть степной зоны); сухая – ГТК менее $0,4$ (полупустынные районы).

В целом вегетационные периоды 2015, 2017 гг. были влажными ГТК= $1,5$; $1,6$ соответственно; избыточным увлажнением характеризовался 2018 год (ГТК= $2,0$); засушливые условия (ГТК= $0,7$) отмечены в 2016 году (табл. 3).

Таблица 3 - Гидротермический коэффициент (ГТК) в годы исследования

Показатели метеорологических условий вегетационных периодов	Май	Июнь	Июль	Август	За вег. период	ГТК за вег. период
2015 г.						
Сумма осадков, мм	49,3	85,8	81,1	65,6	281,8	1,5
Сумма температур, °С	364,5	580,4	509,0	366,3	1820,2	
ГТК по месяцам	1,4	1,5	1,6	1,8		
2016 г.						
Сумма осадков, мм	5,8	57,7	72,5	13,8	149,8	0,7
Сумма температур, °С	292,8	505,9	613,8	657,6	2070,1	
ГТК по месяцам	0,2	1,1	1,2	0,2		
2017 г.						
Сумма осадков, мм	65,2	107,1	63,8	45,1	281,2	1,6
Сумма температур, °С	215,5	507,0	547,2	526,2	1795,9	
ГТК по месяцам	3,0	2,1	1,1	0,9		
2018 г.						
Сумма осадков, мм	82,3	58,3	50,5	111,7	302,8	2,0
Сумма температур, °С	114,7	418,9	542,8	412,7	1489,1	
ГТК по месяцам	7,2	1,4	0,9	2,7		

Наиболее критическими для растений являются периоды с пониженными и повышенными температурами воздуха, а также с переизбытком или недостатком влаги.

Так, например, влияние засушливых условий, или пониженных температур в начале вегетационного периода может отразиться на снижении полевой всхожести семян. Обильные осадки, в сопровождении сильных ветров, особенно в фазу налива зерна, могут вызвать сильное полегание растений ячменя, что негативно сказывается на продуктивности растений.

ГЛАВА 3. ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ *HORDEUM VULGARE* L. ПО КОМПЛЕКСУ СЕЛЕКЦИОННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

3.1. Полевая всхожесть семян, биологическая устойчивость и выживаемость растений ячменя как показатели адаптации к меняющимся условиям среды

В достижении высокой урожайности зерновых культур, большое значение имеет полевая всхожесть семян (Пакуль, 2007; Филиппов, Алабушев, 2014).

На способность семян к прорастанию оказывает влияние множество экологических факторов (FAO, 2016). Многие исследователи к числу основных факторов относят: условия формирования семян (Лыкова, 2008), плотность почвы (Бешкильцева, 2009), крупность семян (А.Я. Боме, 2003) температуру воздуха и почвы при прорастании семян (А.Я. Боме, Н.А. Боме, 2012) и др., которые не всегда находятся в оптимуме для формирования всходов. По мнению Н.К. Ижика (1976), важной задачей для земледельца является сведение к минимуму отрицательного влияния неблагоприятных факторов и создание наиболее благоприятных условий для появления всходов, дальнейшего развития растений и их продуктивности.

Выживаемость растений ячменя, как важное биологическое свойство и оптимальный показатель определения адаптивных возможностей генотипа рассматривается в работе Д.Н. Тишкова с соавторами (2004). Формирование линий и сортов сельскохозяйственных культур, пригодных для широкого использования в крайне неустойчивых условиях внешней среды, требует специфического подхода к оценке различных фенотипических признаков при определении общих преимуществ или недостатков испытываемых образцов растений.

В наших исследованиях, проведенных ранее (2007-2014 гг.) на 622 образцах ячменя из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, было выявлено влияние генотипа и метеорологических факторов на показатели полевой всхожести семян и выживаемости растений в период вегетации. Показано, что разнообразие изученного материала, различная реакция образцов на меняющиеся условия среды обеспечивают общую биологи-

ческую устойчивость ячменя в сельскохозяйственной зоне Тюменской области (Н.А. Боме, А.Я. Боме, Н.В. Тетянников, 2015).

В задачу данного исследования входило определение возможности использования показателей полевой всхожести семян, биологической устойчивости и выживаемости растений в период вегетации в качестве информативных критериев адаптивных свойств ячменя в различных экологических условиях.

Как правило, лабораторная всхожесть семян всегда выше полевой. При этом не всегда семена с высокой лабораторной всхожестью способны продемонстрировать такие же результаты в полевых условиях. Способность семян к прорастанию рассматривается как комплексное проявление свойств, определяющих быстрое и равномерное появление всходов и нормальное развитие растений в полевых условиях (Baatbaki et al., 2009). Отмечается, что в достижении высокой продуктивности растений, необходимо получение равномерных, дружных и своевременных всходов (Голубева и др., 2013).

В 2015 году условия для прорастания семян и формирования полноценных всходов ячменя складывались благоприятно по температурному режиму, при этом характеризовались дефицитом осадков во второй (6,3 мм) и третьей (2,7 мм) декадах мая. Показатели полевой всхожести семян у коллекционных образцов варьировали в пределах от 4,5% – Vaie (к-22774) из США до 95,5% у образца Arni 7 (к-25783) и Ботанической формы (к-24824) по происхождению из Германии. Среднее значение по коллекции составило 67,1%.

В условиях данного вегетационного периода отмечено повреждение образцов ячменя шведской мухой. Систематическое положение: Овсяная шведская муха *Oscinella frit* L. и Ячменная шведская муха *Oscinella pusilla* Meig. относятся к Отряду *Diptera* (Двукрылые), Семейству *Chloropidae* (Злаковые мухи), Роду *Oscinella* (Определитель вредных и полезных..., 1982).

Среди яровых зерновых хлебов, ячмень повреждается шведской мухой наиболее сильно. Как правило, зимует данный вредитель в виде взрослой личинки внутри стеблей озимых и диких злаков. Весной, при $t = 10-12^{\circ}\text{C}$, личинки оживают, и вылетают в зависимости от температуры весеннего периода. При $15-16^{\circ}\text{C}$,

становясь половозрелыми, мухи откладывают яйца на молодые всходы, имеющие 2-3 листа. После чего вышедшие из яиц личинки, проникают внутрь стебля к точке роста, начиная использовать нижнюю часть центрального листа в качестве пищи, разрушая эмбриональные зачатки колоса. Вследствие чего, центральный лист увядает, засыхает и отмирает, тем самым прекращая рост стебля (Костылев, 1972).

Признаки повреждения отмечали в фазе 3-4 листьев, у растений желтел и увядал центральный лист. В ряде случаев, когда повреждался главный стебель до начала образования боковых стеблей, наблюдалась гибель растений.

Устойчивость образцов ячменя к повреждению шведской мухой оценивали по баллам с использованием следующей шкалы (Семенова, 2008): 5 баллов – повреждено менее 5% стеблей; 4 – повреждено от 6 до 15% стеблей; 3 – повреждено от 16 до 25% стеблей; 2 – повреждено от 26 до 40% стеблей; 1 – повреждено более 40% стеблей.

Без признаков повреждения или с незначительными повреждениями (до 5%) было 32 образца. Среди них устойчивость к шведской мухе проявили 9 образцов из Франции (к-23891, к-21967, к-24992, к-23976, к-23978, к-23491, к-25850, к-26481, к-25854), 8 из России (к-24735, к-30829, к-30820, к-30448, к-30449, к-30446, к-30453, к-28119), 5 из Германии (к-25783, к-22728, к-24813, к-24857, к-25737), 4 из Перу (к-30711, к-30666, к-30683, к-30687), 3 из Эфиопии (к-22929, к-22934, к-22990), по 1 образцу из Таджикистана (к-14933), Казахстана (к-3014) и США (к-23653).

К числу неустойчивых к шведской мухе отнесено 28 образцов. Значительные признаки повреждения зарегистрированы у 6 образцов из США (к-22733, к-23326, к-22759, к-22774, к-23493, к-24644), 6 из Эфиопии (к-23450, к-23454, к-25008, к-22955, к-22964, к-23441), 5 из Украины (к-23459, к-23460, к-24722, к-25932, к-24741), 4 образцов из Чехословакии (к-24913, к-25490, к-22226, к-22326), 2 из Германии (к-24852, к-25760), 2 из Перу (к-30662, к-30656), по 1 образцу из Сирии (к-30367), Ирака (к-30370), Бразилии (к-30398). Не более 15% по-

вреждений (4 балла) отмечено у 36 коллекционных образцов, остальные получили балл 3, в том числе и стандартные сорта.

По полевой всхожести семян коллекционные образцы ячменя были распределены на четыре группы: с низкой (0-50%), средней (51-80%), высокой (81-90%) и очень высокой (91-100%).

Самой многочисленной является группа со средней всхожестью, в ней насчитывалось 104 образца или 71,2% (рис. 3). В группу с высокой и низкой всхожестью вошло 17 и 19 образцов соответственно. Самой малочисленной была группа с очень высокой всхожестью – 6 образцов (4,1%). Стандартные сорта Ача и Абалак по данному признаку вошли в группу со средней всхожестью – 77,8% и 71,2% соответственно.

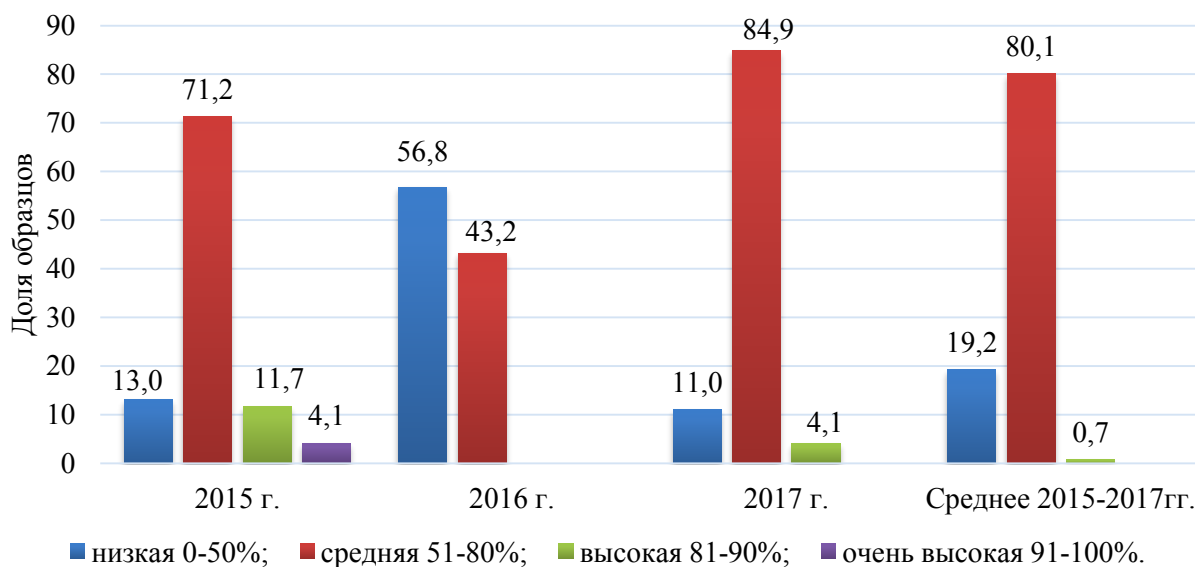


Рисунок 3 - Распределение образцов ячменя на группы по показателям полевой всхожести семян, %.

Лучшими результатами характеризовались 5 образцов из Германии: Arni 7 (к-25783) – 95,5%, Ботаническая форма (к-24824) – 95,5%, Mutant 4541 (к-24857) – 94,0%, Mutant 4551 (к-20227) – 93,5%, Haarer Isdania – 91,5%, а также один образец из Эфиопии Dz02-127 (к-22934) - 91,0%.

Повышенный температурный режим и недостаточное количество осадков в период прорастания семян 2016 года отразилось на количестве всходов по сравнению с предыдущим годом. Полевая всхожесть снизилась до 47,5% в среднем по

изученным образцам. Варьирование количества всхожих семян изменялось в пределах от 14,8% (С.І. 11073, к-30663, Перу) до 79,2% (Phines Horde, к-33813, Венгрия).

При распределении образцов по данному показателю обнаружено лишь две группы. 83 образца (56,8%) вошли в группу с низкой полевой всхожестью семян, среднюю всхожесть показали 63 образца (43,2%), образцов с высокой и очень высокой всхожестью не выявлено. Стандарты Ача и Абалак, по данному признаку вошли в группу со средней и низкой всхожестью семян – 52,6% и 49,0% соответственно (рис. 3).

В 2017 году среднее значение всхожести семян по коллекции составило 63,3%. Варьирование признака отмечено в пределах от 21,2 до 84,8%.

В фазу полных всходов, отмечалось поражение растений внутрискотельными вредителями. Образцов, у которых признаков повреждения не обнаружено насчитывалось 54, среди которых 9 по происхождению из Перу (к-30663, к-30624, к-30629, к-30630, к-30664, к-30711, к-30666, к-30683, к-30687), 8 из Украины (к-22050, к-23459, к-23460, к-23683, к-24722, к-25932, к-24741, к-24740) по 6 образцов из Германии (к-25746, к-2583, к-22306, к-20227, к-24820, к-25804), Эфиопии, (к-26620, к-22942, к-20045, к-25013, к-25022, к-23052), Франции (к-23978, к-23491, к-26481, к-25850, к-25854, к-25855), по 5 из Нидерландов (к-23504, к-23961, к-24799, к-25682, к-22315), Венгрии (к-22809, к-22807, к-22808, к-22813, к-22816), 3 из Польши (к-22176, к-25478, к-25977), по 2 из США (к-23326, к-24653), Бельгии (к-23452, к-24899), по 1 из Сирии (к-30367) и Ботсваны (к-24817).

Повреждениями от 6 до 15% (4 балла) характеризовались 60 образцов, в том числе стандарты. Низкой устойчивостью, у которых было повреждено от 16 до 25%, характеризовались 29 образцов: (к-30662, к-15519, к-30149, к-696, к-28119, к-30829, к-30448, к-30449, к-30436, к-23493, к-25737, к-22307, к-25760, к-21985, к-23339, к-22305, к-25788, к-22934, к-22990, к-23444, к-22308, к-22961, к-23450, к-25008, к-22955, к-23441, к-25490, к-22226, к-22236). При этом значительное по-

вреждение (1-2 балл) было отмечено у образца из Казахстана (к-16026), России (к-30244) и Эфиопии (к-23454).

Большая часть коллекционных образцов (84,9%) вошла в группу со средней всхожестью. В группу с низкой полевой всхожестью отнесено 16 образцов, что составило 11% от всей коллекции. Наибольшее количество всходов к высеянным семенам отмечено только у 6 образцов С.І.11071(к-30711, Перу) – 80,4%; Местный (к-14965, Таджикистан) – 81,2%; Arni 7 (к-25783, Германия) – 84,8%; Ботаническая форма (к-24820, Германия) – 83,6%, DZ02-163 (к-22942, Эфиопия), DZ02-129 (к-22934, Эфиопия). Стандартные сорта Ача (72,3%) и Абалак (70,3) вошли в группу со средней полевой всхожестью.

Как известно, в течение вегетационного периода, растения подвержены влиянию комплекса факторов окружающей среды. Для изучения их влияния на растения, предлагается использовать такое понятие как коэффициент адаптации, то есть выживаемость растений за период их роста и развития (Васько, 2004). Наряду с коэффициентом адаптации, используется термин биологическая устойчивость, который также показывает адаптивную способность растений противостоять комплексу факторов внешней среды. Она выражается как процентное отношение количества растений, сохранившихся к уборке к количеству высеянных всхожих семян (Гужов и др., 2003).

В 2015 году полная гибель растений наблюдалась у образца Vaie (к-22774), по происхождению из США. Биологическая устойчивость коллекционных образцов ячменя в 2015 году изменялась от 0 до 95,5%, при среднем значении по образцам 64,0%. Большая часть находилась в группе со средней биологической устойчивостью, в неё вошло 93 образца, что составило 63,7% (рис. 4). К группе с низкой биологической устойчивостью отнесен 31 образец (21,2%), с высокой – 16 (11,0%). Очень высокой биологической устойчивостью характеризовались шесть образцов, продемонстрировавшие также высокую полевую всхожесть семян.

В засушливых условиях вегетационного периода 2016 года наблюдалось значительное снижение устойчивости растений к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Условное распределение образцов по биологиче-

ской устойчивости показало, что самой многочисленной была группа с низким показателем, в неё вошёл 101 образец, что составило 69,2%.

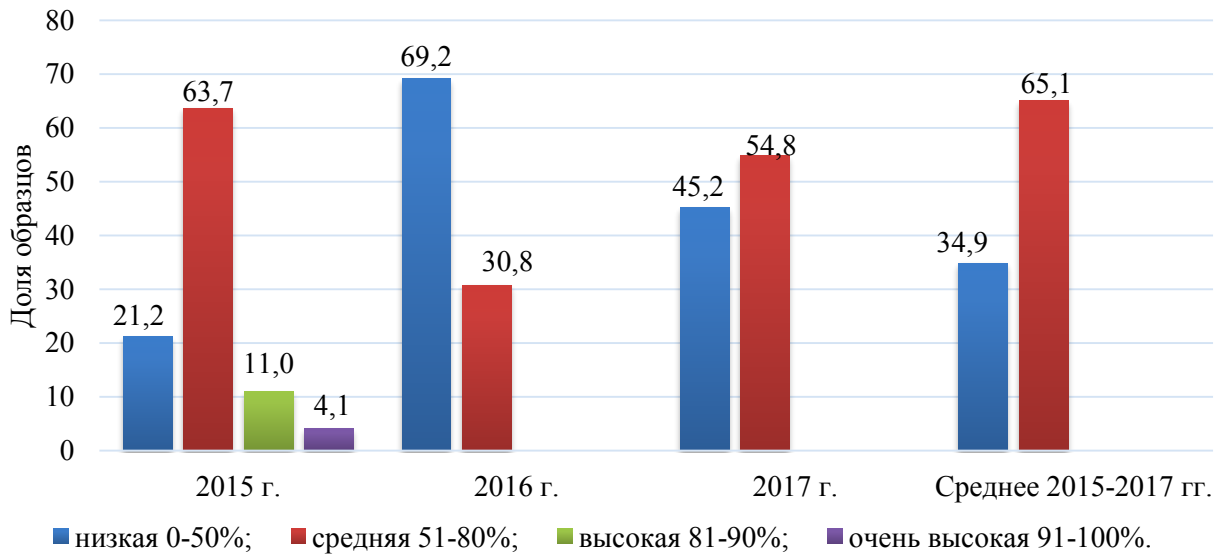


Рисунок 4 - Распределение образцов ячменя на группы по показателям биологической устойчивости растений, %.

В группу со средней биологической устойчивостью вошло 45 образцов (30,8%). В группе с высокой и очень высокой биологической устойчивостью образцов не обнаружено. Среднее значение биологической устойчивости по коллекции составило 43,5%.

В 2017 году все коллекционные образцы разделились только на две группы. Большинство из них 54,8% (80 шт.) характеризовались средней устойчивостью к воздействию факторов окружающей среды. Число образцов с низкой биологической устойчивостью составило 66, среднее по коллекции – 50,2%; биологическая устойчивость стандартов – 53,7% (Ача) и 53,9% (Абалак).

За годы исследования (2015-2017) биологическая устойчивость большей части коллекции изменялась в пределах от 51 до 80%. Выявлены 5 образцов (Dz02-163, к-22942, var. *pallidum*, Эфиопия; Ботаническая форма, к-24820, Германия, var. *harlani*; Ms9 Vantage, к-22759, var. *rikotense*, США; Местные, к-14965, к-14933, var. *pallidum*, Таджикистан), продемонстрировавшие стабильные и, относительно других, высокие показатели и представляющие интерес для практической селекции.

Выживаемость растений имеет непосредственное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Воздействие лимитирующих факторов в неустойчивых почвенно-климатических условиях в течение всего вегетационного периода отрицательно сказывается на росте и развитии растений (Фахрутенова, Лоскутов, 2011).

Одним из путей решения данной проблемы является необходимость создания и внедрения в производство сортов, обладающими высокой адаптивной способностью. Показатель выживаемости растений, рассчитанный как отношение количество сохранившихся к уборке растений к полным всходам, позволяет проследить за реакцией растений на факторы окружающей среды после формирования полных всходов (без учёта периода прорастания семян и начального этапа формирования всходов).

В условиях вегетационного периода 2015 года данный показатель в среднем по коллекции составил 93,8%. Большинство образцов продемонстрировали хорошие адаптивные свойства. Большинство коллекционных образцов (125 шт.) отнесено к группе с очень высокой выживаемостью, что составляет 85,6%. Низкая выживаемость растений отмечена у 8 образцов (5,5%), средняя – 10 образцов (6,8%). Самой малочисленной является группа с высокой выживаемостью, в неё вошло 3 образца (2,1%). Стандартные сорта Ача и Абалак по данному признаку относятся к группе с очень высокой выживаемостью.

Несмотря на относительно невысокие показатели полевой всхожести семян и биологической устойчивости растений, большинство коллекционных образцов в 2016 году продемонстрировали неплохие адаптивные свойства в течение всего вегетационного периода. Выживаемость растений изменялась в пределах от 65,4 до 100% при среднем значении по коллекции 92,6%. Самой многочисленной была группа с очень высокой выживаемостью, в которой насчитывалось 100 образцов или 68,5%. В группу с высокой выживаемостью растений вошло 34 образца (23,3%), со средней – 12 (8,2%). Образцов с низкой выживаемостью не обнаружено. Стандартные сорта Ача и Абалак по данному признаку относятся к группе с очень высокой выживаемостью.

Действие пониженных среднемесячных температур с мая по июль, а также избыточная увлажнённость, в первые два месяца, и дефицит осадков в июле и августе отразились на выживаемости растений ячменя в 2017 году. Выживаемость изученного материала в среднем составила 80,5%, при изменении признака в пределах от 41,0 до 99,3%. Очень высокую и высокую выживаемость продемонстрировали 36 (24,6%) и 41 (28,1%) образцов соответственно, доля со средней выживаемостью – 43,8%. Из пяти образцов с низкой выживаемостью четыре по происхождению из США и один из Казахстана.

В среднем за 2015-2017 гг. большая часть (89,7%) исследуемых генотипов обладала высокой толерантностью к факторам окружающей среды, что подтверждается показателями выживаемости растений в течение вегетационного периода (рис. 5). Выживаемость растений 26 образцов была стабильно высокой в течение всего периода изучения, и в среднем за 2015-2017 гг. этот показатель превышал 95% (прил. 5).

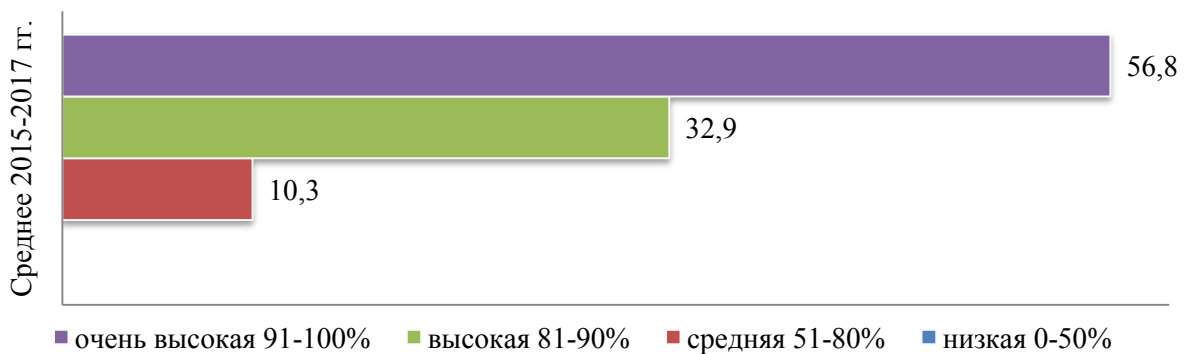


Рисунок 5 - Распределение образцов ячменя на группы по показателям выживаемости растений, % (2015-2017 гг.).

Анализ и обобщение полученных данных в среднем за три года исследования (2015-2017) позволяет заключить, что при оценке и отборе форм ячменя с высокими адаптивными свойствами наиболее информативными критериями являются полевая всхожесть семян и биологическая устойчивость растений.

На основании усредненных данных по 146 образцам за три года исследований можно видеть, что наибольшую чувствительность к факторам окружающей среды ячмень проявлял в период прорастания семян и формирования всходов

(табл. 4), что в дальнейшем определяло количество вегетирующих растений и их зерновую продуктивность.

Таблица 4 - Полевая всхожесть семян, выживаемость и биологическая устойчивость ячменя в различных условиях выращивания (среднее за 2015-2017 гг.)

Показатели	Всхожесть, %	Выживаемость, %	Биологическая устойчивость, %
Среднее по образцам ($X_{cp.} \pm S_x$)	52,0±0,79	89,0±0,68	52,6±0,82
min	37,5±11,63	54,2±11,22	20,3±2,10
max	78,7±1,27	99,3±0,33	73,7±6,05
St 1 Ача	67,6±7,64	92,8±6,83	61,2±8,31
St 2 Абалак	63,5±7,25	93,1±6,42	57,9±6,82
CV,%	16,29	9,31	19,03

Степень изменчивости изученных признаков при анализе по годам и образцам была выше по полевой всхожести семян и биологической устойчивости по сравнению с выживаемостью растений.

Высокие показатели выживаемости образцов в коллекционном питомнике свидетельствуют о том, что растения ячменя в период от фазы полных всходов до восковой и полной спелости зерна проявляют достаточно высокие адаптивные свойства. Следовательно, при создании и подборе сортов для условий Северного Зауралья, а также при разработке технологии их выращивания необходимо обращать внимание на особенности роста и развития растений в раннем онтогенезе.

В изучаемой коллекции выделено 17 образцов ячменя, которые превысили лучший стандартный сорт по показателю полевой всхожести семян (табл. 5). Основное большинство из этих образцов в период вегетации проявили устойчивость к погодным факторам, фитопатогенным грибам, неравномерному распределению осадков, о чем свидетельствуют высокие показатели выживаемости. У данной группы образцов полевая всхожесть семян и биологическая устойчивость растений достоверно выше среднего значения по коллекции.

Таблица 5 - Сравнительная оценка образцов ячменя по показателям полевой всхожести семян, выживаемости и биологической устойчивости растений в меняющихся условиях окружающей среды, (среднее за 2015–2017 гг.)

№ по каталогу ВИР	Образец, происхождение	Полевая всхожесть семян, %			Выживаемость растений, %			Биологическая устойчивость, %		
		$X_{cp.} \pm S_x$	min max	CV, %	$X_{cp.} \pm S_x$	min max	CV, %	$X_{cp.} \pm S_x$	min max	CV, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30711	С. I. 11071, Перу	78,7±1,27* ^а	76,2 80,4	2,80	92,2±5,49	81,6 100,0	10,31	72,5±4,01 ^а	65,6 79,5	9,58
30666	С. I. 11086, Перу	70,1±10,30	54,4 89,5	25,44	93,5±4,24	85,5 100,0	7,86	65,9±11,86	51,6 89,5	31,14
14965	Местный, Таджикистан	74,0±3,58 ^а	70,4 81,2	8,38	89,7±5,48	81,3 100,0	10,59	66,3±4,55 ^а	57,2 71,2	11,89
14950	Местный, Таджикистан	72,5±3,26 ^а	66,0 76,0	7,80	88,6±7,95	73,3 100,0	15,55	64,8±8,38	48,4 76,0	22,40
16026	-, Казахстан	71,5±2,09 ^а	68,8 75,6	5,07	81,4±17,42	46,6 100,0	37,07	57,5±11,16	35,2 70,0	33,64
23493	Wisconsin x 691-1 С. I. 10513, США	73,6±2,83 ^а	68,0 77,2	6,67	81,3±6,42	72,1 93,7	13,69	60,1±6,29	49,0 70,8	18,15
25783	Arni 7, Германия	81,7±8,99 ^а	64,8 95,5	19,07	86,2±7,44	74,5 100,0	14,95	71,0±12,49	54,4 95,5	30,46
24857	Mutant 4541, Германия	72,4±10,80	60,8 94,0	25,86	84,3±8,42	71,2 100,0	17,30	62,7±15,73	44,4 94,0	43,49
24820	Ботаническая форма, Германия	76,0±4,38 ^а	68,4 83,6	10,00	87,5±6,35	79,4 100,0	12,57	66,4±5,54 ^а	56,8 76,0	14,45
25788	Schwarze Nackte Kraftborn, Германия	72,1±4,95 ^а	62,4 78,8	11,91	84,9±7,74	74,4 100,0	15,81	61,5±8,29	46,4 75,0	23,35
22942	Dz02-163, Эфиопия	75,2±6,49 ^а	62,4 83,6	14,95	98,1±1,27 ^а	95,7 100,0	2,24	73,7±6,05 ^а	61,6 80,0	14,22
22934	Dz02-129, Эфиопия	71,5±15,07	41,8 91,0	36,54	93,7±3,33	88,7 100,0	6,16	67,3±15,33	38,6 91,0	39,45

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23454	Н.3235 Wondo III, Эфиопия	70,9±7,25	56,4 78,8	17,73	83,5±6,78	74,5 96,8	14,07	59,8±9,61	42,0 75,0	27,84
21967	Cosmos, Франция	70,6±7,02	62,0 84,5	17,24	91,2±8,83	73,5 100,0	16,78	54,2±15,59	32,6 84,5	49,79
24799	Mansholts Fletument D, Нидерланды	74,0±2,30 [°]	69,5 77,2	5,40	89,3±2,88	83,5 92,2	5,59	66,0±2,62 [°]	62,8 71,2	6,88
33813	Phines Horde, Венгрия	76,7±2,36 [°]	72,0 79,2	5,34	77,5±2,70 ^{•*°}	72,2 81,0	6,04	59,5±2,26 [°]	57,2 64,0	6,60
22816	Ruma 4/2, Венгрия	71,4±2,50 [°]	66,5 74,8	6,06	82,5±9,16	69,0 100,0	19,22	58,4±4,34	54,6 66,5	12,87
St 1	Ача, Россия	67,6±7,64	52,6 77,8	19,61	92,8±6,83	79,1 100,0	12,76	61,2±8,31	52,1 77,8	23,52
St 2	Абалак, Россия	63,5±7,25	49,0 71,2	19,78	93,1±6,42	80,3 100,0	11,94	57,9±6,82	48,6 71,2	20,41
Среднее по образцам, %		59,0±0,79		16,29	89,0±0,68		9,31	52,6±0,82		19,03

Примечание: статистически достоверные различия при $P < 0,05$ • - со St1, * - со St 2, ° – со средним по образцам.