

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Санкт-Петербургский государственный университет  
Институт «Высшая школа менеджмента»

**Реальные опционы как инструмент принятия стратегических  
решений в отрасли сельского хозяйства**

Выпускная квалификационная работа  
студента 4 курса бакалаврской программы,  
профиль – Финансовый менеджмент,

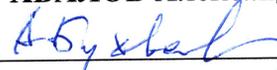
**МОСЯГИНА Ильи Ивановича**

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Научный руководитель

д.ф.-м.н., заведующий кафедрой финансов и  
учета

**БУХВАЛОВ Александр Васильевич**

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Санкт-Петербург

2022

## **Заявление о самостоятельном выполнении выпускной квалификационной работы**

Я, Мосягин Илья Иванович, студент 4 курса направления 38.03.02 «Менеджмент» (профиль подготовки – Финансовый менеджмент), заявляю, что в моей выпускной квалификационной работе на тему «Реальные опционы как инструмент принятия стратегических решений в отрасли сельского хозяйства», предоставленной в службу обеспечения программ бакалавриата для последующей передачи в государственную аттестационную комиссию для публичной защиты, не содержится элементов плагиата. Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее курсовых и выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Мне известно содержание п. 9.7.1 Правил обучения по основным образовательным программам высшего и среднего профессионального образования в СПбГУ о том, что «ВКР выполняется индивидуально каждым студентом под руководством назначенного ему научного руководителя», и п. 51 Устава федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» о том, что «студент подлежит отчислению из Санкт-Петербургского университета за представление курсовой или выпускной квалификационной работы, выполненной другим лицом (лицами)».



27 мая 2022 г

## АННОТАЦИЯ

Автор	Мосягин Илья Иванович
Название ВКР	Реальные опционы как инструмент принятия стратегических решений в отрасли сельского хозяйства
Образовательная программа	Менеджмент
Направление подготовки	38.03.02 «Менеджмент»
Год	2022 г.
Научный руководитель	д.ф.-м.н. Бухвалов Александр Васильевич
Описание цели, задач и основных результатов	<p><i>Цель:</i> Разработать метод оценки оптимального времени переноса плантации пшеницы в условиях неопределенного влияния климата.</p> <p><i>Задачи:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Представить перенос плантации пшеницы в виде реального опциона ожидания;</li> <li>2. Построить имитационную модель урожайности плантации пшеницы при неопределённом влиянии климата;</li> <li>3. Собрать и охарактеризовать данные, которые используются для оценки переменных, входящих в модель;</li> <li>4. Продемонстрировать на стилизованном примере перенос площадей выращивания пшеницы с учетом оптимизации времени переноса;</li> <li>5. Предложить практические рекомендации о необходимости и моменте переноса плантации.</li> </ol> <p><i>Основные результаты:</i> Разработан метод определения оптимального времени переноса плантации пшеницы в условиях неопределенного влияния климата.</p> <p><i>Метод позволяет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценить ожидаемое оптимальное время переноса, которое дает максимальную ценность для компании производителя пшеницы;</li> <li>• Выделить промежуток времени, в рамках которого ценность от исполнения реального опциона остается положительной;</li> <li>• Выявить пороговое значение урожайности для переноса, которое дает положительную ценность от исполнения реального опциона.</li> </ul>
Ключевые слова	Реальный опцион, Сельское хозяйство, Стратегия переноса с/х плантаций, Климат и стратегия АПК.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. РЕАЛЬНЫЙ ОПЦИОН ПРИ ПЕРЕНОСЕ ПЛАНТАЦИИ ПШЕНИЦЫ .....	7
1.1 ПОНЯТИЕ РЕАЛЬНОГО ОПЦИОНА .....	7
1.1.1 Реальные опционы в сельском хозяйстве .....	7
1.1.2 Обзор теоретических и эмпирических исследований .....	11
1.2 ПШЕНИЦА В ЭКОНОМИКЕ РФ.....	15
1.2.1 Производство пшеницы.....	15
1.2.2 Посевные площади и состояние земель в РФ .....	18
1.2.3 Урожайность пшеницы.....	22
1.2.4 Торговля пшеницей и потребление.....	24
1.3 РИСКИ ПРОИЗВОДСТВА ПШЕНИЦЫ .....	27
1.3.1 Последствия снижения урожайности пшеницы .....	27
1.3.2 Практика переноса посевных площадей.....	29
Выводы .....	31
ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРНОСА ПЛАНТАЦИЙ.....	33
2.1 ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ИСПОЛНЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ОПЦИОНА.....	33
2.1.1 Общая характеристика модели .....	33
2.1.2 Поведение модели в динамике .....	36
2.1.3 Применение имитационного моделирования.....	41
2.1.4 Качество информации .....	45
2.1.5 Допущения необходимые для моделирования.....	47
2.2 ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА: ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОМПАНИИ ИЗ РОСТОВСКОЙ В ПСКОВСКУЮ ОБЛАСТЬ .....	50
2.2.1 Общая характеристика компании и регионов .....	50
2.2.2 Характеристика данных модели .....	53
2.2.3 Интерпретация результатов моделирования. Управленческие приложения .....	54
Выводы .....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	59
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПОШАГОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА В MS EXCEL.....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОПИСАНИЕ ВЫВОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА.....	67

## **ВВЕДЕНИЕ**

Отрасль сельского хозяйства столкнулось с новым вызовом в виде ускорившегося изменения климата [Pindyck, 2021]: повышение средних температур, экстремальные заморозки и засухи, ветровые и водные эрозии, которые усилились за последние несколько лет [IPCC, 2021] все эти риски требуют современных управленческих практик для адаптации стратегий агропромышленного комплекса.

Климат и погодные условия — один из основных факторов ведения сельского хозяйства [Павлова, 2021], особенно растениеводства, их изменения существенно повлияют на географическую структуру выращивания зернобобовых в России в ближайшие 10–15 лет, география выращивания будет скорректирована с учетом новых агроклиматических особенностей — часть регионов станут менее пригодными, когда другие, напротив, нарастят свой потенциал [Di Paola et al., 2018; Schierhorn, 2021]. Современные исследования ставят под вопрос доминирование южных районов в вопросе выращивания зернобобовых за счет рисков для урожаев, таких как засухи, пылевые бури, а также ветровые и водные эрозии [Павлова, 2021], другие исследования, напротив, подчеркивают потенциал северных районов, где повышение средних температур в рамках глобального потепления может положительно сказаться на сборах урожая [Di Paola et al., 2018, Pindyck, 2021; Schierhorn, 2021]. Несмотря на устойчивые изменения климата сложно с уверенностью говорить о том какие регионы будут выгоднее для переноса, а главное, когда осуществлять такой перенос. Применение современных управленческих инструментов, таких как реальные опционы, позволят гибко подходить к сельскохозяйственным проектам и адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды.

Реальный опцион — это возможность менеджера использовать гибкость проекта [Бухвалов, 2004]; осуществлять не одноразовые, а последовательные инвестиции, расширять проект или выходить из него, изменять тип и объемы продукции или ожидать и обучаться, за счет апробации новой информации. Именно последний тип реального опциона полезен для заявленного вызова — когда осуществлять перенос, чтобы выиграть от изменения агроклиматических условий среды?

**Цель представленной работы** — разработать метод оценки оптимального времени переноса плантации пшеницы в условиях неопределенного влияния климата.

Цель работы достигается путем выполнения следующих задач, в представленной последовательности, для удобства данный порядок соблюдается и в общей структуре работы:

1. Представить перенос плантации пшеницы в виде реального опциона ожидания;
2. Построить имитационную модель урожайности плантации пшеницы при неопределённом влиянии климата;
3. Собрать и охарактеризовать данные, которые используются для оценки переменных, входящих в модель;
4. Продемонстрировать на стилизованном примере перенос площадей выращивания пшеницы с учетом оптимизации времени переноса;
5. Предложить практические рекомендации о необходимости и моменте переноса плантации.

Структура работы имеет следующий вид:

**1 глава** целиком посвящена 1 задаче — в первом параграфе вводится понятие реального опциона, приводится обзор литературы, рассматриваются примеры реальных опционов в сельском хозяйстве России. Во втором параграфе рассматривается роль пшеницы в экономике России, а также приводится структура земельного фонда страны. Третий параграф посвящен рискам выращивания пшеницы и инструментам управления данными рисками — реальным опционам.

**2 глава** посвящена задачам 2–5 связанным с моделированием и интерпретацией результатов. Первый параграф, в частности пункты 1–3 посвящены задаче 2 — моделированию в общем виде, четвёртый пункт данного параграфа рассматривает задачу 3 — характеристику собранных данных.

Второй параграф посвящен задаче 4 — использованию метода оценки оптимального времени переноса, она рассматривается во всех пунктах параграфа, при этом в третьем пункте предлагаются конкретные управленческие приложения для задачи 5.

**Актуальность данной работы** подтверждается современными работами в сфере агроклиматических рисков [Павлова, 2021; IPCC 2021, Pindyck 2021], которые делают упор на их усиление во всех странах мира в последние годы и необходимость принятия решений по адаптации. Работы [IPCC 2021, Pindyck 2021] подчеркивают не только текущее ухудшение трендов в агроклиматической среде, но и обосновывают будущую деградацию при имеющихся сейчас тенденциях. Для России актуальность в вопросах климатических рисков в сельскохозяйственной сфере обостряется за счет того, что она стала ключевым игроком на рынке экспорта зерна [FAO, 2021; Trademap, 2022], а также тем, что более 60% земель на которых ведется выращивание пшеницы находятся в зонах рискованного

земледелия [Павлова, 2021]. На практике государство всячески поддерживает инициативы по защите продовольственной безопасности страны, одной из таких инициатив является «Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития и климатических изменений до 2030 г.» включающая увеличение площадей ведения хозяйства и разработку новых, устойчивых к изменениям климата сортов.

Ответом на вызовы изменения климата стали работы, которые предлагают реальные опционы в качестве инструмента адаптации [Di Paola et al., 2018; Rising, Devineni 2020; Corato, Ginbo, 2021], большинство из них рассматривают два типа опционов: опцион переключения, когда при реализациях среды делается выбор в пользу культур с большей пригодностью для текущих условий, и опцион ожидания, когда компания ожидает удачного момента для изменения географической стратегии своей деятельности с переносом в другой регион. Первый тип интересен, но не соотносится с лидерством России на рынке пшеницы, которое необходимо сохранить за счет высоких объемов производства пшеницы. Второй тип — реальный опцион ожидания, более пригоден, учитывая высокий размер потенциального банка земель для введения в оборот — более 9,5 млн га [Минсельхоз, 2021].

### **Научная новизна**

Несмотря на наличие работ в сфере реальных опционов в сельском хозяйстве их число довольно мало по сравнению с аналогичными работами в добывающих отраслях, данная работа является первой, которая применяет метод оценки времени оптимального переноса для пшеницы в России. Более того имеющаяся метод оценки времени переноса для плантации кофе в условиях изменения среды в Эфиопии [Corato, Ginbo, 2021] существенно адаптирован автором под агротехнические особенности выращивания пшеницы в России. Наконец, используемый математический аппарат расчетов по [Dixit, Pindyck, 1994] в [Corato, Ginbo, 2021] заменен на инструмент имитационного моделирования Монте-Карло для увеличения гибкости модели и возможности наглядной интерпретации результатов.

# ГЛАВА 1. РЕАЛЬНЫЙ ОПЦИОН ПРИ ПЕРЕНОСЕ ПЛАНТАЦИИ ПШЕНИЦЫ

## 1.1 Понятие реального опциона

### 1.1.1 Реальные опционы в сельском хозяйстве

Цель данного раздела — ввести понятие реального опциона, дать характеристику данного инструмента для компаний в сфере сельского хозяйства и предоставить описательную характеристику опциона, который будет использоваться в данной работе.

Реальный опцион — это возможность, для менеджмента компании принимать гибкие решения при постоянно изменяющихся условиях среды; такие решения зачастую встроены в определенные активы компании или, обобщая, — в отдельные решения управляющих [Бухвалов, 2004].

В академической среде распространено два взгляда на реальные опционы — первый рассматривает их, в основном как теоретическое приложение финансовых опционов в виде обоснования различных инвестиционных программ компании [Mun, 2002]. Второй взгляд на реальные опционы, поддерживаемый классиками [Халл, 2008; Myers, 1997], дополняет первый стратегическим восприятием — реальные опционы воспринимаются, в том числе, как инструмент принятия решений менеджментом.

Долгое время, особенно в России, реальные опционы активно освещались в академической литературе в сферах строительства, исследования привлекательности проектов в сфере добычи полезных ископаемых и мало затрагивали деятельность сельского хозяйства, хотя последнее отличается высокой неопределенностью ввиду зависимости от непредсказуемого климата и иных слабо предсказуемых факторов [Павлова, 2021]. Безусловно, такие публикации были, но их объем уступает тем же исследованиям в области металлургии и нефтедобычи. В этом ключе ценность данной работы увеличивается тем, что в ней собраны и описаны немногочисленные работы по реальным опционам в сельском хозяйстве включая работу итальянских авторов Luca Di Corato и шведского ученого Tsegaye Ginbo [Corato, Ginbo, 2021], рассматривающих пример переноса посевных мощностей кофе под действием неопределенного климата в Эфиопии. В работе также описываются работы Di Paola A. с модуляцией пригодности регионов России для выращивания пшеницы [Di Paola et al., 2018].

Несмотря на малое количество публикаций по теме реальных опционов в сельском хозяйстве, агропромышленный комплекс — это довольно важная межотраслевая структура, включающая производство и переработку сельской продукции, получение сырья, которое

доводится до потребителей. Те отечественные авторы, которые занимаются проблематикой реальных опционов в агропромышленном комплексе (здесь и далее АПК), освещают различные их типы — в приведённой ниже таблице рассматриваются практические примеры реальных опционов и их типы.

Таблица 1. Примеры реальных опционов в сельском хозяйстве

Тип опциона	Примеры реальных опционов
Классификация по действию	
Последовательные инвестиции (Sequential investments, follow-up investment opportunities)	Комплекс по переработке продукции с возможностью дополнительных инвестиций в случае благоприятных условий внешней среды.
Опцион роста (Growth option)	Селекционные работы в растениеводстве и выведение высокопродуктивных животных
Опцион прекращения (Option to abandon)	Возможность выхода из проекта: к примеру, продажа земли и с/х техники при неблагоприятных условиях
Ожидания и обучения (Option to wait and learn)	Возможность компании отложить начало проекта в сфере с/х до получения новой информации.
Варьирование объемами и разнообразием продукции (Option to expand or contract)	Возможность расширения посевных площадей на неиспользованные участки. Выбор оптимальной структуры посевных культур в зависимости от погодных условий.

Составлено по: [Бухвалов, 2004] и [Голенская, 2009]

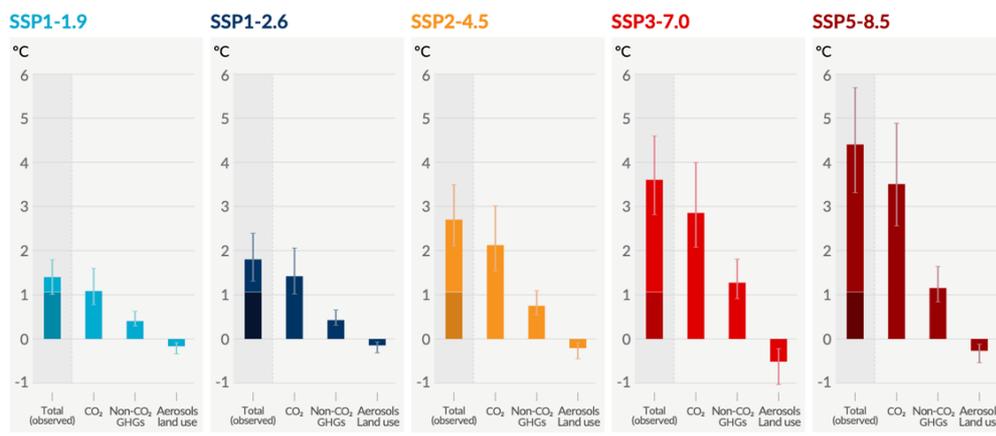
Таблица 1. Примеры реальных опционов в сельском хозяйстве (Продолжение)

Комбинации опционов	
Опцион переключения (switching options)	Переход на другие рынки сбыта, рынки используемого сырья или техники. Переключение с использования внутренних ресурсов для посева на закупочные.
Составные опционы (compound options)	При наличие доступных посевных площадей, менеджмент при благоприятной ситуации может расширить их с использованием высокорентабельных культур, а в случае неблагоприятном — напротив, законсервировать мощности.

Составлено по: [Бухвалов, 2004] и [Голенская, 2009]

С развитием теории и с ростом популярности тематики изменения климата, работ по реальным опционам в агропромышленном комплексе, и в растениеводстве в частности, стало больше [Ihli et. al, 2014; Di Paola et al, 2018, Rising, Devineni, 2020; Corato, Ginbo, 2021], исследования в данной области стимулируются и публикациями «Межправительственной группы по изменению климата» (МГЭИК) последнее крупное исследование данной группы [IPCC, 2021] предостерегает о серьезных рисках для сферы сельского хозяйства даже при текущих заданных тенденциях (сценарий SPP2-4.5), не затрагивая более пессимистичные сценарии (сценарии SSP3-7.0 и SSP5-8,5)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> SSP — это социально экономические сценарии (англ. Shared Socio-Economic Pathways). Всего по [IPCC, 2021] их пять, в порядке возрастания: «устойчивость», «середина пути» со сближением доходов людей разных стран, «фрагментация» со снижением международного сотрудничества и совместных технологических разработок, «неравенство» с активным развитием отдельных стран, «классический» фокус стран на собственном развитии без учета влияния на экологию



*Рис. 1. Влияние факторов на среднюю температуру поверхности земли*

Источник: IPCC 2021

В академической среде существуют прикладные работы по агротехнике, которые посвящены приспособлению культур к изменчивому климату, данная работа не затрагивает вопросы техники выращивания, а как и многие имеющиеся работы по реальным опционам в АПК, рассматривает ситуацию изменения естественных зон выращивания культур без изменения их биотипа. Таким образом, упор делается именно на производственные, операционные риски.

Популярными реальными опционами в сфере растениеводства являются опцион переключения между культурами и опцион ожидания с изменением географии производства. [Di Paola et al, 2018, Rising, Devineni, 2020; Corato, Ginbo, 2021]. Опцион переключения между культурами — это возможность компании за счет технологий, специальных активов или иных уникальных ресурсов (патентов, лицензий) изменять выбранную культуру отталкиваясь от реализовавшейся среды. Возможность отложить начало проекта в другом регионе, в свою очередь, это возможность компании гибко подходить к выбору места ведения своей деятельности за счет наличия крупного земельного банка, при этом гибкость встроена и в момент выбора момента переноса для максимального финансового эффекта от изменяющейся среды.

В данной работе рассматривается именно перенос посевных мощностей с выбором оптимального времени, ввиду высокого потенциала России с точки зрения свободного земельного банка [Минсельхоз, 2021] (Пригодные к введению в оборот земли по федеральным округам имеют структуру представленную в тТаблица 2). Более того, под действием изменения климата одни регионы становятся менее пригодными для выращивания с/х культур, когда другие, напротив, увеличивают свой потенциал [Di Paola et al., 2018; Schierhorn, 2021] — такое смещение эффективности земельных участков в различных регионах увеличивает привлекательность инструмента переноса.

Таблица 2. Площади потенциальных земель для введения в севооборот по федеральным округам

<b>Федеральный округ</b>	<b>Потенциальная площадь, тыс. га.</b>
Приволжский федеральный округ	2 188,5
Сибирский федеральный округ	2 030,6
Центральный федеральный округ	1 960,6
Уральский федеральный округ	988,7
Дальневосточный федеральный округ	819,1
Северо-Западный федеральный округ	806,6
Южный федеральный округ	711,1
<b>Итого</b>	<b>9 505,2</b>

Составлено по: [Минсельхоз 2021]

Северо-Западный ФО, как будет отмечено далее в работе обладает широким потенциалом в рамках развития глобального потепления в сравнении с Южным ФО, который, напротив, существенно пострадает от увеличения средних температур, засух и развития присутствия вредителей. Северо-Западный ФО также выигрывает Южный ФО и по показателю — потенциальная площадь для введения в оборот (806,6 тыс. га) против (711,1 тыс. га), что выделяет его в качестве региона с высоким потенциалом для переноса посевных площадей.

В данном пункте было введено понятие реального опциона, рассмотрены различные типы данного инструмента и вариации его внедрения в агропромышленную отрасль. Пункт также содержит обоснование выбора опциона ожидания для переноса плантации в другой регион, как эффективного инструмента гибкости для компании сельскохозяйственного производителя в России. В заключительной части пункта приводятся аргументы в пользу Северо-Западного ФО как потенциального региона для переноса.

### **1.1.2 Обзор теоретических и эмпирических исследований**

Цель данного раздела — обобщить основные источники, которые используются в данной работе с разделением на относящиеся к теме реальных опционов в общем, статьи, которые рассматривают приложения реальных опционов в отраслях сельского хозяйства, а также дополнительные источники, касающиеся агроклиматических изменений. Обобщение источников приведено в конце раздела для удобства.

Работа не ограничивается источниками, описанными в данном разделе, их стоит понимать скорее, как отправные точки, которые дают основу для дальнейшего изучения, но

в то же время являются важным структурным элементом, вокруг, которого построено все исследование. В данном разделе не рассматриваются источники информации, которые послужили для сбора необходимых исторических данных для модели, они подробно рассматриваются в разделе 2.1.3, 2 главы.

Источниками, которые использовались для общего обзора реальных опционов, были: [Бухвалов 2004, Бухвалов 2006], [Халл, 2008] и [Dixit, Pindyck, 1994], в них описывается основная терминология, история развития и особенности данного инструмента, при этом последние две, упомянутые работы, также разбирают математическое приложение опционов для проектов. Интенсивно в работе использовалась работа [Mun, 2002] в ней развернуто рассматриваются различные примеры оценки реальных опционов с использованием имитационного моделирования Монте-Карло, такое сочетание двух инструментов рассматривается и в текущей работе. Приложением моделирования реальных опционов на программу MS Excel являлась работа [Benninga, 2014]

Исследованием реальных опционов для компаний из сферы сельского хозяйства посвящены следующие современные работы, которые уже упоминались ранее: [Di Paola, 2018], [Rising, Devineni, 2020] и [Corato, Ginbo, 2021]. Di Paola [Di Paola et al, 2018] в своей работе моделирует сценарии развития климатических изменений в России с рассмотрением пригодности регионов для выращивания пшеницы. Результатом стал вывод о смещении эффективности земельного банка для выращивания пшеницы от южных регионов к северным. Rising, Devineni [Rising, Devineni, 2020] рассматривают перемещение из отдельных регионов в другие в качестве реального опциона, при этом в качестве инструментария они используют Байесовское иерархическое моделирование и метод наименьших квадратов, включая в нее различные факторы климатических изменений.

Последняя упомянутая работа — [Corato, Ginbo, 2021], является основной с точки зрения моделирования, так как из всех рассмотренных ранее она предлагает не зависимость урожайности пшеницы от климатических факторов, а использование случайных процессов с заданными параметрами тренда. В качестве случайного процесса авторы предлагают арифметическое броуновское движение, такой выбор объясняется выбором основной переменной в виде разности урожайности в текущем и потенциальном регионах.

Отличаем и новизной текущей работы от работы [Corato, Ginbo, 2021], является десантирование от продвинутого математического аппарата и решения дифференциальных уравнений к более понятной форме имитационного моделирования, а также адаптация модели под агротехнические особенности выращивания пшеницы.

Источниками, которые составляли основы в сфере агроклиматических особенностей, являлись: доклад «Межправительственной группы экспертов по изменению климата» [IPCC, 2021], доклады о использовании и состоянии сельскохозяйственных земель, предоставленные Министерством сельского хозяйства [Минсельхоз 2020, 2021] и диссертация на соискание докторской степени Павловой В.Н. «Продуктивность зерновых культур в России при изменении агроклиматических ресурсов в 20-21 веках» [Павлова, 2021]. [IPCC, 2021] — это крупный обзор, затрагивающий все страны мира в рамках изменения климата, в нем приводятся прогнозы и комментарии экспертов, которые легли в основу теоретического обоснования актуальности работы для России, а также выбора регионов для моделирования. Доклады Минсельхоза о состоянии земель [Минсельхоз 2020, 2021], также способствовали выбору регионов для моделирования на основе доступности и качества имеющихся в них земель. Павлова [Павлова, 2021] в своей работе покрывает теоретические аспекты выращивания зерновых культур, которые служат основой для блока 1.2 данной работы для адаптации модели под агротехнические особенности выращивания пшеницы.

Обобщение основных источников информации с разделением на относящиеся к теме реальных опционов, приложениям реальных опционов к отрасли сельского хозяйства, и работам, касающимся агроклиматических изменений приведены в таблице ниже.

Таблица 3. Основные источники и их применение в работе

	<b>Источник</b>	<b>Краткая характеристика использования в работе</b>
Реальные опционы общая характеристика	1) Бухвалов А. В. Реальные опционы в менеджменте: классификация и приложения //Российский журнал менеджмента. – 2004. – Т. 2. – №. 2. – С. 27-56. 2) Бухвалов А. В. Реальны ли реальные опционы //Российский журнал менеджмента. – 2006. – Т. 4. – №. 3. – С. 77-84.	Общий обзор инструментария. Классификация инструментария. Практические классические примеры

*Составлено автором*

Таблица 3. Основные источники и их применение в работе (Продолжение)

Реальные опционы общая характеристика	Джон К. Халл. Опционы, фьючерсы и другие производные финансовые инструменты //М.:«Вильямс. – 2007. – С. 1056.	Математическая база использования реальных опционов
	Mun J. Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. – John Wiley & Sons, 2002. – Т. 320.	Имитационное моделирование Монте-Карло с реальными опционами
	Benninga S. Financial modeling. – MIT press, 2014.	Использование моделирования с использованием MS Excel
Реальные опционы в сельском хозяйстве	Di Paola A. et al. The expansion of wheat thermal suitability of Russia in response to climate change //Land Use Policy. – 2018. – Т. 78. – С. 70-77.	Результаты моделирования пригодности регионов для выращивания пшеницы под климатическими изменениями
	Rising J., Devineni N. Crop switching reduces agricultural losses from climate change in the United States by half under RCP 8.5 //Nature communications. – 2020. – Т. 11. – №. 1. – С. 1-7.	Пример релокации пшеницы в новый регион
	Corato L. D. I., Ginbo T. Climate change and coffee farm relocation in Ethiopia: a real-options approach //Climate Change Economics. – 2021. – Т. 12. – №. 03. – С. 2150011.	Пример релокации посевных площадей с использованием простого броуновского движения

Составлено автором

Таблица 3. Основные источники и их применение в работе (Продолжение)

Агроклиматические особенности	Allan R. P. et al. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. – 2021.	Общий обзор климатических изменений и их влияния на АПК
	1) Минсельхоз, Доклад о состоянии сельскохозяйственных земель в Российской Федерации в 2020 г. – 2020 2) Минсельхоз, Доклад о состоянии сельскохозяйственных земель в Российской Федерации в 2021 г. – 2021	Объем доступных в РФ земельных участков для ведения с/х деятельности. Характеристика качества земель относительно климатического влияния
	Павлова В. Н., 2021. Продуктивность зерновых культур в России при изменении агроклиматических ресурсов в 20–21 веках, Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук, СПб., 271 с.	Общий обзор климатических изменений и их влияния на АПК Технологические особенности выращивания пшеницы

*Составлено автором*

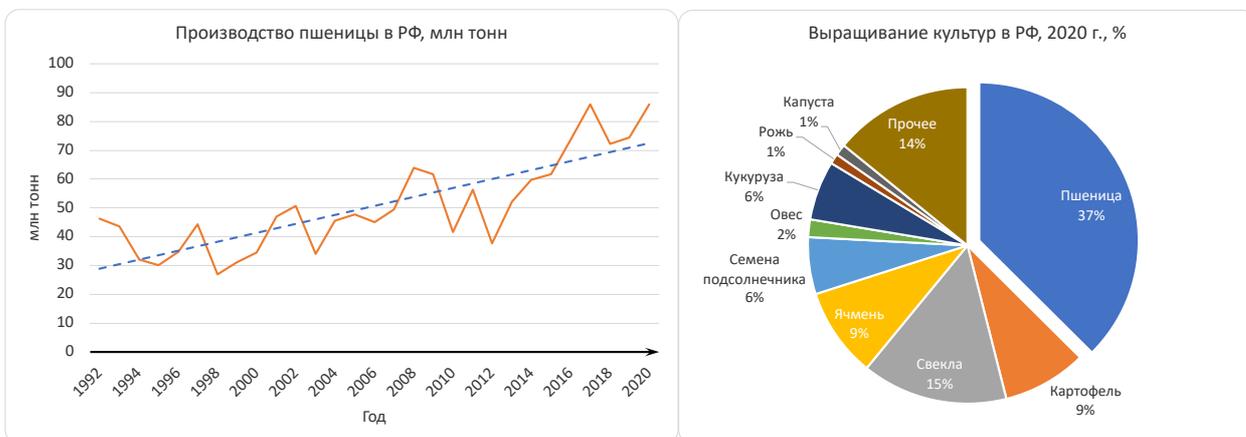
В данном пункте рассматривались теоретические и практические исследования, посвященные реальным опционам и их применению в отрасли сельского хозяйства. Применение реальных опционов в с/х — новая и мало изученная область: работ в данном направлении немного, тем не менее имеющиеся работы зарубежных авторов были рассмотрены в данной части, на их основе выделены основные используемые типы реальных опционов в с/х: опцион переключения (option to switch) и опцион ожидания (option to wait and learn).

## **1.2 Пшеница в экономике РФ**

### **1.2.1 Производство пшеницы**

Цель данного раздела — дать общее представление о производстве пшеницы, описать ее виды, период выращивания и объемы производства в РФ. В разделе приводятся факторы, послужившие основанием для выбора пшеницы в качестве основной исследуемой культуры.

Пшеница — это одна из основных культур, которые обеспечивают население продовольствием [Минсельхоз, 2020], по данным [FAO, 2022] объем выращивания пшеницы в России активно увеличивается; с 2012 г. объём выращивания возрос практически вдвое, при этом пшеница сохраняет лидерство в структуре выращивания оставляя далеко позади ближайшего конкурента — свеклу (Рис. 2)



**Рис. 2.** Производство пшеницы и её место в структуре выращивания с/х культур

Источник: [FAOSTAT, 2022]<sup>2</sup>

Обладая высокой продовольственной значимостью, пшеница пользуется популярностью и у производителей, к примеру, в цепочке создания ценности пшеничной муки по данным [Deloitte, 2019] аграрию достается в среднем до 30% от конечной цены товара (Рис. 3), более того для поддержания предпринимательской активности в значимой отрасли, государство на уровне регионов разрешает устанавливать налог на прибыль для сельхоз производителей подпадающих по своей деятельности под ст. 346.2 налогового кодекса РФ в диапазоне от 0 до 6%. [Минсельхоз, 2018].

<sup>2</sup> FAO (англ. Food and Agriculture Organization) — это продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, которая выступает площадкой для согласования и обсуждения политических решений в сфере продовольственной безопасности. FAOSTAT — это статистическая база FAO.



*Рис. 3. Структура розничной цены 1 кг пшеничной муки*

Источник: [Deloitte, 2019]

Пшеница имеет большое количество видов, секции и подвидов, в данной работе, учитывая ее упор на финансы, будет уделено внимание лишь основным из них. Основная классификация отталкивается от периода выращивания и подразделяет пшеницу на однолетнюю и многолетнюю, в РФ в основном выращивается одногодичная пшеница; по сроку посева пшеница подразделяется на яровую, посев которой начинается весной, и озимую, которая высаживается в конце лета; ещё одной характеристикой является твёрдость зерна, в связи с этим пшеница может называться мягкой и твердой — мягкая пшеница подходит для выпечки хлеба и иных хлебобулочных изделий, тогда как твердая подходит для изготовления бакалеи [Ковтун В., Ковтун Л., 2013].

Яровая пшеница является важной зерновой культурой ввиду ее продовольственной значимости. В большей степени яровая пшеница распространена засушливых районах на юго-востоке европейской части России, сухие районы позволяют зернам насыщаться белком и клейковиной высокого качества, тем не менее излишняя засуха значительно снижает урожайность пшеницы [Павлова, 2021, стр. 94]. Павлова в работе «Продуктивность зерновых культур в России при изменении агроклиматических ресурсов в 20–21 веках» также приводит следующую оценку распределения основных посевных площадей данного вида пшеницы: Сибирский ФО (47%), Приволжский (33%) и Уральский ФО (16%). Озимая пшеница является популярной культурой для выращивания во многих регионах РФ: Северный Кавказ, Центрально-Черноземный регион и Поволжье — в этих регионах сосредоточено больше 80% всех посевных площадей страны [Павлова, 2021, стр. 95]. При этом озимая пшеница более требовательна к климатическим аномалиям — для здорового вегетативного периода необходим плавный переход к зиме без резких заморозков и мягкий климат во время зимних месяцев [Ковтун В., Ковтун Л., 2013].

Особенностью и яровой и озимой пшеницы является сезонность — она проявляется как в периоде посадки, так и в периоде сбора урожая, что приводит к ежегодным разрывам в финансовых и операционных циклах (Рис. 4) — часть аграриев регулируют их за счет коротких кредитов или договоренностей о предоплате от покупателей и отсрочки оплаты от поставщиков.

	янв	февр	мар	апр	май	июн	июл	авг	сент	окт	нояб	дек
Ярова					Посадка	Форм-ие			Сбор			
Озимая					Формирование	Сбор		Посадка				

*Рис. 4. Календарь циклов пшеницы на 2020/2021 гг.*

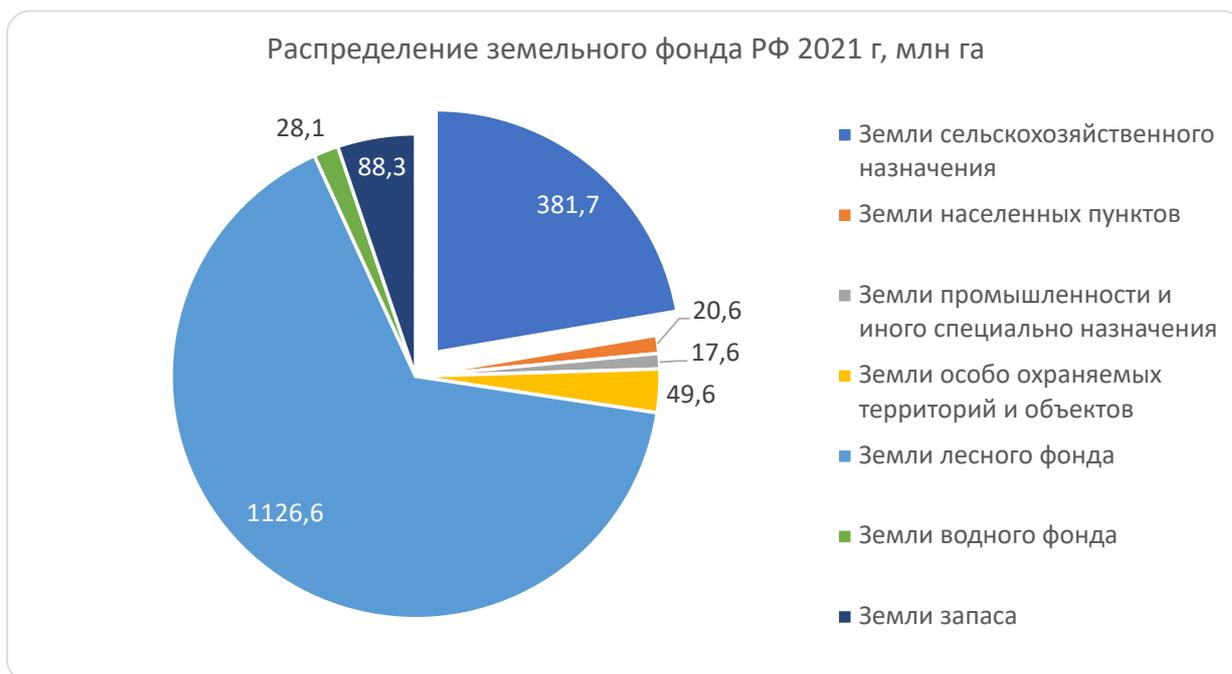
Составлено по: [Refinitive, 2022]

В данном пункте были рассмотрены особенности выращивания пшеницы в РФ. Пшеница является основной выращиваемой культурой, занимая долю 37% от всех выращиваемых культур для потребления. Рассмотрены типы пшеницы и их районы выращивания, выделено, что озимая пшеница более зависима от климатических условий.

### 1.2.2 Посевные площади и состояние земель в РФ

Цель данного раздела — дать общее представление об объеме и качестве посевных площадей в России, выделить основные районы выращивания пшеницы. В данном разделе также приводятся комментарии экспертов относительно будущего смещения посевных площадей в Северные районы страны под действием глобального потепления.

Российская Федерация — это самая большая по площади страна мира, имеющая разнообразный земельный банк (1712,5 млн га). Ввиду того, что плотность населения относительно небольшая возрастает потенциал незанятых земель, которые активно используются в промышленной и сельскохозяйственной деятельности. Как видно на Рис. 5, основную долю территории занимают леса, сразу за ними следуют земли сельскохозяйственного назначения.



**Рис. 5.** Земельный фонд РФ в 2021 г., млн га

Составлено по: [Минсельхоз, 2021]

Из 381,6 млн гектар сельскохозяйственного назначения под сельскохозяйственный угодья выделено 197,8 млн гектар, остальные земли имеют тип несельскохозяйственные угодья. Сельскохозяйственные угодья — это земли, напрямую используемые в производстве агропромышленной продукции: пашни (116,21 млн га, 58,8%), сенокосы (18,72 млн га, 9,5%), пастбища (57,23 млн га, 28,9), залежи (4,37 млн га, 2,2%) и земли, занятые многолетними насаждениями (1,24 млн га, 0,6%). Несельскохозяйственные угодья — это территории, которые используются в качестве вспомогательных для производства с/х продукции, к ним относят земли, использующиеся под коммуникации, внутрихозяйственные дороги, а также здания и строения, используемые в производстве. [Минсельхоз, 2021]. Распределение на 2021 год представлено в Таблица 4, из него отчетливо видно, что во всех районах не считая Дальневосточного ФА, пашни занимают наибольшие площади относительно других типов с/х угодий. Примечательно, что лидером по количеству площадей выступает Приволжский ФА, а Северо-Западный ФА обладает наименьшей площадью используемых на данный момент пашен и уступает всем остальным регионам по площади пастбищ. Более того в [Павлова, 2021] указывается на то, что в сравнении с другими ФА, в Северо-западном округе на данный момент выращивается малое количество пшеницы — менее 1% от общего числа используемых под пшеницу площадей России, тогда как в Южном ФА сосредоточено более 40%.

Таблица 4. Распределение с/х угодий по ФА и типам, 2021 г.

Федеральный округ	млн га				
	Пашня	Пастбища	Сенокосы	Многолетние насаждения	Залежи
Центральный	22,00	4,65	2,01	0,35	0,38
Северо-Западный	2,98	1,00	1,28	0,09	0,23
Южный	17,83	12,58	0,80	0,22	0,03
Северо-Кавказский	5,37	5,35	0,52	0,11	0,02
Приволжский	34,71	12,49	3,07	0,22	0,75
Уральский	7,77	2,86	2,23	0,05	0,96
Сибирский	21,82	12,30	6,00	0,13	0,74
Дальневосточный	3,74	6,01	2,82	0,06	1,26
<b>Итого по Российской Федерации</b>	<b>116,21</b>	<b>57,23</b>	<b>18,72</b>	<b>1,24</b>	<b>4,37</b>
Итого о от общей площади земель с/х назначения, %	58,8%	28,9%	9,5%	0,6%	2,2%

Источник: [Минсельхоз, 2021]

Несмотря на отставание Северо-Западного федерального округа с точки зрения используемых земель на момент 2021 г., в том же «Докладе о состоянии сельскохозяйственных земель в Российской Федерации в 2021 г.» [Минсельхоз, 2021], приводится статистика земель пригодных для потенциального вовлечения в с/х оборот: по приведенным данным объем пригодных земель в Северо-Западном округе насчитывает 806,6 тыс. гектар распределенных между Псковской (186,1 тыс. га), Вологодской (155,3 тыс. га) и Архангельской областями (168,7 тыс. га). При этом многие исследователи агроклиматических изменений в РФ указывают на смещение благоприятных агроклиматических условий из южных районов к северным: в [Hannah et al., 2020, Xu et al., 2020] указывается что в Канаде, Скандинавских странах и, в особенности, в России, агроклиматические условия на рубеже 5–10 лет станут наиболее благоприятными для выращивания зерновых, Schierhorn [Schierhorn, 2021] указывает на потенциал земель находящихся между 54 и 60 градусами с.ш., как раз в него попадает и Северо-Западный ФА, наконец [Di Paola et al., 2018] при проведении сценарного моделирования приходит к выводу о том, что в нейтральном и активном сценарии развития глобального потепления районы южной части России потеряют до половины имеющегося у них потенциала пригодности выращивания пшеницы, тогда как северные районы напротив выйдут на максимальные значения эффективности уже на промежутке 20 лет.

Основные риски, которые влияют на качество почв в РФ: ветровая и водная эрозия почв, излишнее засоление и переувлажнение [Минсельхоз, 2021] — процент земель

подверженных указанным рискам, приведены в Таблица 5. Как видно из таблицы федеральными округами, наименее подверженных основным рискам являются: Уральский ФА, Дальневосточный ФА, Центральный ФА и Северо-Западный; наибольший риск последнего состоит в переувлажнении, при этом он существенно может быть снижен при увеличении среднегодовых температур, за счет испарения лишней влаги [Schierhorn, 2021 стр. 12]

Таблица 5. Подверженность земель ФА основным рискам

<b>Федеральный округ</b>	<b>Ветровая эрозия, %</b>	<b>Водная эрозия, %</b>	<b>Засоление, %</b>	<b>Переувлажнение, %</b>
Центральный	2	6,3	2,2	6,4
Северо-Западный	0	2,8	0	24
Южный	15	22,7	3,5	2,4
Северо-Кавказский	24,3	25,6	6,6	8
Приволжский	18,7	37,5	0,6	3,3
Уральский	0,3	0,7	0,5	12,1
Сибирский	22,8	20	5,6	9,8
Дальневосточный	3,6	2,9	2,7	5,9

*Источник:* [Минсельхоз, 2021]

Если сравнивать пшеницу с другими популярными культурами: ячменем и кукурузой, то пшеница значительно опережает конкурентов по посевным площадям, единственное исключение — Северо-Западный ФА, где пшеница занимает 100 тыс. га против 115 тыс. га ячменя и 15 тыс. га кукурузы. [Deloitte, 2019].

В данном пункте рассматривается важная агротехническая характеристика выращивания пшеницы — посевные площади и их качество по федеральным округам. Выбор эффективного участка и его доступность важная характеристика реального опциона ожидания. Выделено, что в Северо-Западном ФО задействовано меньше всего с/х угодий под пашни, по сравнению с другими ФО (2,97 млн га), что дает высокий потенциал расширения деятельности, при этом имеющиеся участки, находятся в лидерах по качеству земель, обладая наименьшими показателями ветровой и водной эрозии, а также минимальными значениями вредного засоления. Северо-Западный ФО существенно отстает по показателю переувлажнения почв, но увеличение среднегодовых температур существенно нивелирует данный риск.

### 1.2.3 Урожайность пшеницы

Цель данного раздела состоит в том, чтобы дать общее представление об урожайности пшеницы в регионах РФ выделить основные особенности и тренды.

Урожайность пшеницы в России в среднем за период наблюдения 1998–2020 гг. по озимой пшенице составила 25,41 ц/га, тогда как по яровой лишь 16,56 ц/га [Росстат, 2022]. Распределение средней урожайности по округам представлено в Таблица 6, примечательно, что несмотря на скромные показатели объема используемых территорий Северо-Западного ФА для выращивания пшеницы, рассмотренных в разделе 1.2.1, данный ФА показывает отличные результаты урожайности по озимой пшенице по сравнению с другими регионами— такой успех эксперты связывают не только с высоким качеством почвы, но улучшающимися агроклиматическими условиями, которые начали складываться в последние десятилетия [Павлова, 2021]. Более того, в Северо-Западном округе по сравнению с районами Урала, Сибири и Дальнего Востока заметно меньше неожиданных катаклизмов [Павлова, 2021], что позволяет менеджерам направлять свои усилия на повышение качества продукта и его урожайности.

Таблица 6. Средняя урожайность пшеницы по федеральным округам

Тип и ФА	т (1998–2020), ц/га
<b>Пшеница озимая</b>	<b>25,41</b>
Северо-Западный федеральный округ	31,69
Центральный федеральный округ	30,31
Южный федеральный округ	36,24
Приволжский федеральный округ	20,38
Северо-Кавказский федеральный округ	21,02
Уральский федеральный округ	17,02
Сибирский федеральный округ	25,97
Дальневосточный федеральный округ	20,67
<b>Пшеница яровая</b>	<b>16,56</b>
Центральный федеральный округ	23,23
Северо-Западный федеральный округ	20,26
Приволжский федеральный округ	14,68
Северо-Кавказский федеральный округ	13,27
Дальневосточный федеральный округ	16,37

Составлено по: [FAOSTAT, 2022]

Таблица 6. Средняя урожайность пшеницы по федеральным округам

(Продолжение)

Тип и ФА	m (1998–2020), ц/га
Сибирский федеральный округ	16,77
Южный федеральный округ	13,49
Уральский федеральный округ	14,39

Составлено по: [FAOSTAT, 2022]

Множество факторов, которые влияют на урожайность пшеницы в регионах, можно разделить на две большие группы: общий уровень культуры земледелия и агроклиматические факторы, по сути, разделяя влияние на урожайность на технологическую и климатическую составляющую [Павлова, 2021]. Первая включает в себя общую систему земледелия, используемые химикаты и способы борьбы с вредителями, вторая общую агроклиматическую изменчивость. Большое количество исследований посвящено отделению влияния технологических и климатических факторов на урожайность: в работе [Пасов, 1986] приводится пример подбора технологических факторов на урожайность, при этом тренд возможно описать линейно. Что касается климатических факторов, то их гораздо сложнее использовать в модели, потому что исследователи еще не сошлись во мнении, что включать в такую многофакторную модель и как учитывать случайный фактор влияния — [Rising, Devineni, 2020], в работе рассматривают различные наборы факторов для модели МНК, но описательная сила таких моделей не превышает 50%, в качестве альтернативы авторы предлагают использовать Байесовскую иерархическую модель, которая повышает описательную силу до 76%, но такая модель использует продвинутый математический аппарат и сложна в интерпретации. Даже используя продвинутые факторные модели для прогноза урожайности встает вопрос в их целесообразности для менеджмента: зная зависимость урожайности от будущих факторов управленцам придется задаваться вопросом о случайности этих факторов в будущем, ввиду чего в данной работе используется другой подход к прогнозу урожайности в виде случайного блуждания, подробно описанный в разделе 2.1.2

Если еще раз обратиться к Таблица 6, необходимо подчеркнуть, что Северо-Западный ФА не всегда был лидером по урожайности озимой пшеницы, если сравнивать его текущие значения они далеки от начальных — 15 ц/га в 1998 году [Росстат, 2022]. Тем не менее тренд на увеличение урожайности хорошо прослеживается от года к году, он представлен на Рис. 6.



**Рис. 6.** Урожайность озимой пшеницы по годам в Северо-Западном ФА

Составлено по: [FAOSTAT, 2022]

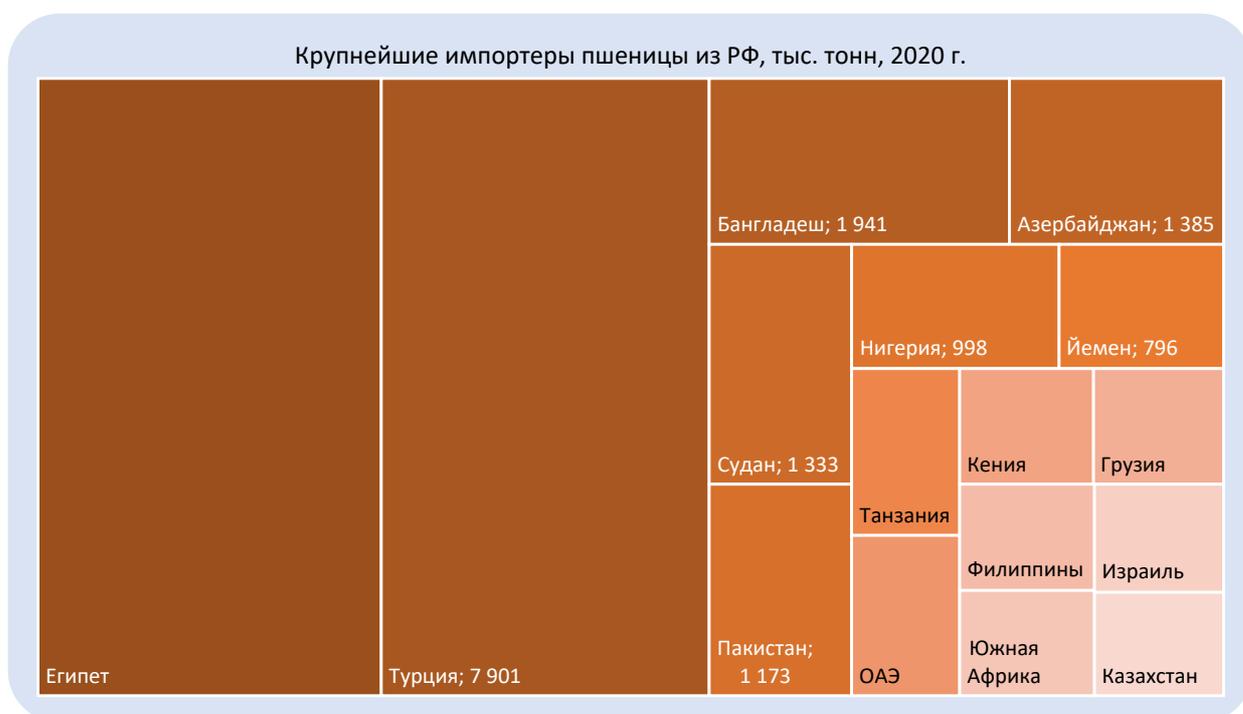
В данном пункте рассмотрена характеристика урожайности пшеницы по типам яровой и озимой, выделено, что яровая пшеница уступает озимой по урожайности (в среднем 16,56 ц/га) против (в среднем 25,41 ц/га) при этом в рамках анализа озимой пшеницы наиболее плодородными на промежутке 1998-2020 гг. являются Северо-Западный ФО (в среднем 31,69 ц/га) и Южный ФО (в среднем 36,24). Выделен тренд на рост урожайностей озимой пшеницы в Северо-Западном ФО — увеличение более чем на 65% за последние 10 лет.

#### 1.2.4 Торговля пшеницей и потребление

Цель данного раздела — дать характеристику производства пшеницы в РФ в натуральном выражении, это будет сделано через описание продовольственного и промышленного каналов использования пшеницы и соотношения их объемов. В разделе также рассматривается положение РФ на международном рынке пшеницы и её основных экспортных направлений.

Повсеместный доступ к продовольствию — одна из ключевых задач мирового сообщества, включенная в цели устойчивого развития. Многие страны ежегодно наращивают объемы производства продовольствия как экстенсивными, за счет увеличения посевных площадей так и интенсивными методами за счет улучшения технологий выращивания сельскохозяйственных культур. По данным Департамента Сельского Хозяйства США, производство основных зерновых культур, к которым относится кукуруза, пшеница, рис и ячмень увеличится к 2028 году на 11,5% относительно 2018 года до 2,81

млрд тонн, а их потребление увеличится до 2,79% [USDA, 2018]. Одной из основных причин увеличения потребления является численный рост населения — по данным ООН [UN, 2022] согласно консенсус прогнозу экспертов данной организации численность населения к 2030 году может достигнуть 8,5 млрд человек, к 2050—9,7 млрд человек, а к 2100 — 11,2 млрд. Несмотря на рост населения в разных странах, не все из них имеют равный потенциал выращивания зерновых, многие страны Азии и Африки за счет малопродуктивного климата и сухих почв долгие годы являются чистыми импортерами такой продукции [Минсельхоз, 2020]. В последние годы, основным экспортером, который удовлетворяет потребности других стран, выступает Россия [Trademap, 2022]. На графике ниже приведены основные направления экспорта из России в 2020 году, список стран не ограничивается представленными, но они формируют более 76% общего объема импорта от РФ.



**Рис. 7.** Основные импортеры, формирующие более 76% импорта из РФ, 2020 г.

Составлено по: [Trademap, 2022]

Согласно [Trademap, 2022] Россия находится на первом месте по объему экспорта необработанной пшеницы занимая 17,6% общего рынка торговли данной продукцией, для сравнения на рынке кукурузы Россия занимает 11 место с объемом рынка 1,1%, а на рынке ячменя на 3-м с объемом 12,1%. Если сравнивать экспорт РФ с точки зрения обработанной продукции зерновых, то на рынке пшеничной муки страна находится на 15 месте с долей 1,6%, а на рынке экспорта отрубей на 3 с долей 7,7%, что говорит о слабой ориентации данной отрасли промышленности к развитию переделов помимо начального.

Внутренне потребление пшеницы в РФ подразделяется на два основных направления: продовольственное и промышленное. Продовольственное направление включает производство зерна, которое направляется на продовольственные товары такие как мука и крупы; промышленное потребление, включает производство на пищевые цели для корма скота и производства продовольственных товаров: солода, спирта, патоки, крахмала и клейковины [Минсельхоз, 2020]. В «Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса российской федерации до 2035 года» Министерства сельского хозяйства РФ, рассматривается сценарий при котором к 2035 году на продовольственные нужды будет уходить 15,2 млн тонн пшеницы, а на промышленные до 69,5 млн тонн из них на производство кормов 52,3 млн тонн, производство семян — 11,5 млн тонн, прочую промышленную переработку — 5,6 млн тонн. В той же стратегии рассматриваются 3 сценария развития данной с/х культуры, фактические значения на 2020 год и прогнозные на 2025 и 2035 г. г. приведены в таблице ниже.

Таблица 7. Прогноз показателей производства и потребления до 2035 г.

Показатели	млн тонн		
	2020 г.	2025 г.	2035 г.
Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур	110,3	116,7	140
Объем внутреннего потребления	80,1	81,4	86,2
Объем экспорта зерновых и зернобобовых культур, в том числе продуктов переработки	30,5	34,4	55,9
Мощности единовременного хранения зерновых и зернобобовых культур	159,1	163,5	164,4

Источник: [Минсельхоз, 2020]

Как видно из таблицы выше, в РФ планируется значительно увеличить объем экспорта к 2035 году на 83,3% по сравнению с 2020 годом, при этом внутренний объем потребления останется практически неизменным, как отмечалось ранее, основной объем (более 60%) внутреннего потребления будет уходить на производство кормов и комбикормов.

В данной главе рассматривается экономическая составляющая выращивания пшеницы. Выделено, что РФ занимает 1 место по экспорту данной культуры в 2020 г. при этом в рамках плана государства в ближайшие 15 лет дополнительно нарастить объемы производства и экспорта на 27,3% и 83,3%, соответственно. Отмечено, что пшеница — важный и неотъемлемый элемент продовольственной безопасности внутри страны и мире.

## 1.3 Риски производства пшеницы

### 1.3.1 Последствия снижения урожайности пшеницы

Цель данного раздела — дать общее представление о рисках, которые могут реализоваться при выращивании пшеницы; в разделе будут рассмотрены агроклиматические, технологические, внешние и социальные риски и их последствия для компаний, государства и общества.

Согласно [Минсельхоз, 2020] государство проактивно участвует в организации устойчивого агропромышленного комплекса в РФ: для отрасли растениеводства планируется оптимальная структура для распределения пашен с учетом возможных изменений в различных регионах, для регионов, где среднегодовые температуры имеют устойчивый тренд на увеличение, государство стимулирует использование продвинутых ресурсосберегающих технологий таких как расширение площадей выращивания с/х культур, использование семян более устойчивых к засухе и специальное водосберегающее орошение. Данные шаги направлены на минимизацию агроклиматических рисков, которые включают в себя не только увеличение среднегодовых температур, но и шквалы, смерчи, аномальные заморозки или, резкие засухи. К агроклиматическим рискам относится, также, смещение изменение погодных условий в сторону более благоприятных для вредителей [Павлова, 2021].

Основным агроклиматическим риском для отрасли растениеводства является смена погодных условий в сторону негативных в «Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года» [Минсельхоз, 2020 г.]. Основным риском в данной группе считается увеличение среднегодовых температур [Павлова 2021, Schierhorn, 2021] в основной части районов выращивания пшеницы на ранних этапах вегетации, такой тренд способствует засухам, низкому урожаю и расширению ареала присутствия вредителей в особенности саранчовых [Минсельхоз, 2020]. Еще одним риском Министерство сельского хозяйства РФ называет непредвиденные обильные осадки в периоды развития и сбора растений они существенно снижают качество семян, а также затрудняют его сбор и хранение. Важно подчеркнуть, что риски изменения погодных условий — это мало предсказуемый фактор, который нельзя с точностью предсказать на длинных промежутках. Для бизнеса это чревато увеличением себестоимости продукции, волатильностью выручки, которая может повлечь за собой увеличение коэффициента оттока покупателей (англ. churn rate). Это также будет способствовать снижению загрузки производственных мощностей на всех этапах производства и переработки. С точки зрения государства и общества, катаклизмы, которые могут повлечь за собой уничтожение

значительной части урожая ставят под угрозу продовольственную безопасность населения [Минсельхоз, 2020]. Тем не менее, учитывая широкое разнообразие климатических зон внутри страны одни регионы менее подвержены таким катаклизмам в сравнении с другими, согласно [Павлова, Варчева 2017] в Южных регионах России риск недобора яровой пшеницы составляет 37,9%, тогда как озимой лишь 12,1%, Приволжский и Уральский ФА имеют риски недобора яровой пшеницы 23% и 11,8%, соответственно, а озимой 18,0% и 10,7%, соответственно. Смещение ближе к Северным районам существенно снижает такие риски — они не превышают 6,4%<sup>3</sup>.

Технологические риски [Минсельхоз, 2020] определяется как недостаточный уровень развития материально-технической базы за счет ограждения российского бизнеса от передовых технологий и практик ведения с/х деятельности, которые могут привести к количественным — снижению общего объема производимой продукции и качественным — снижению качества, негативным сценариям. Существенным риском для российских производителей является развитие ГМО продуктов, которые обладают высокой устойчивостью к засухам и иным негативным проявлениям климата и дают большие урожаи [BBC, 2019] — дальнейшее развитие может подорвать первенство российских экспортеров за счет потери конкурентных преимуществ — одним из решений проблемы [Минсельхоз, 2020] является активное инвестирование в развитие новых технологий и использование передовых методов управления предприятиями с/х, одним из таких являются реальные опционы. Как отмечалось ранее в разделе 1.1.1, популярными на сегодняшний день в отрасли растениеводства являются опцион переключения между культурами и опцион ожидания со сменой географической деятельности [Di Paola et al, 2018, Rising, Devineni, 2020; Corato, Ginbo, 2021]. Государство и общество при недостаточном развитии технологий получают более дешевый продукт за счет переориентации поставщиков с внешних каналов сбыта на внутренние, но в то же время они будут получать продовольствие низкого качества по сравнению с конкурентами, такой сценарий развития может привести либо к политике протекционизма, либо к необходимости максимального открытия рынка для внешних производителей.

К внешним и социальным рискам относят риски микро и макроуровня как национального, так и общемирового характера. Национальные риски включают общий уровень цен, цены на ресурсы, политико-правовую базу уровень безработицы и уровень подготовки кадров [Мэнкью, Тейлор, 2013] к внешним рискам, относят различного рода внешнеторговые ограничения ввиду членства России в интеграционных международных

---

<sup>3</sup> Согласно работе [Павлова, Варчева 2017], риски до 5% оцениваются как низкие, [6%, 15%] — средние, [16%, 25%] — высокие, а свыше 25%, как очень высокие.

объединениях. Важнейшим внешним риском для бизнеса и государства на данный момент является стабильность валюты по отношению к валютам иностранных государств, которые импортируют продовольственную продукцию [Минсельхоз, 2020]. Общество, при реализации неблагоприятных сценариев может столкнуться с высокими ценами на продукцию, нехваткой рабочих мест и существенным снижением качества доступного продовольствия.

Описанные агроклиматические, технические, внешние и социальные риски обладают одной общей характеристикой — неопределенностью, которая выражается не только в возможности реализации тех или иных негативных сценариев, но и сложностью интерпретации их влияния на урожайность [Пасов, 1986; Раунер 1981; Rising, Devineni, 2020], поэтому любое моделирование, которое опирается на данные риски должно учитывать случайное поведение фактора урожайности в зависимости от них.

В данном пункте рассмотрены основные риски выращивания пшеницы: агроклиматические, технические и социально-экономические, наибольшей угрозой продовольственной безопасности обладают агроклиматические риски. Агроклиматические риски затруднительно прогнозировать, более того их влияние на урожайность также сложно моделируется, ввиду чего, модели и методы, включающие влияние климата должны включать элемент случайности.

### **1.3.2 Практика переноса посевных площадей**

Цель данного раздела — привести примеры академических работ, которые рассматривают перенос посевных площадей в качестве реального опциона. В разделе обзревается свежие академические статьи по тематике переноса посевных площадей в терминах реальных опционов

Как было отмечено ранее в разделе 1.3.1 выращивание пшеницы подвержено нескольким основным факторам риска: агроклиматическому, техническому, внешнему и социальному при этом практически все российские работы по теме изменению климата и его влияния на сельское хозяйство [Минсельхоз, 2020; Ковтун, 2013; Павлова, 2021] трактуют агроклиматические риски односторонне — как негативный эффект, который можно лишь хеджировать инвестируя в новые культуры, которые должны быть более устойчивыми к повышению температур, засухам, влиянию вредителей и иным возможным рискам, при этом современный риск-менеджмент не останавливается на трактовке риска лишь как негативного, а трактует его двояко — риск это не только негативные последствия, но и новые возможности. Реальные опционы, как раз тот случай, когда неопределенность можно попробовать использовать себе на благо [Бухвалов, 2004], но не каждый реальный

опцион ценен и эта мысль будет ключевой на протяжении всей работы, действительно, реальные опционы могут дать преимущество, но лишь при определенных условиях одним из которых является умелое его использование менеджментом.

Практика релокации посевных площадей получила широкое распространение в странах, которые под действием изменения климата уже столкнулись с рядом проблем продовольственной безопасности: Австралия, Африка и США. Одной из первых работ по релокации стала работа [Sanderson et al, 2016] которая рассматривала реальный опцион переключения для площадей выращивания пшеницы в Австралии, авторы работы пришли к выводу, что метод реальных опционов может быть ценен, но лишь при грамотном использовании альтернатив. [Rising, Devineni, 2020] наравне с [Corato, Ginbo, 2021] рассматривают опцион переноса посевных мощностей — первые для пшеницы в США и приходят к выводу, что такой подход может на 50% сократить потери от засух, а вторые для релокации плантаций кофе в Эфиопии. Модели МНК с различным набором факторов авторов [Rising, Devineni, 2020], как уже отмечалось ранее, имеют описательную силу менее 50%, а применяемые усложненные математические модели на основе Байесовского иерархического процесса довольно сложны в использовании и интерпретации. Подход [Corato, Ginbo, 2021], с точки зрения автора, более пригоден для применения в менеджменте ввиду того, что модель более понятна для восприятия и вместо множественных факторов использует иной подход — случайное блуждание урожайности как реализацию неопределенного влияния климата, в качестве базовой гипотезы поведения переменной принимается арифметическое броуновское движение — общая характеристика модели с адаптацией под выращивание пшеницы в России рассматривается в разделе 2.1.1, необходимые допущения приведены в разделе 2.1.4. Сравнение двух подходов к использованию релокации в качестве реального опциона приведено в таблице ниже.

Таблица 8. Сравнение работ по релокации с применением реальных опционов

Работа	Crop switching reduces agricultural losses from climate change in the United States by half under RCP 8.5	Climate change and coffee farm relocation in Ethiopia: a real-options approach
Год публикации	2020 г.	2021 г.
Авторы	James Rising, Naresh Devineni	Luca Di Corato, Tsegaye Ginbo

Составлено по: [Corato, Ginbo, 2021] и [Rising, Devineni, 2020]

Таблица 8. Сравнение работ по релокации с применением реальных опционов

(Продолжение)

Культура релокации	Ячмень, Кукуруза, Хлопок, Рис, Соя, и Пшеница	Кофе
Тип опциона	Смешанный (ожидания и переключения)	Ожидания
Рынок	США	Эфиопия
Инструментарий	Многофакторные модели МНК, Иерархическая Байесовская модель	Арифметическое броуновское движение

Составлено по: [Corato, Ginbo, 2021] и [Rising, Devineni, 2020]

Данная работа будет опираться на модель [Corato, Ginbo, 2021] с точки зрения базовой модели переноса, как более приемлемой для использования в менеджменте, при этом используя особенности выращивания пшеницы на основе [Павлова, 2021].

В данном пункте рассматривались основные работы, посвященные переносу посевных площадей в качестве реального опциона. Рассмотренные работы [Corato, Ginbo, 2021] и [Rising, Devineni, 2020] показывают высокую эффективность использования инструмента реальных опционов, к примеру для США они существенно (более 50%) снижают риск потери урожая.

## Выводы

В данной главе были рассмотрены теоретические аспекты применения реальных опционов в сельском хозяйстве, проведен анализ выращивания пшеницы в Российской Федерации с экономической и социальной точек зрения, а также рассмотрены потенциальные риски выращивания данной культуры и способы адаптации к ним.

Изучение теоретических аспектов применения реальных опционов показало, что работ в данной области немного, имеющиеся работы концентрируются на двух типах реальных опционов: переключения (option to switch) и ожидания (option to wait and learn). Первый предполагает переключение между разнообразными культурами, а второй рассматривается в виде изменения географической стратегии — выбора оптимального времени для изменения региона присутствия.

Изучение экономических и социальных аспектов выращивания пшеницы показало, что данная культура является лидером по производству внутри РФ занимая долю 37% от всех видов выращиваемых культур для потребления, объемы выращивания, при этом, постоянно увеличиваются — за последние 10 лет рост составил более 65%. При этом яровая

пшеницы в среднем уступает озимой по урожайности (16,56 ц/га) против (25,41 ц/га). Высокие урожайности озимой пшеницы свойственны Северо-Западному ФО (31,69 ц/га) он уступает лишь Южному ФО (36,24 ц/га). Северо-Западный ФО, при этом, обладает крупными потенциальными землями для вовлечения в с/х оборот (806,6 тыс. га), большая часть (186,1 тыс. га) сконцентрирована в Псковской области.

Наибольшим риском для выращивания пшеницы и иных культур обладает риск изменения климата, в особенности увеличение среднегодовых температур — для южных районов это чревато засухами, расширением ареала присутствия вредителей и потерям урожая. Северные районы, напротив, из-за увеличения среднегодовых температур увеличат свою эффективность, наибольший эффект для пшеницы в среднесрочной перспективе прогнозируется для районов между 54 и 60 градусами с.ш. (Псковская область находится на 57 с.ш.). Реальные опционы при этом выделяются как эффективный способ адаптации под изменения климата.

## ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРНОСА ПЛАНТАЦИЙ

### 2.1 Оценка времени исполнения реального опциона

#### 2.1.1 Общая характеристика модели

Целью данного раздела является общая характеристика модели, а именно [по Ольховая Яшкова, 2002] качественное описание объекта моделирования, его параметров, задач моделирования и соответствующих им математической модели. Помимо общей характеристики модели в разделе рассматриваются способы оптимизации, то есть нахождения оптимального для выбранной модели решения, поставленной задачи.

В разделе 1.3.1 подробно описан опцион на возможность переноса плантации пшеницы из текущего региона в потенциальный в различные моменты времени, при неопределенном уровне урожая. В этом случае объектом исследования является именно изменчивый урожай, его как основную переменную предлагает использовать в модели [Corato, Ginbo, 2021], так же в своей модели урожай как основную переменную использует и [Rising, Devineni, 2020]. Урожай будет измеряться в центнерах за гектар (ц/га) при этом для простоты, но не отходя от реальных принципов ведения сельского хозяйства, урожайность предполагается равной на всем исследуемом участке потенциального переноса.

Важной качественной характеристикой пшеницы, которая влияет на математическую постановку, является предшественник, то есть культура, которая выращивалась в предыдущий период на заданном участке. Допустимыми предшественниками в порядке убывания предпочтительности являются: пар чистый<sup>4</sup>; пар, занятый бобово-злаковой смесью; картофель ранний; кукуруза на зеленый корм; многолетние травы; однолетние травы; зернобобовые<sup>5</sup>. Авторы [Ковтун В., Ковтун Л., 2013; Павлова, 2021], сравнивая особенности каждого предшественника приводят данные о доминировании чистого пара над альтернативами по параметрам качества урожая, и именно он используется в модели. Внедрение в модель предшественника — это агротехническая особенность выращивания пшеницы, которая вводится автором впервые и дополняет модель [Corato, Ginbo, 2021]

Основываясь на базовой модели переноса плантации [Corato, Ginbo, 2021] как реального опциона и на описанных выше качественных характеристиках модели, введем основные параметры, которые будут использоваться в данной работе: во-первых, разность

---

<sup>4</sup> Чистый пар — поле, свободное от возделываемых сельскохозяйственных культур [ГОСТ 16265–89]

<sup>5</sup> Наилучшие предшественники [Электронный ресурс] // Уралхим — Режим доступа: <https://www.uralchem.ru>, открытый — Загл. с экрана. (дата обращения 10.01.2022)

урожайности в потенциальном (условно именуемым «В») регионе и в текущем (условно именуемым «А») регионе ведения деятельности. Формула ниже представляет данную переменную в дискретный момент времени ( $t$ ). В указанной выше работе используется именно разность, а не отдельные урожайности для каждого региона, такой же подход используется в текущей работе.

$$Z_t = Y_{B,t} - Y_{A,t} \quad (1)$$

Значения  $Y_{A,t}$  и  $Y_{B,t}$  — урожайности в текущем и в потенциальном регионе в момент времени ( $t$ ), соответственно. Второй важной переменной в модели является доходность с гектара, вместе с ней встает принципиальный вопрос, что принимать за доходность? Первой альтернативой, доступной для анализа является учетный показатель — прибыль с гектара, ее используют [Corato, Ginbo, 2021], но учитывая, что выращивание пшеницы довольно сезонный бизнес и получение денежных средств зачастую не совпадает с принятием прибыли к учету, стоит использовать иные варианты, учитывающие изменения в оборотном капитале. Автор текущей работы предлагает использовать показатель свободного денежного потока (англ. free cash flow), учитывающий изменение в оборотном капитале, не денежные потоки и инвестиции в капитальные затраты, формула его расчета представлена ниже.

$$FCFF = NI + NCC + [Int * (1 - tax\ rate)] - FCInv - WCInv, \quad (2)$$

где  $NI$  — чистая прибыль (форма 2 отчетности РСБУ),  $NCC$  — не денежные потоки,  $Int$  — чистые процентные платежи (форма 2 отчетности РСБУ),  $FCInv$  — инвестиции в капитальные затраты (форма 4 отчетности РСБУ) и  $WCInv$  — изменения в оборотном капитале (форма 1 отчетности РСБУ). Из формулы выше четко видно, что чистая прибыль корректируется на изменения в оборотном капитале, а следовательно, дает более четкую оценку получаемых средств от проекта. Альтернативно, тот же показатель возможно посчитать следующим образом:

$$FCFF = OCF - ICF, \quad (3)$$

где,  $OCF$  — операционный денежный поток, а  $ICF$  — инвестиционный денежный поток. Данный расчет дает идентичный результат, но его гораздо проще осуществить, поэтому автором он предлагается, как основной. Далее необходимо перевести показатель свободного денежного потока в относительный для включения в модель. Предлагается рассчитывать выручку с гектара по доступным на бирже ценам, и использовать ее как

множитель для нахождения относительного показателя доходность на гектар, расчёт можно представить в виде:

$$R_t = \frac{CF}{I} * I_t, \quad (4)$$

где,  $CF/I$  — средний показатель за период деятельности фирмы (в модели он допускается неизменным), а  $I_t$  — выручка с гектара в момент времени  $t$ .

Ранее уже отмечалось, что модель [Corato, Ginbo, 2021] использовалась для переноса кофейных плантаций, она не включала особенностей свойственных выращиванию пшеницы — в данной работе вводится адаптация модели с учетом данных особенностей. Важным основным показателем является площадь *используемой* земли ( $S$ ), термин *используемой* отсылает нас к началу данного раздела, а именно к одной из качественных характеристик модели — предшественнику, наилучшим был выбран чистый пар, следовательно половина земли в каждом вегетативном периоде будет стоять под паром и не будет использоваться для посева, тогда формула для расчётов будет выглядеть следующим образом:

$$S_{t,u} = \frac{1}{2} S_{t,b}, \quad (5)$$

где,  $S_{t,u}$  — используемая для посева земля в момент времени  $t$ , а  $S_{t,b}$  — общий объем земли в наличие (для простоты далее используемая земля обозначится, как  $S$ ). На время планирования площадь земли принимается неизменной<sup>6</sup>. Собирая все параметры воедино, модель [Corato, Ginbo, 2021] дополнительной ценности от переноса в момент времени  $t$  ( $\Delta V_t$ ), с модификациями автора, описанными выше, можно представить в следующем образом:

$$\Delta V_t = \frac{\sum Z_t * R_t * S}{(1+r)^{n-t}} - IR, \quad (6)$$

где  $Z_t$  — разность урожайности в момент времени  $t$ ,  $R_t$  — доходность с гектара земли,  $S$  — используемая для посева земля,  $r$  — ставка дисконтирования,  $IR$  — инвестиции необходимы для переноса,  $n$  — период, на который осуществляется планирование,  $t$  — момент переноса плантации.

Путем несложной математической операции с дисконтированием и вычитанием инвестиций в землю, дополнительную ценность от переноса в начальный момент времени можно представить в виде:

---

<sup>6</sup> Расширение площади используемого участка — это еще один реальный опцион, называемый опционом расширения (option to growth). В данной работе упор делается именно на опционе ожидания (option to wait and learn) оба типа опционов подробно рассмотрены в [Dixit, Pindyck, 1995]

$$\Delta V_{0,t} = \frac{\Delta V_t}{(1+r)^t} - K. \quad (7)$$

В данном случае  $K$  это начальные инвестиции в землю и инфраструктуру участка. Индекс  $(\cdot)_{0,t}$  обозначает приведенную ценность в 0-й момент времени при переносе участка в момент времени  $(t)$ . Положительное значение результирующей переменной  $(\Delta V_{0,t})$  минимум для 1 периода будет означать, что существует такой момент сейчас или в будущем, при переносе участка, в который мы получим положительную приведенную ценность.

Отметим, принципиальный факт — значение инвестиций ( $K$ ) не дисконтируются, а вычитаются в начальный момент времени — в действительности это означает покупку земли не в будущем, а сейчас по текущим ценам, дело в том, что в случае, если ждать благоприятного момента в будущем цена земли будет меняться соответствующим образом, в будущем бизнес может оказаться в ситуации, когда при благоприятном исходе: росте урожайностей, земля будет стоить слишком дорого и перенос уже не будет оптимальным стратегическим решением.

Сам факт наличия или отсутствия ценности для произвольного момента времени интересен, но важно максимизировать данную ценность, ответив на принципиальный вопрос, — вопрос периода переноса. Иными словами, как стратегически использовать данный реальный опцион при ведении деятельности, ответ на него возможен при максимизации следующей функции по параметру  $t$ :

$$\Delta V_{0,t}^* \max_t \left( \frac{\Delta V_t}{(1+r)^t} - K \right) \quad (8)$$

Данный раздел демонстрирует поведение модели в статичном ее состоянии в каждый отдельный момент времени, следующий раздел предложит инструментарий для задания модели в динамике. Модель [Corato, Ginbo, 2021] существенно адаптирована автором под особенности выращивания пшеницы в России.

### 2.1.2 Поведение модели в динамике

Цель данного раздела, по [Вьюненко, Михайлов, 2021] — формулирование механизмов поведения структуры в целом и отдельных ее частей в динамике, фиксация взаимосвязей частей друг с другом. Структура данного раздела имеет следующий вид: сначала приводятся допущения поведения отдельных частей, а в заключении представлена целостная модель в общем виде.

Заданная в предыдущем разделе модель предполагает дисконтирование прогнозного ряда ценностей от момента  $t$ , до момента  $t = n$  для нахождения такого момента, который бы давал максимальную ценность, при этом в общем случае  $n$  может быть не ограничена каким-либо моментом в будущем, а прогнозироваться на бесконечный период, как это описано в работе [Corato, Ginbo, 2021], таким образом, модель предполагает наличие некоторого прогнозного ряда для будущих периодов.

Именно прогнозам основных параметров и посвящен этот раздел, напомним их:  $Z_t$  — разность урожайности в момент времени  $t$ ,  $R_t$  — доходность с гектара земли,  $S$  — площадь используемой для посева земли,  $r$  — ставка дисконтирования,  $IR$  — инвестиции необходимы для переноса,  $n$  — период, на который осуществляется планирование,  $t$  — момент релокации и  $K$  — начальные инвестиции в земельный участок и инфраструктуру.

Здесь необходимо подчеркнуть следующий аспект, моделирование, которое использует несколько переменных, зачастую встречается с так называемым «проклятием размерности» (англ. «Curse of dimensionality»), когда при росте числа входных переменных не пропорционально, а экспоненциально растет количество результирующих данных и увеличивается трудоемкость вычислений. Подробнее об этой проблеме, к примеру в [Bellman, 1966]. Одним из решений данной задачи является выбор основной переменной и фиксация остальных, либо построение регрессионной зависимости второстепенных переменных от основной, последний способ описан в [Халл, 2008]. Второй способ увеличивает точность прогноза, так как демонстрирует четкую, статистическую связь на основе регрессии основной переменной с второстепенными, тем не менее увеличиваются временные и трудовые затраты, так как предполагается поиск дополнительных данных, что не всегда подходит для решения бизнес-задач, когда решения нужно принимать быстро и без высоких затрат на поиск дополнительной информации, в данной работе используется первый способ с дополнениями.

Определим параметры и сформулируем допущения их поведения в будущем, в разделе 2.1.1 обоснован выбор основной переменной — разность урожайности в момент времени  $t$  ( $Z_t$ ), именно она будет лежать в основе модели. Зависимость данной переменной от факторов в будущем, как один из методов был описан в [Rising, Devineni, 2020], но описательная сила предложенных моделей не превышала 50%, в качестве альтернативы [Corato, Ginbo, 2021], для данной переменной используют случайное блуждание, а именно арифметическое броуновское движение, обоснование данного поведения переменной лежит в плоскости случайного, непредсказуемого влияния последствий климатических изменений на урожай. Данный подход применяется и автором текущей работы.

В общем виде непрерывное броуновское движение с трендом, можно описать следующей формулой [Dixit, Pindyck, 1994, стр. 65]:

$$d(Z_t) = \alpha * dt + \sigma * \varepsilon_t * \sqrt{dt} \quad (9)$$

Указанная формула характерна для непрерывного процесса, ранее уже отмечалось, что выращивание пшеницы — процесс, который нельзя начать в произвольный момент времени, напротив выбор времени начала производится лишь 1 раз за вегетативный период, поэтому логично применить дискретизацию данного процесса с шагом в 1 вегетативный период или, что то же самое, в 1 год, так как пшеница — однолетняя культура; если перейти к дискретизации в рамках арифметического броуновского движения на заданном интервале, то [Цит. по: Окулов, 2019, стр. 236, Dixit, Pindyck, 1994, стр. 69] изменение исследуемой переменной можно представить в виде формулы ниже:

$$\Delta Z_t = \sigma * \sqrt{\Delta t} \quad (10)$$

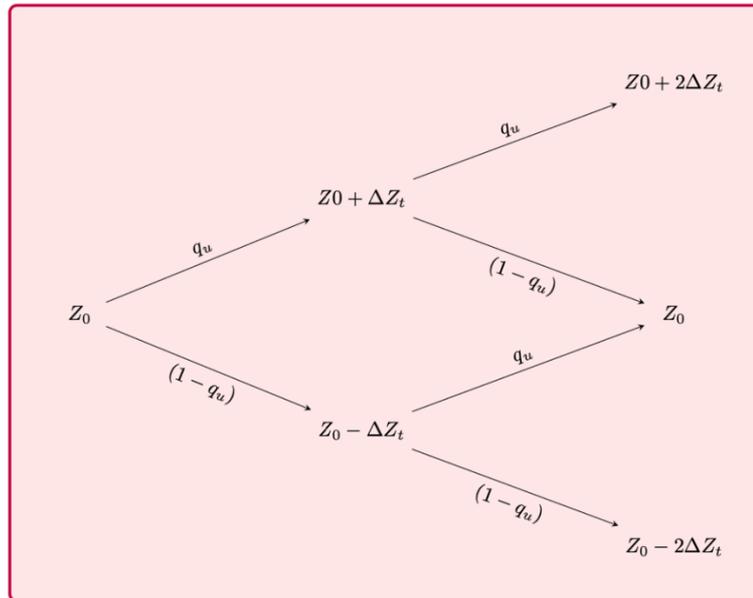
Отметим важное соотношение между формулой (9) и формулой (10), первая характеризует непрерывное изменение иногда говорят «бесконечно малое», а вторая малое, но конечное изменение, содержательно дельта и дифференциал не отличаются, но автор намеренно, как и в [Цит. по: Окулов, 2019, стр. 236, Dixit, Pindyck, 1994, стр. 69] разделяет эти обозначения для удобства восприятия. При этом обозначение тренда, которое выделено в формуле (9), в формуле (10) не пропадает, как может показаться на первый взгляд, а содержательно переносится на вероятности шага вверх и вниз, которые будут описаны далее.

Начиная с начального момента времени ( $t = 0$ ),<sup>7</sup> изменение переменной может быть как в сторону увеличения, так и снижения, при этом, для арифметического броуновского движения, переменная не ограничена 0 и может принимать отрицательные значения, интерпретируется это следующим образом: отрицательное значение переменной ( $Z_t$ ) в период времени ( $t$ ), говорит о том, что в этот период урожай в текущем регионе оказался выше чем в потенциальном.

Традиционно, визуально дискретный процесс арифметического броуновского движения представляется в виде биномиального дерева слева направо, начиная от первого узла  $Z_0$ . Принимая во внимание описанные выше формулы для арифметического броуновского движения, биномиальное дерево для урожайности 3 первых периодов, можно представить следующим образом (Рис. 8)

---

<sup>7</sup> В литературе, к примеру в [Mun, 2002] допускается, что начальное значение может быть равно ожидаемому:  $x_0 = \bar{x}$



**Рис. 8.** Общая схема биномиального дерева для 3 периодов

*Составлено автором*

Последним важным параметром арифметического броуновского движения является вероятность увеличения и снижения исследуемой переменной, их можно представить в виде следующих выражений [Цит. по: Окулов, 2019, стр. 236, Dixit, Pindyck, 1994, стр. 69]

$$q_u = \frac{1}{2} * (1 + \frac{\alpha}{\sigma} * \sqrt{\Delta t}) \quad (11)$$

$$q_d = (1 - q_u), \quad (12)$$

где  $\alpha$  — параметр дрефта броуновского движения, а  $\sigma$  — СКО данного процесса. Отметим, что заданные таким образом вероятности не являются вероятностями реального мира, напротив, они называются риск-нейтральными и выведены таким образом, что закладывают в себя риски изменения переменной [Цит. по: Окулов, 2019, стр. 236, Dixit, Pindyck, 1994, стр. 69]. Последняя особенность позволит в последствии использовать ставку дисконтирования равную безрисковой для оценки приведенной ценности. Оценку параметров дрефта и СКО процесса можно получить на основе исторических данных по формулам ниже [Тихомиров, Дорохина, 2002, стр. 267, 268]:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum (Z_t - Z_{t-1}); \quad (13)$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{n-1} \sum (Z_t - Z_{t-1} - \bar{\alpha})^2. \quad (14)$$

Следующей важной переменной, для которой будет представлен механизм поведения, является доходность ( $R_t$ ). Одним из возможных допущений поведения данной

переменной является корреляционная зависимость от переменной  $Z_t$  — для рыночной экономики вполне логично что при увеличении объема цена будет снижаться, а в случае дефицита повышаться, исключения составляют товары Гиффена [Мэнкью, Тейлор, 2013], в таком случае после моделирования последней, возможно применить разложение Чолески, также именуемое разложением Холецкого, которое позволяет строить ряды с заданной корреляционной зависимостью. Но тут стоит подчеркнуть важную особенность поведения цен на продовольственные товары в РФ, особенно после 2021 года — они регулируются государством, если не прямо через установление цены продажи, то косвенно через комбинации различных пошлин и субсидий. С 2 июня 2021 г. в РФ действует механизм зернового демпфера [Минсельхоз, ЦБ, 2021] для кукурузы, ячменя, пшеницы и меслина, который вводит плавающую пошлину для экспортеров в виде разницы индикативной цены и базовой цены на рынке (индикативная цена рассчитывается как среднее арифметическое рыночных мировых цен за неделю), предполагается, что собранные таким образом пошлины будут направляться в виде субсидий на производство советующих культур в моменты снижения цен. Базовая цена на пшеницу была установлена государством в размере 200\$/тонна или в пересчете в рубли по курсу на дату введения закона 14 700 руб./тонна. Принимая во внимание зерновой демпфер, можно говорить о том, что доходы производителей пшеницы в пересчете на тонну будут в районе данной цифры — в случае снижения цен, государство будет возмещать производственные расходы, а в случае роста забирать часть выгоды. При этом есть понятие целевой инфляции, которую государство будет поддерживать — в «Прогнозе долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года», разработанного Минэкономразвития России долгосрочная цель инфляции по продовольственным товарам принимается равной 3,8% в год. Механизм поведения переменной  $R_t$ , в зависимости от дохода в предыдущий период можно представить в следующем виде:

$$R_t = \frac{CF}{I} * I_{t-1} * (1 + i_0), \quad (15)$$

где  $I_{t-1}$  — доход в пересчете на гектар в предыдущий период, а  $i_0$  — целевой уровень долгосрочной инфляции, заданный государством. Таким образом, доходность будет частично фиксироваться на весь период прогноза и изменяться лишь на инфляцию, такое модельное представление для переменной используется и в [Corato, Ginbo, 2021].

Переходя к переменной  $S$  — имеющийся в наличие у компании земли, измеренной в гектарах, стоит отметить, что продуктивная земля — устойчивый актив, который при должных рекреационных практиках будет служить довольно долго, ввиду такой особенности в разных учетных политиках: РСБУ, МСФО, GAAP, данные активы не

амортизируются, а считаются бессрочными. Учитывая данную особенность, в модели предлагается использовать данную переменную в качестве константы.

Важным вопросом, требующим разбора для модели, является ставка дисконтирования ( $r$ ), во-первых, встает вопрос о динамике ставки во времени, а во-вторых, об особенностях расчёта данной ставки. Что касается первого поставленного вопроса, в теории [Брейли, Майерс, 1997] и практике широко применим принцип плоских ставок, когда для расчёта приведенной ценности используется единая для каждого момента времени ( $t$ ) ставка. Второй вопрос более комплексный, дело в том, что ставка дисконтирования в проектах без гибкости<sup>8</sup> зачастую включает в себя премию за риск, но если вернуться к началу данного раздела можно заметить, что при выборе арифметического броуновского движения, риск учитывается в вероятности шага вверх и вниз [Dixit, Pindyck, 1994], тогда справедливо при дисконтировании использовать безрисковую ставку. В качестве основы для расчета безрисковой ставки [Брейли, Майерс, 1997] предлагают использовать текущие ставки доходности по бескупонным облигациям на соответствующую длину шага модели.

Собирая все переменные воедино, можно представить дополнительную ценность от переноса плантации пшеницы в виде все того же биномиального дерева, где в каждой ячейке будет следующий расчет [Corato, Ginbo, 2021, стр. 7]:

$$\Delta V_t = \frac{\sum_t^n Z_t * R_t * S}{(1+r)^{n-t}} - IR, \quad (16)$$

где,  $Z_i$  — разность урожайности в регионе присутствия и потенциальном в различные моменты времени,  $R_t$  — доходность с 1 единицы площади обрабатываемой земли,  $S$  — размерность анализируемого участка в единицах площади,  $r$  — ставка дисконтирования для  $\Delta t$ ,  $n$  — последний период анализа, а  $IR$  — инвестиции в перенос.

В данном разделе рассмотрено поведение модели в динамике — рассмотрено поведение отдельных частей модели и их взаимозависимость. В следующей части будет рассмотрена пошаговое исполнение имитационного моделирования для получения распределения будущих результатов.

### 2.1.3 Применение имитационного моделирования

Цель данного раздела привести обоснование использования инструментария имитационного моделирования и его пошагового исполнения для заданной в разделе 2.1.2 модели.

---

<sup>8</sup> Проектами без гибкости называют проекты без встроенного опциона, то есть те проекты, решение по которым нельзя изменить [Бухвалов, 2006]

Результатом работы [Corato, Ginbo, 2021] является расчет ожидаемого оптимального времени переноса плантации —  $E[T^*]$ , когда достигается максимальная приведенная ценность, при этом расчёт, как и в [Dixit, Pindyck, 1994] происходит аналитически с применением углубленного математического аппарата, автор же этой работы, предлагает подойти к проблеме с другой стороны — применить метод имитационного моделирования Монте-Карло, рассчитать  $T^*$  для каждой отдельной имитации и уже по имеющемуся распределению получить  $E[T^*]$ . Такой подход полезен по нескольким причинам: во-первых, он более гибок и позволяет корректировать предложенную структуру модели, во-вторых, в качестве результата получается не абстрактное значение, а распределение, по которому менеджер может оценивать риски и принимать во внимание больший спектр информации, наконец имитационное моделирование более наглядно и понятно широкому кругу лиц, вовлеченных в принятие решения по сравнению с применением усложненных математических моделей.

Имитационное моделирование будет применяться к основной переменной модели — разнице урожайности в текущем и потенциальном регионе, а расчет дополнительной ценности ( $\Delta V_t$ ) будет проводиться по формулам, указанным в предыдущем разделе. Сама имитация предполагает случайное блуждание исследуемой переменной от начального момента  $t = 0$ , где значение равно ожидаемому:  $Z_0 = \bar{Z}$ , до конечного или произвольного момента в будущем [Mun, 2002]. Имитационное моделирование будет проводиться в программе MS Excel по [Benninga, 2014, стр. 777] пошаговая интерпретация описанных ниже шагов в формулах MS Excel приведена в (Приложении 1):

1) Генерируется матрица случайных чисел  $m \times n$ , где в каждой ячейке находится число  $a_{ij} \in (0; 1]$ . Число  $m$  обозначает число итераций, в данной работе, как и в [Mun, 2002] предлагается использовать 1000 итераций, но это не строгое ограничение — составлять можно столько итераций, сколько позволит вычислительная мощность компьютера, точность прогнозов от этого лишь увеличится. Значение  $n$ , обозначает период прогноза, на основании рекомендаций [IPCC, 2021] по прогнозам в рамках климатических изменений, в работе он рассматривается равным 20 — больший период не гарантирует адекватных результатов, а более короткие не покажут действительное влияние климата.

2) Следующим шагом имитационного моделирования является сравнение значений  $a_{ij}$ , с вероятностью шага вверх ( $q_u$ ), формула для расчета которой приводилась в начале данного параграфа по [Цит. по: Окулов, 2019, стр. 236, Dixit, Pindyck, 1994, стр. 69]: в случае, если получившееся число меньше или равно ( $q_u$ ), то имитация реализуется с шагом вверх увеличивая предыдущее значение на  $\sigma * \sqrt{\Delta t}$  [Цит. по: Окулов, 2019, стр. 236, Dixit, Pindyck, 1994, стр. 69], в противном случае вниз, это можно представить в виде системы:

$$\begin{cases} Z_{ij} = Z_{i(j-1)} + \sigma * \sqrt{\Delta t}, \text{ если } a_{ij} \leq q_u, \\ Z_{ij} = Z_{i(j-1)} - \sigma * \sqrt{\Delta t}, \text{ если } a_{ij} < q_u \end{cases} \quad (17)$$

Получившаяся модуляция переменной  $Z_t$  — разницы урожайности в текущем и потенциальном регионе в общем виде представлена таблице ниже.

Таблица 9. Таблица имитаций разностей урожайности ( $Z$ ) текущего региона А и потенциального региона для релокации В

	<b>t=0</b>	<b>t=1</b>	<b>t=2</b>	...	<b>t=n</b>
1	$\bar{z}$	$Z_{1;1}$	$Z_{2;1}$	...	$Z_{n;1}$
2	$\bar{z}$	$Z_{1;2}$	$Z_{2;2}$	...	$Z_{n;2}$
...	...	...	...	...	...
1000	$\bar{z}$	$Z_{1;1000}$	$Z_{2;1000}$	...	$Z_{n;1000}$

Составлено автором

3) Проведя имитацию для основной переменной ( $Z_t$ ), возможно по заданным в [Corato, Ginbo, 2021] модельным формулам и дополнениям автора об агротехнических особенностях выращивания пшеницы перейти к дополнительной ценности в каждый отдельный момент времени ( $\Delta V_t$ ). Получившаяся ценность в общем виде представлена в таблице ниже.

Таблица 10. Таблица ценностей при старте в момент времени t

	<b>t=0</b>	<b>t=j</b>	...	<b>t=n</b>
1	...	$\sum_t^n \frac{Z_{1;j} * S * R_j}{(1+r)^{n-j}} - IR$	...	...
...	...	...	...	...
1000	...	$\sum_t^n \frac{Z_{1000;j} * S * R_j}{(1+r)^{n-j}} - IR$	...	...

Составлено по: [Corato, Ginbo, 2021]

3) Данные ценности необходимо привести к начальному моменту времени так как, несмотря на выбор оптимального момента в будущем, компания принимает решение сейчас на основе своих представлений [Mun, 2002, стр. 248]. Сделать это возможно по формуле ниже

$$\Delta V_{0,t} = \frac{\Delta V_t}{(1+r)^t} - K. \quad (18)$$

4) Напомним, что результатом работы [Corato, Ginbo, 2021] являлось ожидаемое значение оптимального переноса  $E[T^*]$ , которое по [Dixit, Pindyck, 1994] означало

следующее — в данный период исследуемая переменная достигнет максимальной дополнительной ценности. В самом начале работы было заявлено — вместо решения систем уравнений с применением усиленного математического аппарата, будет использовано моделирование Монте-Карло, по распределению которой возможно вычислить  $E[T^*]$ . В общем виде результат представлен в таблице ниже<sup>9</sup>.

Таблица 11. Общая модель оптимизации. Распределение результатов

	<b>t=0</b>	<b>t=j</b>	<b>t=n</b>	<b>MAX</b>	<b>T*</b>
1	...	...	...	$\max(\Delta V_{0,j})$	$T_1^*$
...	...	...	...	...	
1000	...	...	...	$\max(\Delta V_{0,j})$	$T_{1000}^*$
	$E[V]$	...	$E[V]$		$E[T^*]$

*Составлено автором*

5) Распределение на основе имитаций позволяет оценить ожидаемое значение разностей урожайности  $E[Z_t]$ , которое дает положительное значение приведенных ценностей.

После проведения всех итераций мы получаем распределение нескольких важных для анализа переменных, непосредственно  $T_i^*$ , которая показывает оптимальный для отдельной итерации момент переноса, ожидаемый оптимальный момент переноса на основе 1000 имитация  $E[T^*]$ ,  $\Delta V_{0,j}$  — распределение ценностей от переноса в каждый момент времени и ожидаемое значение разностей урожайности  $E[Z_t]$ , которое дает положительное значение приведенных ценностей. Интерпретация данных параметров приведена в (Приложении 2).

Раздел включает обоснование применения имитационного моделирования и его пошаговое исполнение в MS Excel в общем виде. Последующие пункты рассматривают его применение на стилизованном примере.

<sup>9</sup> В отличии от обозначения разности урожайности  $Z_{i,j}$ , где индекс  $i$  относится к номеру имитации, а  $j$  — к моменту времени  $t$ ;  $\Delta V_{0,j}$  индексом 0 показывает именно приведенную ценность, а не 0-ю итерацию (с целью упрощения восприятия формулы индекс интеграции исключен, вместо этого, для уточнения, что приведенная ценность относится к разным имитациям, автор демонстрирует визуализацию в виде таблицы)

#### 2.1.4 Качество информации

Цель данного раздела предоставить описание основных собранных данных, которые будут использоваться для моделирования, дать их характеристику на основе индикаторов качества данных [ISO 14040, 2006] и предложить общую оценку качества данных.

В разделе 2.1.2 было закреплено, что основной инструмент данной работы — это имитационное моделирование Монте-Карло, данный метод позволяет анализировать проект с разных сторон: оценить поведение проекта в динамике, проанализировать возможное распределение результатов и оценить имеющиеся риски. Метод, который дает такую широкую оценку, требует взамен высокую цену — правильные допущения поведения основных переменных (данный аспект был рассмотрен подробно в разделе 2.1.2) и качественные входные данные. Некачественные данные приведут в исследовании к проблеме, которая в сфере программирования и анализа данных именуется «мусор на входе — мусор на выходе» (англ. «garbage in, garbage out»), когда низкое качество данных приводит к низкому качеству конечной информации для аналитики.

В разделе 2.1.1 были заявлены следующие основные переменные, которые будут использоваться в модели:  $Z_t$  — разность урожайности в момент времени ( $t$ ),  $R_t$  — доходность с гектара земли,  $S$  — используемая для посева земля,  $r$  — ставка дисконтирования,  $IR$  — инвестиции необходимы для переноса и  $K$  — начальные инвестиции.

Отметим лишь несколько преобразований, которые были введены ранее в предыдущих разделах, которые повлияют на необходимые массивы данных. Во-первых, вместо исторической разности урожайностей в различных регионах ( $Z_t$ ) будет использоваться набор абсолютных значений урожайности ( $Y_t$ ), которые затем попарно могут быть преобразованы в необходимую разность, это необходимо ввиду специфики сбора данных. Доходность с гектара земли, как мы отметили в разделе 2.1.2, будет зависеть от текущих цен на пшеницу на рынке. Цена земли ( $K$ ), используемой для посева зачастую информация доступна лишь инсайдерам так как сделки M&A в с/х сфере не афишируются, а данные по ним не раскрываются: в качестве прокси для данной переменной будет использоваться кадастровая стоимость земельных участков для с/х деятельности и комментарии экспертов, инвестиции необходимые для переноса, также будут использоваться на основе экспертных оценок. Ниже приведена Таблица 12 на основе индикаторов качества данных [ISO 14040, 2006] для основных переменных модели:

Таблица 12. Характеристика данных по [ISO 14040, 2006]

	<b>Урожайность (<math>Y_t</math>)</b>	<b>Цены на пшеницу (<math>P</math>)</b>	<b>Начальные инвестиции (<math>K</math>)</b>
<b>Временной интервал</b>	1996–2021 гг. Временной промежуток планирования меньше, чем промежуток исторических данных (1)	2000–2021 гг. Временной промежуток планирования соответствует промежутку исторических данных (1)	2021 г. Данные соответствуют периоду начала анализа (1)
<b>Географическое покрытие</b>	77/85 регионов <sup>10</sup> — все регионы покрытия исследования (1)	Экспортные и внутренние цены на пшеницу (1)	85 регионов (1)
<b>Полнота данных</b>	По всем регионам можно идентифицировать среднее, СКО, но некоторые года по части регионов пропущены (3)	Можно идентифицировать среднее, СКО, заданный временной интервал не содержит пропусков (1)	По всем регионам можно идентифицировать среднее, СКО, пропуски данных отсутствуют (1)
<b>Источник и его качество</b>	FAOSTAT <sup>11</sup> (1). Государственная служба статистики РФ (1)	Refinitive (1)	Государственный доклад «О состоянии и использовании земель в РФ» (1) Консалтинговое агентство BEFL (2)
<b>Общий рейтинг</b>	(1,5)	(1)	(1,125)

Составлено по: [ISO 14040, 2006]

<sup>10</sup> Магаданская область, Мурманская область, Ненецкий АО, Республика Карелия, г. Санкт-Петербург, Сахалинская область, Чукотский АО, Ямало-Ненецкий АО — 8 субъектов, по которым не ведется учет урожайности пшеницы ввиду их низкой пригодности [Министерство сельского хозяйства, 2021]

<sup>11</sup> FAOSTAT — служба статистики ООН, ведущая свою деятельность в сфере продовольственной безопасности стран членов ООН.

В таблицу не были включены 3 переменных:  $S$  — используемая для посева земля,  $r$  — ставка дисконтирования,  $IR$  — инвестиции необходимы для переноса так как их качественная характеристика в основном опирается на экспертные данные, ставка дисконтирования опирается на доходность ОФЗ, стоимость используемой для посева земли ( $S$ ) анализировалась на основе данных, приведенных консалтинговой фирмой BEFL в двух годовых отчетах «Крупнейшие владельцы сельскохозяйственной земли в России» за 2020 и 2021 гг. данный отчет содержал в том числе объемы приобретаемых сельскохозяйственных угодий.

Курская область	143 000
Липецкая область	110 000

*Рис. 9. Пример анализа цен на с/х участки (руб./га) по данным BEFEL, 2020 г.*

*Источник:* BEFEL, 2020 г.

Инвестиции переноса ( $IR$ ) исследовались на основе бизнес-плана по выращиванию пшеницы, утвержденному Министерством регионального развития, при этом их объем не превышает 15% общих инвестиций [Минерегионразвития, 2020]. Как было обосновано в разделе 2.1.2, ставка дисконтирования берется равной безрисковой, ее по [Брейли, Майерс, 1997] можно рассчитать исходя из текущих доходностей на бескупонные государственные облигации. Как мы видим из (Рис. 9) ставки доходности по бескупонным ОФЗ на июнь 2022 г. достигали 12%, что было связано с действиями ЦБ по повышению ключевой ставки для сдерживания инфляции в период пандемии, в связи с чем предлагается усреднять данное значение за период 5 лет.

Раздел включает обзор основных источников данных, которые необходимы для оценки параметров. Общая база предлагаемых источников оценивается как приемлемая для использования в рамках имитационного моделирования на основе [ISO 14040, 2006].

### **2.1.5 Допущения необходимые для моделирования**

Цель данного раздела — суммировать допущения об общей структуре модели, предложенные в разделе 2.1.1 и о механизмах поведения отдельных частей модели из раздела 2.1.2 для корректной работы моделирования. Структура данного раздела имеет следующий вид: сначала описываются общие для всей модели допущения, затем все основные переменные, которые требуют соблюдения допущений.

Начнем с допущений, касающихся общего представления модели — необходимо установить 2 важных допущения: во-первых, для использования модели предполагается

дискретность временного шага, иными словами модель не дает представления о том что происходит внутри года, а лишь показывает финальный результат на конец наблюдаемого периода, такие допущения часто используются, в том числе в [Schweser, 2012] и [Брейли, Майерс, 1997].

Второе допущение касается длины прогнозного интервала — к примеру [Corato, Ginbo, 2021], предлагает использовать бесконечный прогнозный интервал ввиду долговечности плантаций как актива и высокого спроса на продукты растениеводства (с точки зрения математических преобразований это приведет к использованию перпетуитета), с другой стороны, многие проекты в действительности никогда не оцениваются на бесконечность для них задается отдельный временной интервал размер которого может варьироваться в среднем от 5 до 20 лет. В данной работе важное место уделяется изменению климата, которое не происходит мгновенно: многие модели влияния на экономические и социальные аспекты планируется на период 50 и более лет [IPCC, 2021], в той же работе адекватным горизонтом планирования для адаптации к климатическим изменениям бизнеса называется период в 20 лет, который и будет использован — после данного периода компания может сменить заданную стратегию: либо остаться в том же регионе либо провести девестиции и заново сменить регион, что открывает путь большому количеству дополнительных реальных опционов: опцион на выход из проекта (option to abandon) и опцион переключения (option to switch).

Приведем основное допущение для ключевого элемента — разности урожайности в текущем и потенциальном районах ( $Z_t$ ). Данная переменная имеет основное допущения, которое необходимо для качественного моделирования: в разделе 2.1.2, для нее было принято арифметическое броуновское движение, качественных тестов для проверки на исторических данных факта арифметического броуновского движения нет, поэтому его применение должно опираться на базовую логику поведения исследуемой переменной.

В разделе 2.1.2 была подробно описана переменная доходности ( $R_t$ ) и выделен основной влияющий фактор — цена на пшеницу. В связи с чем появляется необходимость ввести 2 допущения для данной переменной: во-первых, предполагается, что рентабельность проекта будет равна текущей рентабельности на протяжении всего периода анализа, аналогичное допущение используется и в работе [Corato, Ginbo, 2021]. Второе допущение касается цены на пшеницу и ее поведения в будущем, а точнее той части доходов, которые будут получать производители. Введения ценового демпфера в июне 2021 года [ЦБ, Минсельхоз, 2021], как было описано в разделе 2.1.2, приведет к тому, что при повышении рыночных цен выше заданного значения в 14 700 рублей за тонну, государство будет изымать часть доходов, а при понижении компенсировать, поэтому

прогнозные доходы агрария, выращивающего пшеницу можно допустить равными 14 700 рублей за тонну, и принять допущении об увеличении данного дохода лишь на заданный ЦБ долгосрочный таргет по инфляции для продовольствия.

Последней важной переменной является ставка дисконтирования, в том же разделе 2.1.2 приведена аргументация в пользу использования безрисковой ставки на основе [Dixit, Pindyck, 1994; Халл, 2008], в следующем за ним разделе приводится возможный вариант расчета отталкиваясь от текущих доходностей на бескупонные государственные облигации. Уже справедливо отмечалось, что текущая ставка на дату 22.02.2022 в 11,4% является завышенной в целях долгосрочного прогноза и в качестве альтернативы в данной работе предполагается использовать устойчивую ставку на весь период прогноза равную средней за 5 лет. Ниже представлено обобщение допущений для основных переменных модели.

Таблица 13. Обобщение необходимых допущений

<b>Переменная</b>	<b>Допущения поведения</b>
Разность урожайности ( $Z_t$ )	Данная переменная подчиняется арифметическому броуновскому движению по [Corato, Ginbo, 2021].
Доходность с гектара ( $R_t$ )	1) Рентабельность проекта задается неизменной на весь период прогноза по [Corato, Ginbo, 2021]; 2) Цена пшеницы изменяется лишь на прогнозируемый уровень инфляции за счет ценового демпфера [ЦБ, Минсельхоз, 2021].
Ставка дисконтирования ( $r$ )	1) Ставка дисконтирования принимается равной безрисковой (в рамках имитационного моделирования риск закладывается в вероятности шага вверх и вниз) по [Dixit, Pindyck, 1994; Халл, 2008]; 2) Ставка принимается неизменной на весь период анализа по [Mun, 2002; Schweser, 2012].

Составлено по: [Corato, Ginbo, 2021], [Халл Д. К., 2008], [Mun, 2002]; [Schweser, 2012]; [Dixit, Pindyck, 1994] и аналитической записки ЦБ от 2021 г.

Данный пункт содержит обобщенные допущения относительно поведения переменных, входящих в модель. Основными допущениями являются: принятие арифметического броуновского движения как основы поведения переменной разницы урожайности ( $Z_t$ ), доходность с гектара ( $R_t$ ), как и ставка дисконтирования ( $r$ ) принимаются неизменными на период прогноза.

## **2.2 Применение метода: перемещение компании из Ростовской в Псковскую область**

### **2.2.1 Общая характеристика компании и регионов**

Цель данного раздела — описание условного примера компании, занимающейся растениеводством (ОКВЭД 01.1) из Ростовской области, которая планирует осуществить перенос плантации в Псковскую область под действием неопределенного влияния климата на урожайность пшеницы в обеих областях. Структура раздела выглядит следующим образом: обоснование выбранных регионов с точки зрения привлекательности, характеристика операционной деятельности компании, влияющих на модель, затем приводится обобщение вводных данных для модели из раздела 2.1.1

Ростовская область — один из наиболее пригодных для растениеводства субъектов РФ, более 90% с/х земель активно используются в обороте — это около 8 208,4 тыс. гектар, 70,6% данных земель используются в качестве пашен [Минсельхоз, 2021]. Качество земель находится на довольно высоком уровне — лишь 35% земель подвержены ветровой эрозии, 55% подвержены водной эрозии, но более 65% из них характеризуются лишь слабым отклонением от нормы, переувлажнением и перезасолением страдают менее 1% [Минсельхоз, 2021]. Наравне с Краснодарским краем и Республикой Адыгея, Ростовская область входит в рейтинг регионов с наилучшей урожайностью, средняя урожайность за период 2014–2018 гг. составила 32,9 ц/га [Deloitte, 2019]. Транспортная доступность данного региона, также на высоком уровне: водный транспорт оснащен 3 портами с круглогодичной навигацией судов международного направления, торговое железнодорожное сообщение в основном направлено в сторону портов Азово-Черноморского бассейна [Правительство Ростовской обл., 2021].

Псковская область — это регион с высоким потенциалом, который в будущем может быть активно использован в с/х деятельности: он входит в топ-25 регионов с большим количеством потенциальных земель — 186,1 тыс. гектар могут быть запущены при необходимости, это более 20% от всех потенциальных земель Северо-Западного округа [Минсельхоз, 2021]. На момент исследования в Псковской области задействовано 1 317,7 тыс. гектар сельхоз угодий при этом из негативных последствий свойственных почвам: ветровая эрозия, водная эрозия, засоление почв и переувлажнение, лишь последнее свойственно для региона, но и ей подвержены лишь 8,9% пахотных участков [Минсельхоз, 2021]. По прогнозам [Deloitte, 2019] к 2024 году Северо-Западный Федеральный округ увеличит пахотные участки под пшеницу с 99 тыс. гектар до 177 тыс. гектар при этом

увеличится и урожайность пшеницы на 18,5%, уже сейчас [Минсельхоз, 2021] зафиксировали рекорд по повышению урожайности среди всех регионов — на 18,7 ц/га.

Несмотря на то, что Ростовская область, как было отмечено ранее, обладает рядом положительных характеристик, ряд экспертов видят определенные риски ведения сельского хозяйства в данном регионе в будущем. К примеру, [Павлова, 2021] видит очень высокие риски (свыше 25%) недобора урожая яровой пшеницы в данном регионе, а риски недобора озимой характеризует как средние (от 6 до 15%). При этом [Павлова, 2021] выделяет риски повторяемости засух — 36% вероятность, Ростовская область по данному критерию уступает лишь Саратовской, Волгоградской и Оренбургской областям: 45%, 51% и 52%, соответственно. Северные районы России, напротив, рассматриваются как наиболее благоприятные для выращивания зерновых в будущем, в своей работе [Hannah et al., 2020, Xu et al., 2020] подчеркивают, что одни из немногих стран, которые выиграют от глобального потепления это Канада, Скандинавия и Россия. [Schierhorn, 2021] в свою очередь указывает на потенциал роста урожайности в регионах севернее Центрального черноземного района, в наибольшей степени в районах между 54 и 60 с. ш.<sup>12</sup> Наконец, [Di Paola et al., 2018] на основе прогнозирования сценариев RCP4.5 и RCP8.5<sup>13</sup> демонстрирует в своей работе, что в среднесрочной перспективе до 2050 года, Ростовская область станет умеренно пригодной для выращивания озимой пшеницы, а Псковская область из малоприспособленной станет максимально подходящей для данной культуры благодаря повышению средних температур ближе к северным частям России. Именно поэтому, в качестве примера опциона при переносе плантаций в данной работе применяется пример потенциала перемещения из Ростовской в Псковскую область. Основываясь на рыночных ценах на землю в Псковской области, стоимость инвестиций в земельный участок составит 19 млн<sup>14</sup> [Минсельхоз 2021, BEFL 2021]

Приведем также характеристику компании, которая будет осуществлять перенос: данная компания занимается растениеводством (ОКВЭД 01.1) на территории Ростовской области имея следующие финансовые показатели из формы 2 и 4 представленные ниже:

---

<sup>12</sup> Координаты Псковской области: 57°48'49" с. ш., 28°20'58.6" в. д.

<sup>13</sup> RCP — это сценарии (англ. «Representative Concentration Pathway»), которые включают сценарии выбросов, концентрацию парниковых газов, использование аэрозолей иных химических газов, а так же использование почвы [Moss et al., 2008]. RCP2.6 — небольшой уровень радиации ( $3 \text{ Wm}^{-2}$ ), который в среднесрочном периоде имеет тенденцию к снижению; RCP4.5 и RCP6.0 — усредненные сценарии с устойчивым уровнем радиации ( $4,5 \text{ Wm}^{-2}$  и  $6 \text{ Wm}^{-2}$ ). RCP8.5 — пессимистичный сценарий в котором в среднесрочном периоде радиация превышает ( $8,5 \text{ Wm}^{-2}$ ) и продолжит расти. [IPCC, 2021]

<sup>14</sup> Округление используется для упрощения восприятия текста, в модели используются точные значения

Таблица 14. Финансовые показатели для расчёта доходности, руб.

	<b>Наименование показателя</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Ф1	Выручка, руб.	235 900	260 611	278 735	225 903	298 600
Ф2	Сальдо денежных потоков от текущих операций (CFO), руб.	96 212	73 497	(16 684)	79 903	127 879
	Сальдо денежных потоков от инвестиционных операций (ICF), руб.	(28 960)	(12 692)	(28 792)	(34 568)	(26 253)

Составлено по: [СПАРК, 2022]

Основываясь на данных, представленных выше, среднее значение показателя  $\frac{FCFF}{\text{Выручка}}$  равно 16,21%, как указано в разделе 2.1.2. данный мультипликатор будет использоваться вместе с прогнозной ценой на пшеницу трансформируясь в доходность с гектара ( $R_t$ ).

Дополнительные издержки переноса для данной компании при площади участка 1000 га в потенциальном регионе составят 7 644 тыс. руб., подробный список необходимых инвестиций ( $IR$ ) представлен ниже

Таблица 15. Необходимые инвестиции для переноса ( $IR$ )

<b>Наименование</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Цена, руб.</b>	<b>Сумма, руб.</b>
<b>с/х техника</b>			
Трактор МТЗ-80 б/у	4	426 770	1 707 090
К-701 б/у	2	869 270	1 738 530
Комбайн Нива/Енисей б/у	2	230 520	461 040
Газ-53 б/у	2	161 990	323 990

Составлено по: [Министерство регионального развития, 2020]

Таблица 15. Необходимые инвестиции для переноса (*IR*) (Продолжение)

Наименование	Кол-во	Цена, руб.	Сумма, руб.
<b>с/х агрегаты</b>			
Плуг 3-корпусный (для МТЗ-80) б/у	4	96 820	387 280
Плуг 8-корпусный (для К-700) б/у	2	199 090	398 170
Сеялка СЗС -2,1 б/у	10	37 720	377 220
Борона БТД б/у	2	199 090	398 170
Борона зубовая б/у	60	6 710	402 360
Комплект сцепок на бороны б/у	2	23 050	46 100
Косилка сегментные б/у	2	52 390	104 780
Косилка дисковая	2	146 700	293 390
Пресс-подборщик б/у	2	136 220	272 430
Тракторная тележка б/у	4	41 910	167 650
Кун	2	209 570	419 130
Грабли б/у	2	41 910	83 830
Волокуша б/у	2	31 430	62 870
<b>Итого</b>			<b>7 644</b>

Составлено по: [Министерство регионального развития, 2020]

В пункте описаны основные особенности районов и компании для которых демонстрируется применение разработанного метода.

### 2.2.2 Характеристика данных модели

Цель данного раздела — дать характеристику рядов данных урожайности в Ростовской и Псковской областях. Структура данного раздела выглядит следующим образом — сначала приводится анализ дескриптивной статистики исторической урожайности в Ростовской и Псковской областях, затем на основе данных приводятся оценки параметров необходимых для моделирования.

Исторические ряды данных урожайности в Ростовской и Псковской областях приводятся за период 1998–2020 гг., они будут использоваться в дальнейшем для нахождения параметров простого броуновского движения переменной ( $Z_t$ ). Анализ дескриптивной статистики рядов приведен ниже.

Таблица 16. Исторические урожайности ( $Y_t$ ) озимой пшеницы в Ростовской и Псковской областях

Регион	1998–2002		2003–2007		2008–2012		2013–2017		2018–2020	
	m, ц/га	std, ц/га	m, ц/га	std, ц/га	m, ц/га	std, ц/га	m, ц/га	std, ц/га	m, ц/га	std, ц/га
<b>Ростовская область (<math>Y_t</math>)</b>	24,81	5,47	27,48	6,57	28,24	3,81	31,42	7,71	33,57	0,45
<b>Псковская область (<math>Y_t</math>)</b>	9,74	1,58	13,54	2,54	19,08	6,39	34,66	5,44	36,03	19,03

Составлено по: [Росстат, 2022]

Следующим шагом необходимо преобразовать урожайности в двух регионах к ряду разностей необходимых для моделирования ( $Z_t$ ), — описательная статистика представлена ниже:

Таблица 17. Характеристика разности урожайностей 1999 по 2020 гг.

	1998–2020	
	m, ц/га	std, ц/га
$Z_t$	-9,32	9,74

Составлено по: [Росстат, 2022]

Как видно из описательной статистики, ожидаемое значение ( $Z_t$ ) отрицательно и равно -9,32 — это можно интерпретировать следующим образом: Псковская область дает на данном этапе ожидаемую урожайность ниже по сравнению с Ростовской областью, данное значение будет использоваться в качестве отправной точки при моделировании ( $Z_0$ ).

Осталось оценить параметры дрейфа и СКО заданного процесса, а также рассчитать вероятность движения переменной вверх. Оценка параметров  $\alpha$  и  $\sigma$  ряда для моделирования процесса по [Тихомиров, Дорохина, 2002, стр. 267, 268]:  $\alpha = 1,45$ ,  $\sigma = 10,95$ , а вероятность увеличения переменной — шага вверх по [Цит. по: Окулов, 2019, стр. 236, Dixit, Pindyck, 1994, стр. 69]  $q_u = 0,57$ .

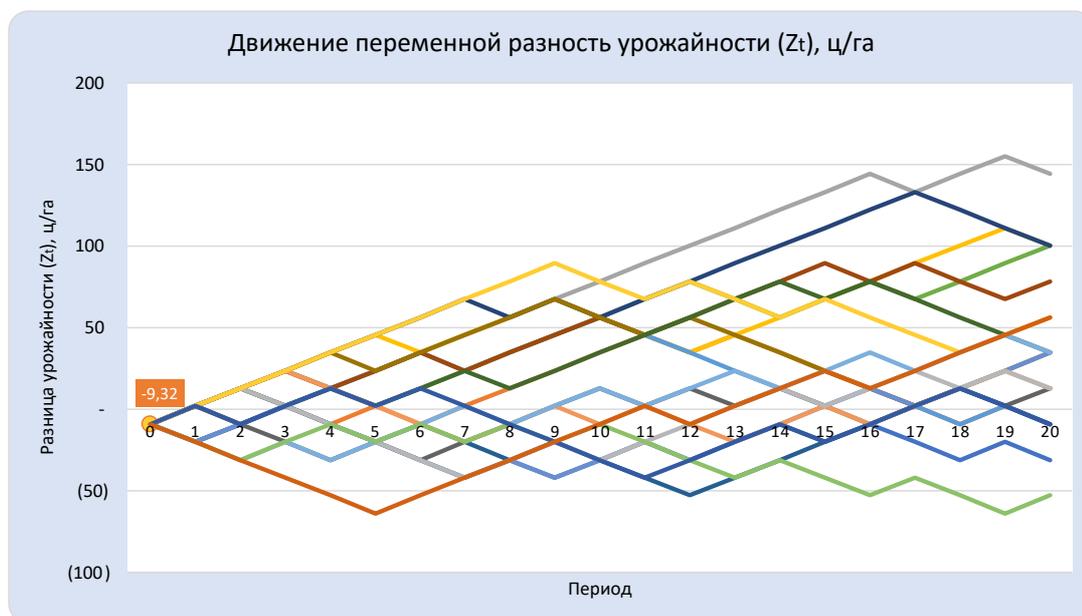
В данном пункте приведены оценки параметров для переменных модели, получившаяся оценка параметров будут использованы далее непосредственно в имитационном моделировании.

### 2.2.3 Интерпретация результатов моделирования. Управленческие приложения

Цель данного раздела – представить результаты моделирования на основе модели, описанной в разделе 2.1.1 с применением инструментария имитационного моделирования

и характеристик компании и регионов, описанных в разделе 2.2.1. В данном разделе данные результаты интерпретируются автором и предлагаются конкретные управленческие решения.

Имитационное моделирование для основной переменной — разницы урожайностей в текущем (Ростовской области) и потенциальном регионе (Псковской области) ( $Z_t$ ) дало результат в виде 1000 различных «путей» — имитаций от начального момента времени ( $\bar{Z}_t = -9,32$  ц/га), до конечного. Визуально это можно представить в виде графика «конский хвост», визуализация приводится для общего понимания, поэтому вместо 1000 «путей» приводится лишь 20 на графике ниже.



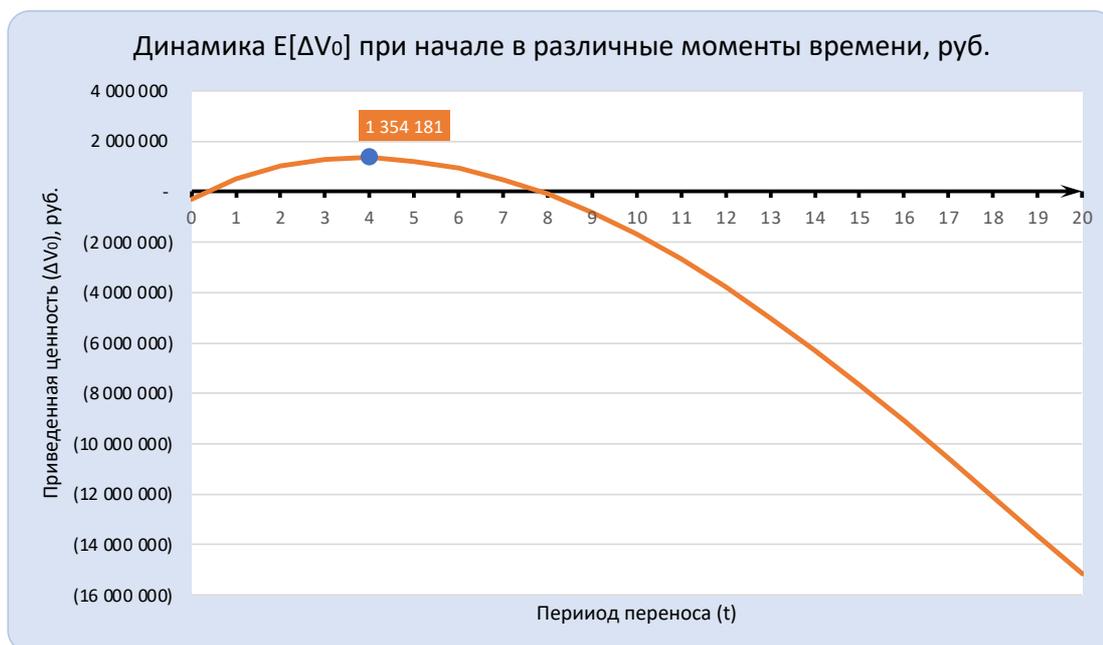
**Рис. 10.** 20 итераций для переменной разность урожайности ( $Z_t$ ), ц/га

*Составлено автором*

Ранее в разделе 2.1.3 отмечалось, что одним из важных результатов имитационного моделирования является  $E[T^*]$ , обозначающего ожидаемый оптимальный момент времени переноса. На графике ниже иллюстрируется распределение значений иного параметра —  $\Delta V_{0,j}$ , которое демонстрирует ожидаемые дополнительные ценности от переноса в каждый момент времени прогноза, но на нем можно четко идентифицировать, что ожидаемый период ( $E[T^*]$ ), дающий максимальную приведенную ценность в размере 1 345 181 руб.<sup>15</sup>, один и он приближен к значению  $T^*=4$ . Если на основе имитаций строго вычислять значение  $E[T^*]$  методом, описанным в разделе 2.1.3, оно будет равно 4,67. В рамках заданного бизнеса по выращиванию пшеницы процесс выращивания занимает 1 год и его

<sup>15</sup> Округление используется для упрощения восприятия текста, в модели используются точные значения

нельзя произвольно начать между двумя вегетативными периодами, рекомендуется осуществлять перенос округляя значение в меньшую сторону до 4-го периода.



**Рис. 11.** Результат моделирования. Приведенные ценности в различные моменты времени переноса, руб.

*Составлено автором*

Вопрос выбора периода переноса, который максимизирует приведенную стоимость важен, но не менее важным является интерпретация положительного значения  $\Delta V_{0,j}$ , в промежутке  $t \in (0;8)$ , это означает, что перенос в данный промежуток не только покрывает необходимые инвестиции на перенос, но и дает положительную дополнительную стоимость от осуществления деятельности — инвестировать в землю в таком случае выгодно и реальный опцион на перенос из Ростовской в Псковскую области для компании с рентабельностью равной 16,2% и выше имеет ценность.

Означает ли график выше 100% гарантию для бизнеса исполнения реального опциона на перенос с отсрочкой и положительную приведенную стоимости? Нет. Это лишь ожидаемое значение, на практике внешняя среда может сложиться таким образом, что исполнение не будет выгодным, на графике ниже представлено распределение  $\Delta V_{0,4}$ , то есть распределение приведенных дополнительных ценностей от переноса в момент времени  $T=4$ . На графике видно, что 584 имитации из 1000 дают отрицательную приведенную стоимость, это можно интерпретировать как то, что в 4 периоде (который при этом дает максимальную приведенную стоимость в рамках Имитационного моделирования) с 58,4% вероятностью начало проекта не будет иметь смысла либо же не принесет положительной приведенной стоимости. Справедливо уточнить, что длинное правое распределение

приведенных ценностей компенсирует это и итогом является общая положительная приведенная ценность



**Рис. 12.** Распределение приведенных ценностей при переносе в  $T=4$ , руб.

*Составлено автором*

Реальные опционы — это инструменты стратегии в динамической ее интерпретации, [Бухвалов, 2004], которые позволяют в динамике принимать стратегические решения. Ранее в данном разделе, было доказано наличие ценного опциона у компании, поэтому полезно дать управленческое приложение в виде стратегии переноса компании при различных реализовавшихся условиях внешней среды. Под реализовавшимися условиями внешней среды стоит понимать значение разностей урожайности в текущем регионе деятельности (Ростовской области) и потенциальном регионе (Псковской области). На основе имитаций можно вычислить ожидаемое значение разностей урожайностей  $E[Z_t]$ , которое является пороговым для положительного результата  $\Delta V_{0,j}$  для каждого момента времени, то есть, то значение  $Z_t$ , при превышении которого перенос будет выгоден.



*Рис. 13. Пороговое значение  $E[Z_t]$ , для положительной приведенной ценности, ц/га*

*Составлено автором*

Как видно из графика выше, пороговое значение имеет форму растущей ветви параболы, это объясняется тем, что при долгом ожидании и откладывании проекта необходим все больший запас прочности в виде высокой урожайности пшеницы.

## Выводы

В данной главе был рассмотрен общий метод определения оптимального времени переноса плантации пшеницы из текущего региона присутствия в потенциальный на основе имитационного моделирования Монте-Карло. В главе также рассматривается использование метода на примере переноса плантации пшеницы из Ростовской области (Южный район) в Псковскую область (Северный район) для компании с рентабельностью 16,2%.

Для рассмотренного примера, компании из Ростовской обл. (Южный район) с рентабельностью 16,2% перенос в Псковскую обл. (Северный район) будет оптимален в четвертом периоде (в рамках анализа 1 период = 1 год), в данном периоде достигается максимальная ценность равная 1 345 181 руб. Перенос плантации, также возможен в промежутке  $t \in (0; 8)$  ввиду того, что ценность от переноса в любой из периодов данного промежутка положительна, тем не менее, ожидаемо, максимум достигается лишь в одном периоде — четвертом. Каждый из периодов анализа, за исключением последнего, имеют ожидаемое значение разницы урожайности потенциального и текущего региона (Ростовской обл.) превышение которого дает положительную приведенную ценность в рамках имитационного моделирования; в 4 периоде такое значение равно 10,74 ц/га.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы являлось разработка метода оценки оптимального времени переноса плантации пшеницы в условиях неопределенного влияния климата.

Итог работы можно представить в виде разработанного метода на основе имитационного моделирования, который позволяет:

- Оценить ожидаемое оптимальное время переноса, которое дает максимальную ценность для компании производителя пшеницы;
- Выделить промежуток времени, в рамках которого ценность от исполнения реального опциона (переноса) остается положительной;
- Выявить пороговое значение урожайности для переноса, которое дает положительную ценность от исполнения реального опциона.

Технические особенности разработанного метода:

- Пошаговая реализация метода использует пакет MS Excel. Метод, предложенный автором, использует встроенные формулы и не требует загрузки дополнительных надстроек или скачивания сторонних программ, что существенно упрощает его применение;
- Метод предлагает визуализации на основе имитационного моделирования в MS Excel, которые позволят наглядно оценить оптимальное время переноса, промежуток в рамках которого перенос дает положительную ценность и пороговые значения урожайности.

Разработанный в данной работе метод, по мнению автора, может быть полезен следующим заинтересованным сторонам:

1) Финансовым менеджерам компаний, занимающимся выращиванием с/х культур, для обоснования инвестиций в земельный фонд. Представители данной группы смогут использовать разработанный метод для выявления потенциальных районов внутри страны для осуществления инвестиций; ввиду того, что разработанный метод является пошаговым, использует распространенный пакет MS Excel и требует минимальных входных данных, доступных менеджерам, он может быть без труда адаптирован на предприятии. Гибкость в виде имитационного моделирования дает широкий спектр анализа, который может быть использован для планирования бюджетов.

2) Стратегическим консультантам, которые предоставляют услуги по стратегическому менеджменту. Отчеты, которые готовятся данными аналитиками для

компаний в отрасли с/х, могут быть дополнены аналитикой в рамках географической стратегии производства. Так как метод с самого начала разрабатывался гибким с возможностью адаптации, консультанты могут применять его для компаний-производителей разнообразных однолетних культур, а не только пшеницы с минимальными дополнениями. Наглядные визуализации на основе имитационного моделирования позволят демонстрировать для клиентов-заказчиков не отдельные оценки параметров, а распределения — такой подход существенно увеличивает возможности анализа и принятия решений.

3) Третьей заинтересованной стороной выступает государство — предложенный метод дает государству возможность оценивать оптимальное для аграриев время изменения стратегии присутствия в регионе, а на его основе планировать бюджеты на необходимые инвестиции в транспорт, социальные объекты и общую инфраструктуру. Своевременная, направленная поддержка со стороны государства существенно снижает продовольственные риски для страны и позволяет оставаться ключевым экспортером на мировом рынке.

Представленный в данной работе метод, по мнению автора, имеет потенциальные направления улучшения. С технической точки зрения возможно использование VBA в пакете MS Excel, для максимального упрощения использования метода: такой подход сведет исполнения до введения переменных — оставшиеся шаги будут реализовываться автоматически. В работе уточнялось, что текущий метод рассматривает лишь один тип реального опциона — ожидания, тем не менее, гибкость реальных опционов позволяет создавать комбинированные модели, к примеру совместное использование опциона ожидания с опционом смены культур. Комбинация реальных опционов существенно усилит гибкость принятия решений и адаптации к изменяющимся условиям среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. База данных Росстат, урожайность пшеницы, 2021 (Росстат) [Электронный ресурс] // Росстат — Режим доступа: <http://bi.gks.ru>, открытый — Загл. с экрана. (дата обращения 25.01.2022)
2. База данных FAOSTAT, [Электронный ресурс] // FAOSTAT — Режим доступа: <https://www.fao.org/faostat>, открытый — Загл. с экрана. (дата обращения 23.02.2022)
3. База данных Refinitive Eikon: Food&Agriculture, [Электронный ресурс] // Refinitive Eikon — Режим доступа: <https://go.refinitiv.com>, закрытый — Загл. с экрана. (дата обращения 03.03.2022)
4. База данных СПАРК, финансовая отчетность ООО им. Лагунова [Электронный ресурс] // СПАРК — Режим доступа: <https://spark-interfax.ru>, закрытый — Загл. с экрана. (дата обращения 25.01.2022)
5. Бизнес-план, выращивание пшеницы, 2020 (Министерство регионального развития) [Электронный ресурс] // Министерство регионального развития (официальный сайт) — Режим доступа: <http://minregion.gov.kz>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 15.02.2022)
6. Брейли Р., Майерс С. Принципы корпоративных финансов //М.: Олимп-бизнес. – 1997. – Т. 1120.
7. Бухвалов А. В. Реальны ли реальные опционы //Российский журнал менеджмента. – 2006. – Т. 4. – №. 3. – С. 77–84.
8. Бухвалов А. В. Реальные опционы в менеджменте: классификация и приложения //Российский журнал менеджмента. – 2004. – Т. 2. – №. 2. – С. 27–56.
9. Вьюненко Л., Михайлов М., Первозванская Т. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. – Litres, 2021.
10. Голенская Т. А. Классификация реальных опционов в агросфере //Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2009. – №. 2. – С. 190.
11. Государственный (Национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации, 2021 (Минсельхоз) [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства РФ (официальный сайт) — Режим доступа: [https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16upr/%D0%93%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20\(%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9\)%20%D0%B4%D0%BE%D0%B](https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16upr/%D0%93%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20(%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9)%20%D0%B4%D0%BE%D0%B)

- A%D0%BB%D0%B0%D0%B4\_2020.pdf, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 10.02.2022)
12. Государственный (Национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации, 2020 (Минсельхоз) [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства РФ (официальный сайт) — Режим доступа: <https://rosinformagrotech.ru/data/elektronnye-kopii-izdanij/normativnye-dokumenty-spravochniki-katalogi-i-dr/send/66-normativnye-dokumenty-spravochniki-katalogi/1506-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-s-kh-naznacheniya-rf-v-2019-g-2021>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 10.02.2022)
  13. Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса в РФ до 2035 г., 2020 (Минсельхоз) [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства РФ (официальный сайт) — Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/4cc/4ccb020acf06ff1823e0c06e8a6dfaa8.pdf>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 10.02.2022)
  14. Ковтун В. И., Ковтун Л. Н. Технология выращивания высококачественного зерна озимой пшеницы на юге России // Земледелие. – 2013. – №. 3.
  15. Крупнейшие владельцы сельскохозяйственной земли в РФ, 2020 (BEFL) [Электронный ресурс] // BEFL (официальный сайт) — Режим доступа: <https://www.befl.ru/upload/iblock/d6a/d6a4b0dde4f8168cdb5dda65b3910d33.pdf>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 12.02.2022)
  16. Крупнейшие владельцы сельскохозяйственной земли в РФ, 2021 (BEFL) [Электронный ресурс] // BEFL (официальный сайт) — Режим доступа: <https://www.befl.ru/upload/iblock/bde/bde413292f8c1b65d185ceaca0a99b56.pdf>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 12.02.2022)
  17. Мэнкью Н., Тейлор М. Экономикс // СПб.: Питер. – 2013.
  18. Обзор рынка сельского хозяйства, 2019 (Deloitte) [Электронный ресурс] // Deloitte (официальный сайт) — Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/consumer-business/russian/obzor-rynka-selskogo-hozyajstva-2019.pdf>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 12.02.2022)
  19. Окулов В. Л. Риск-менеджмент: основы теории и практика применения: учебное пособие. – 2019.
  20. Павлова В. Н., 2021. Продуктивность зерновых культур в России при изменении агроклиматических ресурсов в 20–21 веках, Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук, СПб., 271 с.

21. Павлова В. Н., Варчева С. Е. Оценки степени уязвимости территории и климатического риска крупных неурожаев зерновых культур в зерносеющих регионах России //Метеорология и гидрология. – 2017. – №. 8. – С. 39–49.
22. Пасов В. М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур //Л.: гидрометеоиздат. – 1986. – Т. 152.
23. Раунер Ю. Л. (1981). Климат и урожайность зерновых культур. – 1981.
24. Регулирование цен: когда нужно остановиться? Аналитическая записка (ЦБ), 2021 [Электронный ресурс] // Центральный банк РФ (официальный сайт) — Режим доступа:  
[http://www.cbr.ru/content/document/file/131342/analytic\\_note\\_20211209\\_dip.pdf](http://www.cbr.ru/content/document/file/131342/analytic_note_20211209_dip.pdf), свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 12.01.2022)
25. Сельское хозяйство и АПК, 2021 [Электронный ресурс] // Официальный портал правительства Ростовской области — Режим доступа: <https://www.donland.ru>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 15.11.2021)
26. Тихомиров Н. П., Дорохина Е. Ю. Эконометрика. – 2002.
27. Халл Д. К. Опционы, фьючерсы и другие производные финансовые инструменты, 6-е издание. – Издательский дом Вильямс, 2008.
28. Allan R. P. et al. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. – 2021.
29. Bellman R. Dynamic programming //Science. – 1966. – Т. 153. – №. 3731. – С. 34-37.
30. Benninga S. Financial modeling. – MIT press, 2014.
31. Corato L. D. I., Ginbo T. Climate change and coffee farm relocation in Ethiopia: a real-options approach //Climate Change Economics. – 2021. – Т. 12. – №. 03. – С. 37.
32. Crop production (USDA), 2018 [Электронный ресурс] // United States department of Agriculture (официальный сайт) — Режим доступа [https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays\\_Reports/reports/cropan19.pdf](https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/cropan19.pdf), свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 12.01.2022)
33. Di Paola A. et al. The expansion of wheat thermal suitability of Russia in response to climate change //Land Use Policy. – 2018. – Т. 78. – С. 70-77.
34. Dixit R. K., Pindyck R. S. Investment under uncertainty //Investment Under Uncertainty. – Princeton university press, 1994.
35. Global issues: Population (UN) [Электронный ресурс] // UN (официальный сайт) — Режим доступа: <https://www.un.org/en/global-issues/population>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 02.03.2022)
36. Hannah L. et al. The environmental consequences of climate-driven agricultural frontiers //PloS one. – 2020. – Т. 15. – №. 2.

37. Ihli H. J., Maart-Noelck S. C., Musshoff O. Does timing matter? A real options experiment to farmers' investment and disinvestment behaviors // *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. – 2014. – Т. 58. – №. 3. – С. 430-452.
38. International Organization for Standardization. Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework. – ISO, 2006.
39. List of importing markets for the product exported by Russian Federation, Product: Wheat (Trademap), [Электронный ресурс] // Trademap (официальный сайт) — Режим доступа: <https://www.trademap.org>, открытый — Загл. с экрана. (дата обращения 02.03.2022)
40. List of importing markets for the product exported by Russian Federation, Product: Corn (Trademap), [Электронный ресурс] // Trademap (официальный сайт) — Режим доступа: <https://www.trademap.org>, открытый — Загл. с экрана. (дата обращения 02.03.2022)
41. List of importing markets for the product exported by Russian Federation, Product: Wheat flour (Trademap), [Электронный ресурс] // Trademap (официальный сайт) — Режим доступа: <https://www.trademap.org>, открытый — Загл. с экрана. (дата обращения 02.03.2022)
42. Mun J. Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions. – John Wiley & Sons, 2002. – Т. 386.
43. Myers St. 1997. Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics* 5: 147–175.
44. Pindyck R. S. Climate Future: Averting and Adapting to Climate Change. // Oxford University Press. – Forthcoming. – С. 234.
45. Rising J., Devineni N. Crop switching reduces agricultural losses from climate change in the United States by half under RCP 8.5 // *Nature communications*. – 2020. – Т. 11. – №. 1. – С. 1-7.
46. Schierhorn F. Will Russian Agriculture Benefit from Climate Change? // *Russian Agriculture and Climate Change*. – 2021. – Т. 25. – №. 272. – С. 11.
47. Schweser K. Schweser Note for the CFA 2013 Level 2-Book 1-Ethical and professional standards, quantitative methods, and economics. – 2012.
48. Stable food to withstand disaster, 2019 [Электронный ресурс] // BBC (официальный сайт) — Режим доступа: <https://www.bbc.com/future/bespoke/follow-the-food/a-staple-food-to-withstand-disaster/>, свободный — Загл. с экрана. (дата обращения 15.11.2021)
49. Xu C. et al. Future of the human climate niche // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2020. – Т. 117. – №. 21. – С. 11350-11355.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ПОШАГОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА В MS EXCEL

Ниже приведено использование функционала MS Excel для реализации имитационного моделирования Монте-Карло, описанного в общем виде в разделе 2.1.3

1) Генерация случайных чисел в виде матрицы  $m \times n$ , где в качестве элементов находятся  $a_{ij} \in (0; 1]$ , на основе MS Excel происходит с использованием функции «=RANDOM» (Рис. 14). Данные случайные значения можно интерпретировать как реализацию случайной вероятности, которая впоследствии будет сравниваться с вероятностью увеличения.

=RAND()	0,3030059
---------	-----------

*Рис. 14. Генерация случайных чисел MS Excel. Пример*

*Составлено автором*

2) Сравнение реализаций из п.1 с вероятностью увеличения переменной ( $q_u$ ), рассчитанной по [Цит. по: Окулов, 2019, стр. 236, Dixit, Pindyck, 1994, стр. 69] возможно с применением условной функции MS Excel «=IF» (Рис. 15). Сравнение случайной реализации с риск-нейтральной вероятностью шага вверх позволяет выстроить имитацию от начала и до конца, реализация ниже ( $q_u$ ) означает шаг вверх в дискретном арифметическом броуновском движении, в противном случае вниз

=IF()	1,63
-------	------

*Рис. 15. Условная функция MS Excel (Пример автора)*

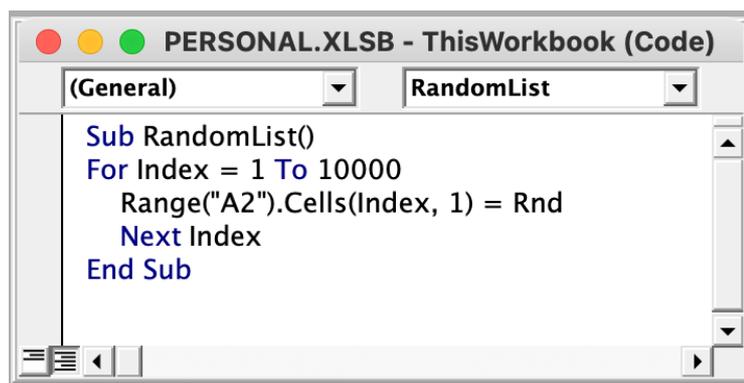
*Составлено автором*

3) Применение специальных формул MS Excel не требуется  
4) Нахождение оптимального времени переноса каждой итерации возможно провести в MS Excel в два последовательных шага:

1. Необходимо вычислить максимального значения ( $\Delta V_t$ ) применяя функцию: «=MAX ()» из всех возможных реализаций ( $\Delta V_t$ ) в рамках одной имитации
2. Для получившегося максимального значения возможно вернуть советующее ему значение ( $t$ ), применяя функцию: «=XLOOKUP ()» и найти искомое значение ( $T^*$ ), которое максимизирует ценность для заданной итерации

5) Оценка  $E[Z_t]$ , дающего положительное значение приведенной ценности на основе инструментария MS Excel, возможно реализовать за счет функции «=AVERAGEIFS», при этом в условной части данной функции будет условие не отрицательности ( $\Delta V_t$ )

Использование MS Excel — удобный и доступный способ проведения имитационного моделирования Монте-Карло, более того написание кода макросов существенно облегчает данный процесс. Для п. 1 по [Benninga, 2014, стр. 609] можно составить код, создающий 1000 значений  $a_i \in (0; 1]$



```
Sub RandomList()  
For Index = 1 To 10000  
    Range("A2").Cells(Index, 1) = Rnd  
Next Index  
End Sub
```

*Рис. 16. VBA код генерации случайных значений от 0 до 1*

*Составлено автором*

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОПИСАНИЕ ВЫВОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДА

Таблица 18. Описание выводных параметров

Параметр	Описание
Ожидаемое оптимальное время переноса ( $E[T^*]$ )	Ожидаемое оптимальное время переноса — оценка, которая показывает наиболее вероятное время для переноса, максимизирующее ценность.
Промежуток времени с положительной ценностью	Промежуток времени с положительной ценностью — это промежуток(-и), где в рамках имитационного моделирования ожидаемая ценность положительна
Пороговое значение разности урожайности для переноса ( $E[Z_t   \Delta V > 0]$ )	Пороговое значение разности урожайности для переноса — это значение для каждого периода, которое является пороговым, его превышение дает положительную ожидаемую ценность.

*Составлено автором*