На правах рукописи

Несветаев Михаил Юрьевич

ЛАНДШАФТНО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ТЕРРИТОРИИ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

Специальность 4.1.3 – Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Воронеж
2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»

Научный руководитель:	**Губарев Денис Иванович** – кандидат сельскохозяйственных наук, лаборатория агроландшафтов и ГИС ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока», ведущий научный сотрудник
Официальные оппоненты:	**Рухович Ольга Владимировна** – доктор биологических наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», заместитель директора по научной работе
	Абрамов Николай Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, кафедра почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», профессор
Ведущая организация:	ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»

Защита диссертации состоится «5» октября 2023 года в 12 часов в аудитории 149 на заседании диссертационного совета 35.2.008.03 на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1; тел./факс +7(473) 253-86-51, e-mail: murka1979@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте www.ds.vsau.ru, с авторефератом на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ www.vak.minobrnauki.gov.ru и ВГАУ www.ds.vsau.ru

Автореферат разослан «5» августа 2023 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скреплённые гербовой печатью организации, просим направить ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь
диссертационного совета Высоцкая Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации к 2030 г. планирует внедрить цифровые технологии в сельское хозяйство страны, запустить системы моделирования и прогнозирования в сельском хозяйстве с целью повышение продуктивности и рентабельности сельского хозяйства (Добровлянин, 2022).

Средством производства в сельском хозяйстве являются ландшафтные условия территории, и продуктивность сельскохозяйственных культур находится в прямой зависимости от этих условий (Израэль, 2003, Тобратов, 2011). Ландшафтные условия, в свою очередь, напрямую влияют на количество питательных элементов в почвенном покрове, вследствие чего неоднородность территории агроландшафта по продуктивности подчас настолько высока, что сравнима с различиями в продуктивности при переходе от одной природно-климатической зоны в другую (Мандельштам, 1966, Щербаков, 1970, Антюфеев, 1978). Понимание причин данных явлений должно послужить надежным каркасом для цифровых преобразований в сельском хозяйстве.

Взгляд на агроландшафт как на подчиненное образование к природному ландшафту позволяет использовать ландшафтный подход в сельскохозяйственной науке. Суть ландшафтного подхода – рассмотрение не только объекта изучения, но и его среды как иерархически сложно сформированного целого. Результаты ландшафтного подхода к разработке и решению проблем взаимодействия общества и природы, проектированию и созданию природно-технических геосистем, природоохранной деятельности подтвердили его эффективность в междисциплинарных научно-технических разработках (Дьяконов, 2006). На необходимость практической реализации ландшафтного подхода неоднократно обращали внимание классики физической географии 20-го века – Д.Л. Арманд (Арманд, 1975), Н.А. Гвоздецкий (Гвоздецкий, 1979), И.П. Герасимов (Герасимов, 1976), А.Г. Исаченко (Исаченко, 1953, 1991), Ф.Н. Мильков (Мильков, 1966, 1973), Н.А. Солнцев (Солнцев, 1981), В.Б. Сочава (Сочава, 1978) и др.

Показательным примером использования ландшафтного подхода в сельскохозяйственных науках являются адаптивно-ландшафтные системы земледелия (АЛСЗ) (Шабаев, 2003, Кирюшин, 2005) и ландшафтная агрохимия (Медведев, 2001, 2016), суть которых заключается в органичном встраивании сельскохозяйственного процесса в природный ландшафт, и, следовательно, в активном взаимодействии ландшафтоведения с сельскохозяйственными науками.

Адаптивно-ландшафтные системы земледелия в настоящее время не могут полностью решить вопрос о мозаичности посевов сельскохозяйственных культур, так как не учитывают уровень ландшафтных фаций, их обуславливающий, в связи с чем изучение данного уровня ландшафтной иерархии в сельскохозяйственной науке представляет не только теоретический, но и практический интерес, так как существенную проблему в настоящее время представляет практически полное отсутствие аргументированных и непротиворечащих друг другу методических рекомендаций по увязке систем удобрения с конкретными ландшафтно-

морфологическими условиями (Небольсин, 1997, Иванов, 2008, Лайшев, 2016, Иванов, 2020).

Существующие на данный момент исследования показали, что картирование ландшафтно-экологических условий объективнее традиционного почвенно-агрохимического обследования отражает пространственную неоднородность почвенного покрова (Иванов, 2014) и позволяет с большей эффективностью реализовывать точные системы удобрений (Минеев, 2004, Якушев, 2008, Иванов, 2014).

Степень разработанности темы. Изучением влияния ландшафтно-морфологического фактора на сельскохозяйственное производство со времен В.В. Докучаева занимались представители как классического ландшафтоведения (Л.Г. Раменский, Г.Н. Высоцкий, Н.Н. Сибирцев, С.С. Неуструев, К.Д. Глинка, Б.Б. Полынов, И.В. Ларин, Н.А. Солнцев, А.А. Видина, Ф.Н. Мильков, К.В. Зворыкин, В.А. Николаев, Б.И. Кочуров), работы которых стали научно-методической основой комплексного изучения сельскохозяйственных земель в колхозах и совхозах в 60-80-е годы прошлого столетия, так и сельскохозяйственных наук (В.И. Кирюшин, А.Н. Каштанов, С.А. Шафран, М.И. Лопырев, А.И. Шабаев, И.Ф. Медведев), труды которых послужили методической основой для конструирования современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия и систем удобрения почв.

Работами И.Ф. Медведева (Медведев, 2001, 2016, 2018) развито понятие о **ландшафтной агрохимии,** которая изучает влияние ландшафтно-морфологических условий на агрохимические и агрофизические особенности почв агроландшафтов, эффективность органических и минеральных удобрений.

Цель исследования: на примере 3-х ландшафтных районов Саратовской области выявить степень и пространственно-временную устойчивость влияния ландшафтно-морфологической структуры территории на основные свойства почвы, действие минеральных удобрений и продуктивность яровой мягкой пшеницы.

Задачи исследования:

1. Установить агрохимические и агрофизические закономерности в почвах преобладающих ландшафтных местностей, урочищ, фаций на территории Саратовской области.

2. Выявить степень влияния ландшафтно-морфологического фактора на агрохимические и агрофизические параметры почв, а также на продуктивность и качество яровой мягкой пшеницы.

3. Выявить пространственно-временную устойчивость влияния ландшафтно-морфологического фактора на комплекс агрохимических и агрофизических показателей почв, а также продукционных показателей яровой мягкой пшеницы.

4. Изучить влияние ландшафтно-морфологического фактора на действие минеральных удобрений.

Научная новизна. Впервые для преобладающих ландшафтов Саратовской области, расположенных на черноземах обыкновенных и черноземах южных, а также каштановых почвах, построены ландшафтно-морфологические карты, с помощью которых были получены выводы не только о существенном влиянии ландшафтно-морфологического фактора на основные показатели плодородия, продуктивности, но и о том, что эти влияния сохраняются во времени.

Опыт с дифференцированным внесением минеральных удобрений на ландшафтно-морфологической основе, поставленный на 3-х объектах исследования, позволил подтвердить гипотезу о существенном влиянии ландшафтно-морфологического фактора на действие минеральных удобрений.

Теоретическая и практическая значимость. В работе показано, что ландшафтно-морфологические условия оказывают устойчивое пространственно-временное влияние на основные агрохимические и агрофизические параметры почвенного покрова, различающееся в своем качественном и количественном выражении в разных ландшафтных районах.

Учет ландшафтной неоднородности территории при расчете дозировки удобрений позволяет не только оптимизировать использование минеральных удобрений, но и добиться рентабельного увеличения качества и количества сельскохозяйственной продукции, в том числе в зонах рискованного земледелия.

Методология и методы исследования. При написании диссертации были использованы полевой, экспериментальный, лабораторный, аналитический, статистический методы, метод геоинформационного картографирования. В работе использованы имеющиеся в свободном доступе научные исследования и разработки (книги, монографии, статьи, патенты и т. д.).

Положения, выносимые на защиту:

1. Влияние ландшафтно-морфологической структуры территории на физические и химические свойства почвы, пространственно-временная устойчивость этих влияний.

2. Влияние и пространственно-временная устойчивость ландшафтной структуры на продуктивность и качество яровой мягкой пшеницы.

3. Ландшафтно-морфологический фактор как основа для агрохимической интенсификации территории.

Высокая **степень достоверности результатов** достигается за счет трехлетнего проведения агрохимического опыта, проведением химико-аналитических работ с использованием сертифицированного оборудования, статистической обработкой полученных данных, геоинформационного обеспечения проводимых исследований.

Апробация работы: основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских научно-практических конференциях в 2017–2021 гг., а также представлялись на всероссийской агропромышленной выставке «Золотая осень» (Москва, 2021–2022 гг.).

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, в том числе 5 – в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ и 1 – в международной базе Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертационное исследование изложено на 175 страницах машинописного текста и состоит из введения, 5 глав, заключения, предложений производству, перспектив дальнейшей разработки темы, списка литературы, приложений. Работа включает в себя 69 рисунков, 7 таблиц, 25 приложений. Список литературы состоит из 169 наименований, в том числе 16 публикаций на английском языке.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **главе 1** диссертационного исследования рассматривается состояние изученности проблемы влияния ландшафтных условий на накопление и миграцию питательных веществ в агроландшафтах, что ведет к неоднородности в продуктивности территории.

В **главе 2** приведены сведения о методике исследования, которое проведено в 2019–2021 гг. на базе тестовых полигонов ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» и включало в себя камеральный этап по построению ландшафтно-морфологических карт объектов исследования, определению на них ключевых участков в виде доминантных и субдоминантных типов фаций, на которых в последствии проведены мониторинговые полевые исследования основных агрохимических и агрофизических свойств почв, продукционных показателей, а также поставлены агрохимические опыты.

Агрохимический опыт закладывался на участках общей площадью 150 м^2 на одну ландшафтную единицу, которых по условиям опыта было 9 (типы фаций слабопологих (I) и пологих (III) склонов, ложбин (II) и межложбинных водоразделов (IV) на склонах северной (n) и южной (s) экспозиции, а также типы фаций главных водоразделов (V) на соответствующих почвенных разностях), совокупная площадь которых в структурах землепользования составляла 60%. Схема агрохимического опыта включала в себя 5 вариантов (каждый вариант располагался на площади 30 м^2): 1. Без удобрений (контроль); 2. N30 (одинарная доза аммиачной селитры); 3. N60 (двойная доза аммиачной селитры); 4. N90 (тройная доза аммиачной селитры); 5. NSx (дифференцированная доза сульфата аммония и аммиачной селитры, зависящая от наличия нитратного азота и подвижной серы в почве перед посевом).

Статистическая и математическая обработка полученных результатов проведена методами корреляционного, дисперсионного, вариационного (V_1 (значимость дисперсии(чем выше значение, тем более значим ландшафтно-морфологический фактор)), V_2 (пространственно-временная устойчивость влияния ландшафтно-морфологического фактора на рассматриваемый показатель (чем ниже значение, тем большая устойчивость рассматриваемого фактора)) анализа по Е.А. Дмитриеву (Дмитриев, 1972) и Б.А. Доспехову (Доспехов, 1985) в программах Agros, Statistica 13 и пакета «Анализ данных» Microsoft Excel, а также инструментами ArcGIS.

Глава 3 посвящена ландшафтной характеристике места проведения исследований, а также агрохимическим и агрофизическим особенностям почв типов фаций тестовых полигонов, которые расположены в Саратовской области в трех административных и ландшафтных районах, находящихся в северной, типичной и засушливой степях и расположенных, соответственно, на черноземах обыкновенных, черноземах южных и каштановых почвах: п. Росташи, Аркадакский район, Елань-Терсинский ландшафтный район, Большеаркадакско-Грачевская и Грачевско-Ольшанская местности – тестовый полигон (т.п.) №1; г. Саратов, Чардымо-Курдюмский ландшафтный район, Гусельская местность – тестовый полигон (т.п.) №5;

п. Семенной, Краснокутский район, Еруслано-Бизюкский ландшафтный район, Еруслано-Жидкосолянская местность – тестовый полигон (т.п.) №9.

Территории т.п. №1 и №9 характеризуются преобладающими склонами 0–1°, тогда как территория т.п. №5 имеет преобладающие склоны в 1–3°.

Климатические условия вегетационного периода за 2019–2021 гг. на тестовых полигонах характеризовались слабозасушливыми условиями т.п. №1 (ГТК (Селянинов, 1937) 1,08), засушливыми условиями т.п. №5 (ГТК=0,88) и очень засушливыми условиями т.п. №9 (ГТК=0,56).

Установлено, что ландшафтно-морфологический фактор существенно влияет на агрохимические параметры почвенного покрова рассматриваемых тестовых полигонов с установленной математической значимостью для нитратных форм азота (V_1=12,4%), подвижных форм калия (кроме т. п. №9) (V_1=15,8%), фосфора (V_1=16,7%), серы (V_1=20,6%). Не оказал математически значимого эффекта рассматриваемый фактор на кислотность (V_1=3,6%) и органическое вещество почвы (V=6,7%).

По уравнениям линейной регрессии вида:

$y=1{,}806048+0{,}236302*a+(-0{,}002936)*b+0{,}001160*c+(-0{,}151020)*d+(-0{,}003945)*e+0{,}035553*f+0{,}946666*g+(-0{,}008562)*h+(-0{,}234759)*i+(-0{,}543985)*j+(-0{,}000475)*k$ ($r=0{,}89$, $r^2= 0{,}67$) (**т.п. №1**);

$y=5{,}306875+0{,}361640*a+(-0{,}005686)*b+(-0{,}000373)*c+(-0{,}037269)*d+0{,}02331*e+0{,}011192*f+0{,}817172*g+(0{,}011421)*h+(-0{,}067187)*i+(-0{,}168040)*j+(-0{,}002145)*k$ ($r=0{,}95$, $r^2= 0{,}81$) (**т.п. №5**);

$y=2{,}954125+0{,}087136*a+(0{,}004705)*b+(-0{,}002838)*c+(-0{,}068567)*d+0{,}024037*e+0{,}779275*f+(-0{,}445746)*g+(-0{,}054699)*h+(-0{,}370296)*i+(2{,}890324)*j+(-0{,}000003)*k$ ($r=0{,}92$, $r^2= 0{,}76$) **(т.п. №9)**,

где a – содержание нитратного азота, мг/кг; b – содержание подвижной формы фосфора, мг/кг; c – содержание подвижной формы калия, мг/кг; d – содержание подвижной серы, мг/кг; e – гумус, %; f – $pH_{сол.}$, g – плотность сложения почвы, г/см^3; h – высота над уровнем моря, м; i – уклон поверхности, град.; j – кривизна поверхности, коэф.; k – суммарное солнечное излучение, мДж/м^2,

выявлено, что лимитирующими продуктивность агрохимическими факторами в Саратовской области являются нитратный азот и подвижная форма серы. Так, на т. п. №1 нитратный азот в слое почвы 0–30 см имеет 55% влияния на урожайность, содержание подвижной серы того же слоя – 35%. Аналогичные показатели на т. п. №5 и №9 имеют доли влияния, соответственно, 82% / 8,5% и 9% / 7%.

За трехлетний период наших наблюдений на тестовом полигоне №1 среднее содержание нитратного азота перед посевом составило 7,3 мг/кг.

Склон северной экспозиции (ССЭ) был обеспечен нитратным азотом хуже, чем склон южной экспозиции (СЮЭ) что связано, в первую очередь, с приходом солнечной радиации (r = 0,72). Выявлено, что типы фаций депрессивных форм рельефа в среднем хуже обеспечены нитратными формами азота, чем более возвышенные участки склонов и водоразделов.

Весной перед посевом на тестовом полигоне №5 в среднем по годам исследования наименьшими запасами нитратного азота обладали фации ложбин (II) и водоразделов 2-го порядка (IV) обеих экспозиций, а также типы фаций главных

водоразделов (V). Так, в среднем за 3 года на этих морфологических элементах содержание нитратного азота составило 4,6 мг/кг, тогда как на фациях I и III обеих экспозиций было 5,3 мг/кг. Указанная тенденция устойчива по годам (r=0,68). По экспозициям склонов почвы ССЭ обеспечены нитратным азотом лучше, чем почвы СЮЭ (5,3 мг/кг и 4,6 мг/кг).

За годы исследований на т.п. №9 выявлено повышенное накопление нитратного азота в почвах ложбин стока, что обусловлено тем, что слой почвы 0-50 см фаций ложбин за 3 года исследований оказался влажнее, чем аналогичный слой почв остальных фаций, а также тем, что почвы здесь содержат 26,7% илистой фракции (<0,001 мм) при средних значениях на других фациях в 22%, что подтверждается и большим содержанием гумуса. Почвы СЮЭ к моменту посева яровой пшеницы накапливали гораздо больше нитратного азота (5,1 мг/кг), чем ССЭ (3,5 мг/кг) (Рисунок 1).

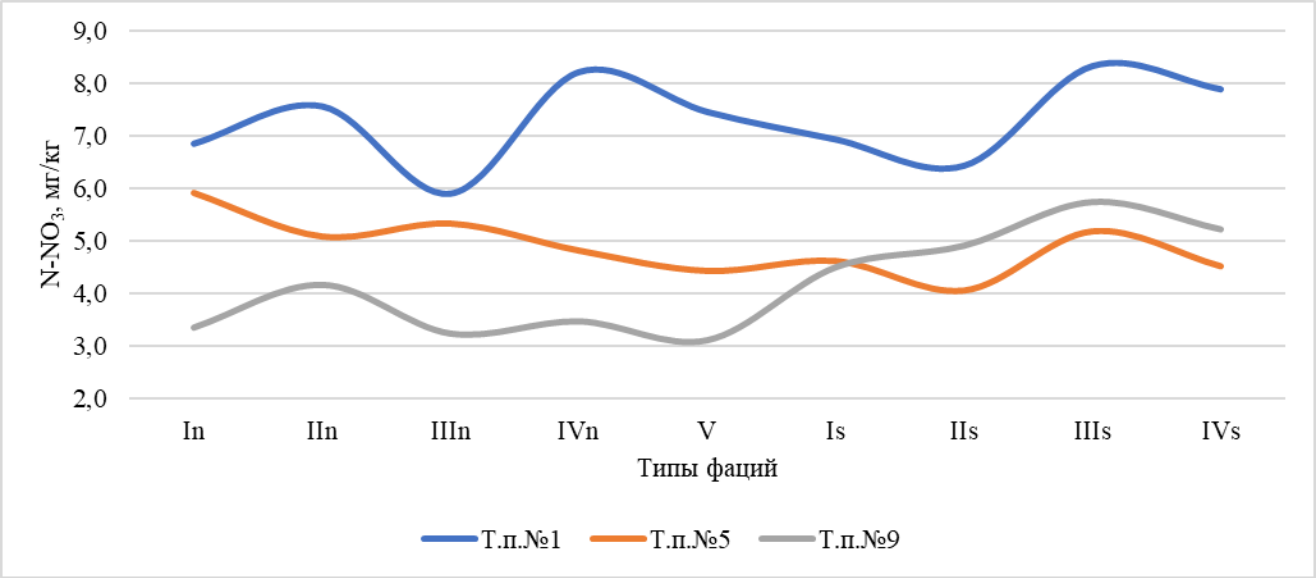

Рисунок 1 – Содержание нитратного азота в слое почвы 0–30 см перед посевом по типам фаций тестовых полигонов, 2019–2021 гг.

Существенным фактором, влияющим на продуктивность почвенного покрова, является содержание в почве подвижной серы. Для черноземов обыкновенных т.п. №1 анализ выявил повышенное накопление подвижных форм серы на фациях II, IVn и IIIs (5 мг/кг), в то время как на остальных фациях (I, IIIn, IVs, V) выявлено содержание подвижной серы на уровне 3,7 мг/кг. По типам фаций за годы исследований выявлено, что почвы модельных участков устойчивы в относительном содержании подвижной серы (r=0,79).

Выявлено, что наиболее эрозионно-опасные типы фаций т.п. №5 имеют наибольшее содержание подвижной серы в пахотном слое. Так, наибольшими запасами подвижных форм серы в пахотном слое почвы обладают типы фаций IIn, IIIn со значительной эрозионной нагрузкой, что приводит к тому, что богатые этим элементом подстилающие породы вовлекаются в сельскохозяйственный процесс.

Среднее содержание подвижной серы в почвах т.п. №9 находится на низком уровне по классификациям агрохимической службы (3,5 мг/кг). Почвы склонов

северной экспозиции за годы исследований содержали подвижной серы на 1 мг/кг и 2 мг/кг больше, чем почвы южной экспозиции и водоразделов соответственно. По типам фаций выявлено увеличение содержания серы на фациях In, IIn, IVn и IIIs (4,5 мг/кг), тогда как среднее содержание серы на остальных типах фаций составило 2,7 мг/кг (Рисунок 2).

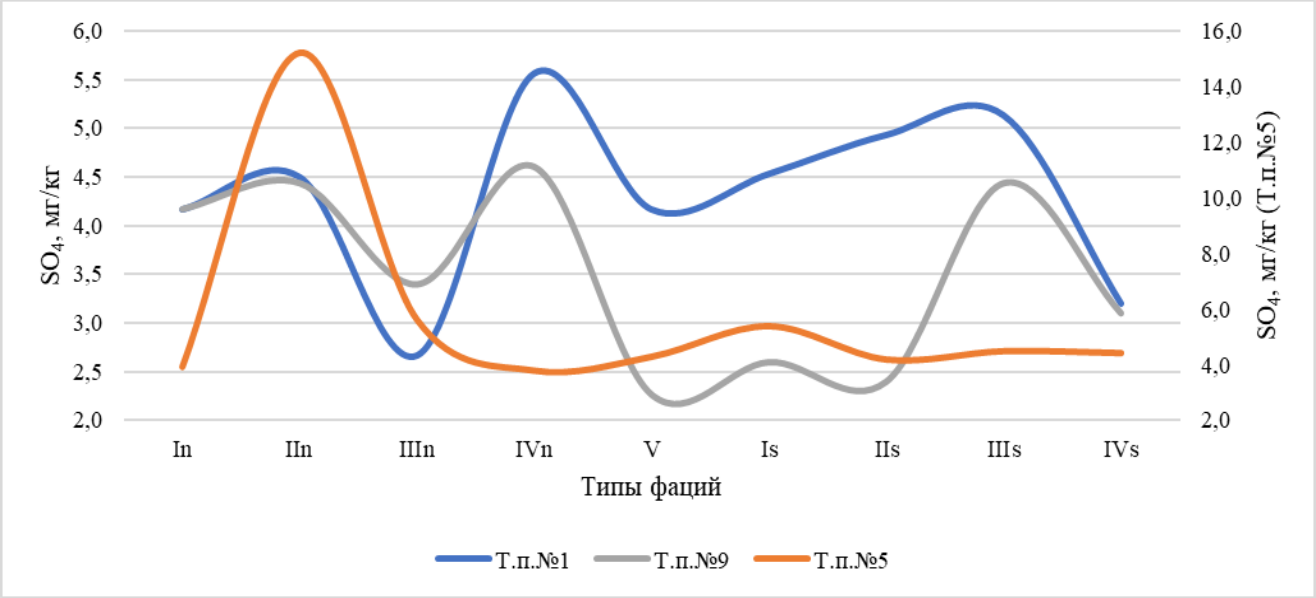

Рисунок 2 – Содержание подвижных форм серы в слое почвы 0–30 см перед посевом по типам фаций тестовых полигонов, 2019–2021 гг.

Таким образом, за годы исследований для т.п. №1 и №9 выявлены статистически значимые различия (от 12% до 27% V_1) и пространственно-временная устойчивость одних из основных факторов плодородия для степной зоны Саратовской области ($N\text{-}NO_3$ и подвижной серы в слое почвы 0–30 см (V_2=7,9% / V_2=3,33% для т.п. №1, V_2=31,75% / V_2=34% для т.п. №9 соответственно)). Для т.п. №5, напротив, по данным параметрам не выявлено пространственно-временной устойчивости по типам фаций (V_2=48,2% / V_2=48,4% соответственно).

В первой части **главы 4** приводятся показатели урожайности и качества яровой мягкой пшеницы по типам фаций объектов исследования.

По типам фаций т.п. №1 выявлено, что типы фаций II, занимающие 3,3% территории землепользования, имеют наименьшую за все годы наблюдений урожайность (1,49 т/га при средней в 2,28 т/га). Тем не менее, в годы, когда наблюдаются засушливые условия в ключевые фазы развития пшеницы (цветение), именно на этих фациях мы наблюдали максимальную урожайность по местности (3,17 т/га при средней по местности в 2,45 т/га). На водораздельных типах фаций получена максимальная среднегодовая урожайность (2,41 т/га). Фации I, занимая 30,8% территории, по среднегодовой продуктивности (2,21 т/га) оказались хуже и фаций III, занимающих 17% территории (2,33 т/га) и фаций IV, занимающих 6,2% территории (2,47 т/га) (Рисунок 3).

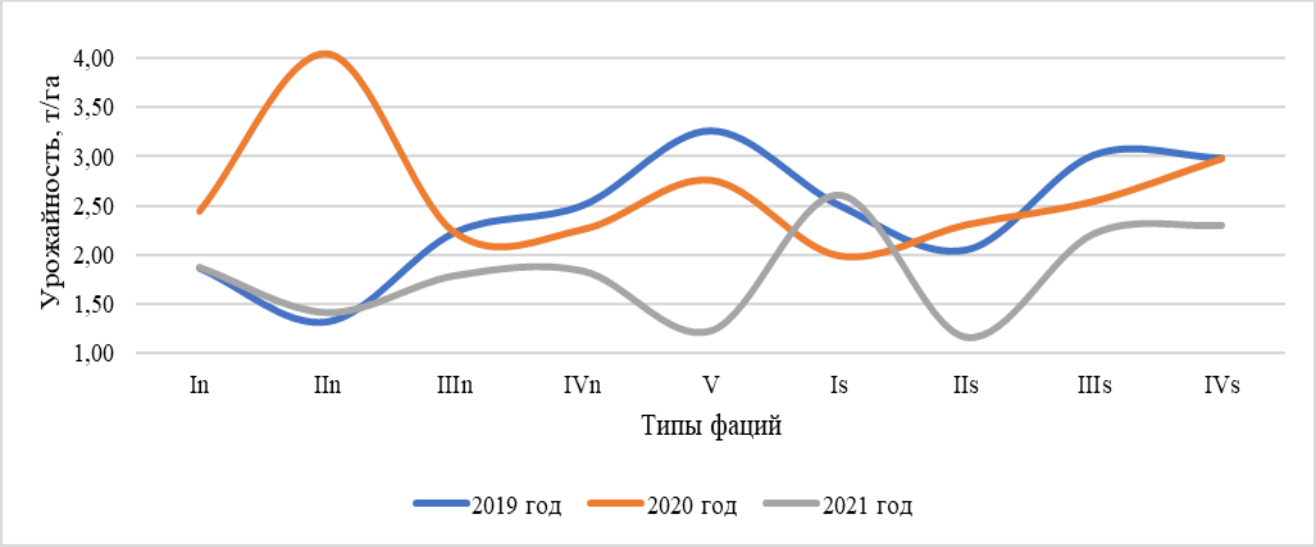

Рисунок 3 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по типам фаций т.п. №1, 2019–2021 гг.

В продуктивности Гусельской местности (т.п. №5) выявлен тот же факт понижения урожайности на фациях ложбин (II) обеих экспозиций (0,99 т/га при средней урожайности по местности в 1,31 т/га), занимающих здесь, при более выраженном рельефе, 5% от площади землепользования. Впрочем, на этой местности, так же, как и на предыдущей, при засушливых условиях (ГТК=0,3) в фазу цветения (конец июня-начало июля) в 2019 году урожайность на фации IIn оказалась максимальной (2,75 т/га при средней урожайности в 1,73 т/га).

В отличие от тестового полигона №1, фации склонов южной экспозиции т.п. №5 менее продуктивны (1,13 т/га), чем типы фаций склона северной экспозиции (1,47 т/га), при средних значениях урожайности на фациях V (1,29 т/га) (Рисунок 4).

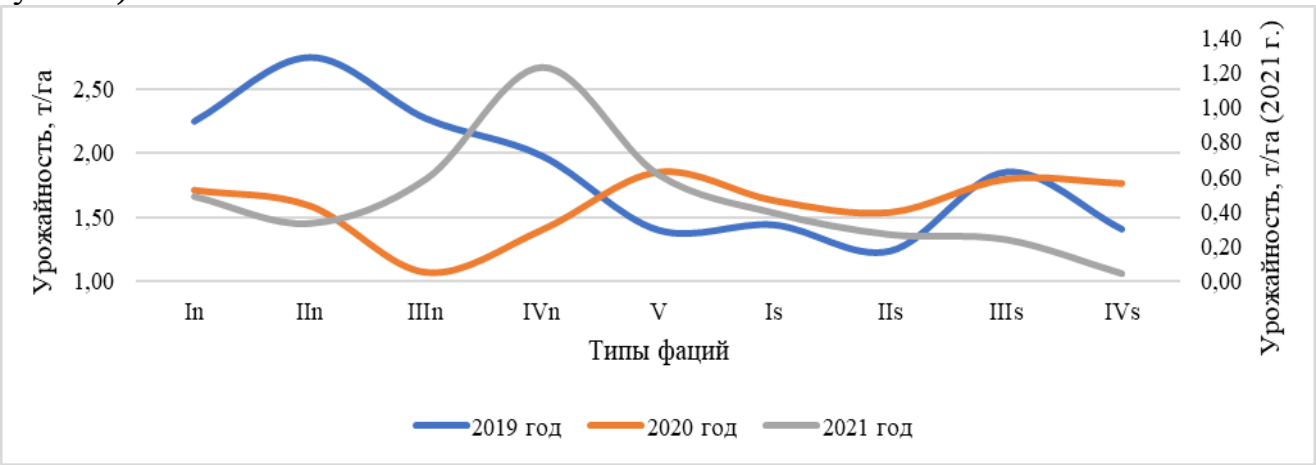

Рисунок 4 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по типам фаций т.п. №5, 2019–2021 гг.

В среднегодовой продуктивности яровой мягкой пшеницы по т.п. №9 были получены результаты, согласно которым фации склонов южной экспозиции были более продуктивными (1,15 т/га) тогда как на фациях склонов северной экспозиции среднегодовая урожайность оказалась равной 0,91 т/га при продуктивности

водоразделов в 1,05 т/га. Стоит отметить, что фации ложбин, занимающие здесь 4,8% территории землепользования, в отличие от предыдущих тестовых полигонов, оказались самыми продуктивными (1,21 т/га при средних значениях местности в 1,03 т/га) (Рисунок 5).

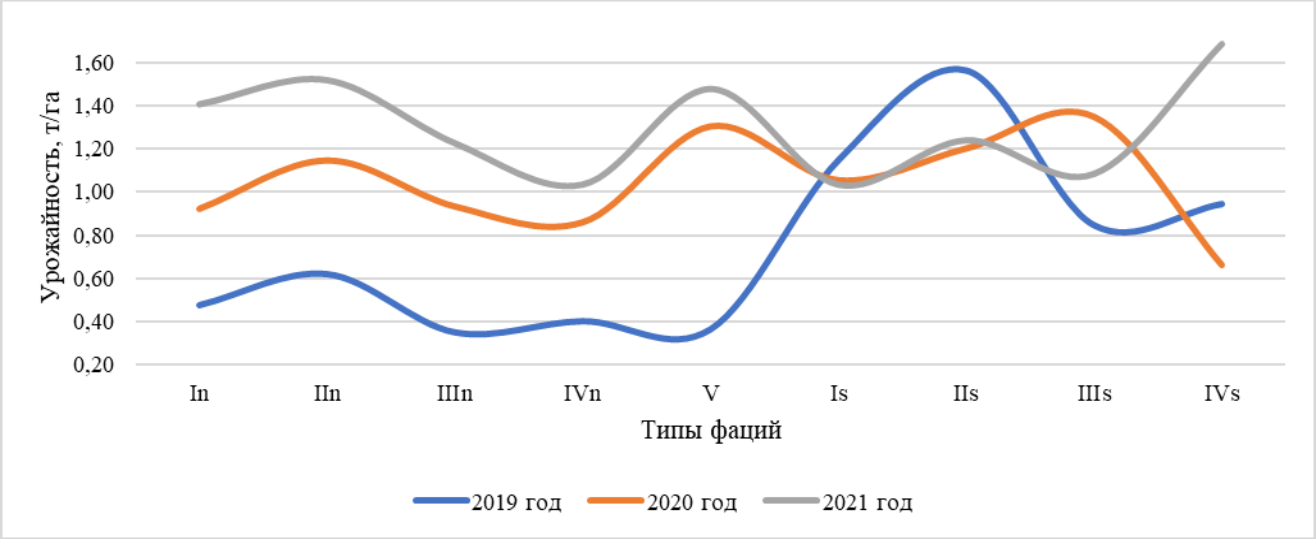

Рисунок 5 – Урожайность яровой мягкой пшеницы по типам фаций т.п. №9, 2019–2021 гг.

Среднегодовая урожайность типов фаций I, занимающих 30,1% территории, составила 1,01 т/га, тогда как продуктивность типов фаций III и IV, в совокупности занимающих 7,9% территории хозяйства составила 0,96 т/га и 0,93 т/га соответственно.

Содержание клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы на т.п. №1, находящегося в северной лесостепи, за годы исследований составило 22,7%, тогда как на т.п. №5 (типичная степь) – 28,1%. Зерно яровой пшеницы т.п. №9 (сухая степь) содержала уже 29,6% клейковины (Рисунок 6).

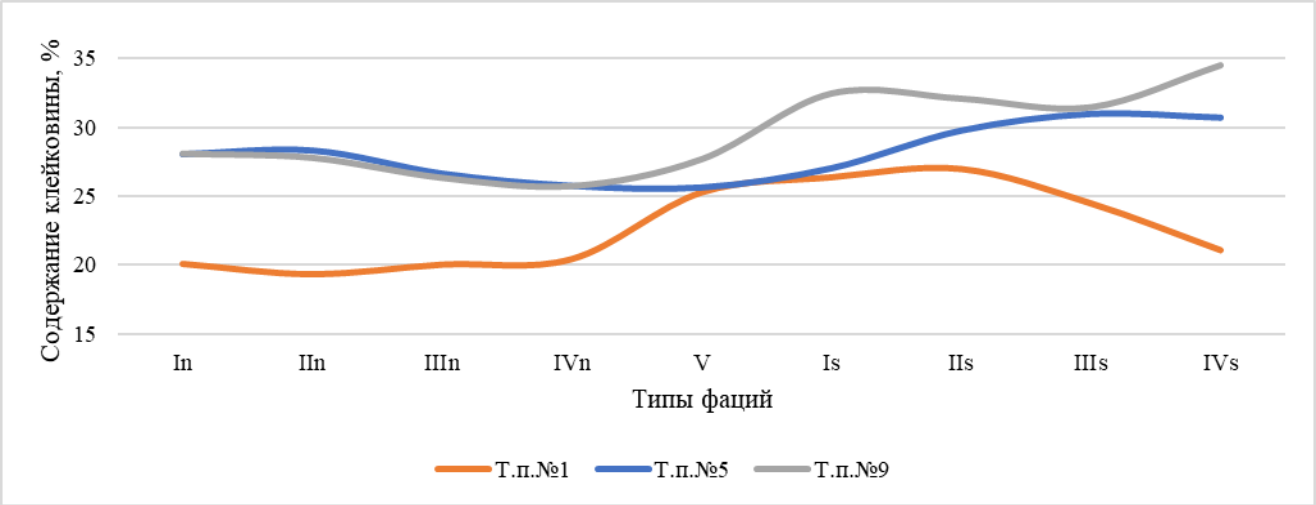

Рисунок 6 – Содержание клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы по тестовым полигонам, 2019–2021 гг.

На т.п. №1 происходило ухудшение качества зерна яровой мягкой пшеницы от фаций In к фациям IIn и затем улучшение качества к фациям IIIn, IVn, V, Is, IIs

с последующим ухудшением на фациях IIIs, IVs. Напротив, на т.п. №5 и 9 происходило ухудшение качества от фаций In к фациям IIn, IIIn, IVn с последующим улучшением на фациях V, Is, IIs, IIIs, IVs.

Таким образом, выявлено, что ландшафтно-морфологический фактор оказывает существенное воздействие на продуктивность яровой мягкой пшеницы, изменяясь от V_1=12,4% на т.п. №1, V_1=14,8% на т.п. №5 до V_1=16,4% на т.п.№9. Пространственно-временная устойчивость фактора, напротив, с северо-запада на юго-восток уменьшается, изменяясь от V_2=12,4% на т.п. №1, V_2=38,7% на т.п. №5 до V_2=41,6% на т.п. №9. В то же время пространственно-временная устойчивость влияния рассматриваемого фактора на качество яровой пшеницы существенно снижалась от т.п. №9 к т.п. №1 и т.п. №5 (V_2=10%, 33,8%, 65,2% соответственно).

Во второй части **главы 4** приводятся данные о влиянии ландшафтно-морфологического фактора на действие минеральных удобрений, тогда как в **главе 5** показана рентабельность их применения на этой основе.

Применение минеральных удобрений на тестовом полигоне №1 в 2019–2021 гг. позволило увеличить урожайность на 0,4 т/га на участках с дозой N30, на 0,3 т/га на вариантах опыта с N60, а также на 0,5 т/га и 0,7 т/га на участках с дозой N90 и расчетной (NSx).

На доминантных типах фаций территории т.п. №1, занимающих 47,8% территории, наиболее рентабельным является внесение аммиачной селитры в дозе N30 на ССЭ (In, IIIn) и дифференцированных доз сульфата аммония и аммиачной селитры на СЮЭ (Is, IIIs), тогда как на остальной рассматриваемой территории, занимающей в структуре землепользования 13%, более рентабельным является внесение высоких доз аммиачной селитры (N90) и дифференцированных доз удобрений (NSx) (Рисунок 7).

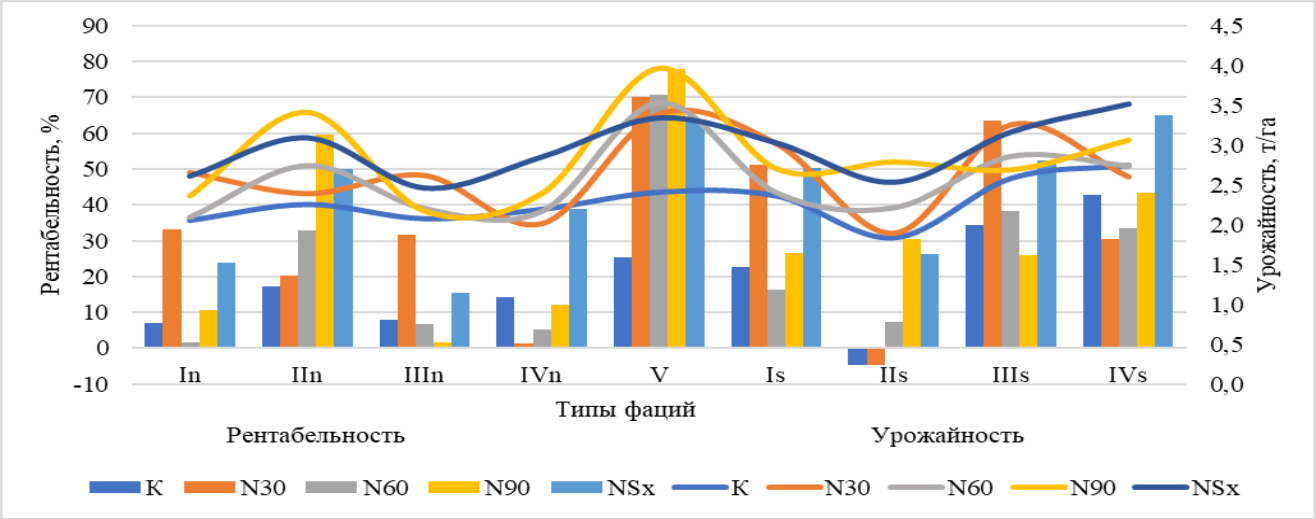

Рисунок 7 – Показатели урожайности и рентабельности при применении минеральных удобрений по типам фаций т.п. №1, 2019–2021 гг.

Типы фаций, находящиеся на более возвышенных участках местности (типы фаций V, I, IV) имеют больший отзыв по качеству зерна от применения удобрений, и, напротив, участки, находящиеся ниже по рельефу (типы фаций III, II), показывают меньший прирост в качестве от применения удобрений. Наибольший

прирост в качестве зерна зафиксирован от высоких доз аммиачной селитры и от дифференцированной дозы сульфата аммония (Рисунок 8).

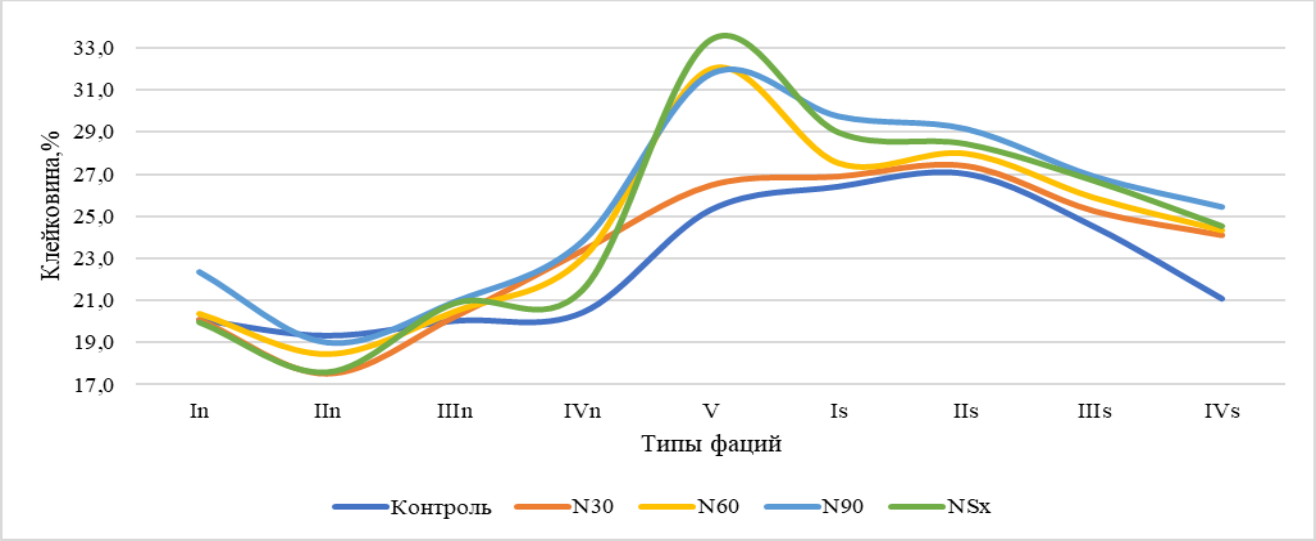

Рисунок 8 – Изменение содержания клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона №1, 2019–2021 гг.

Минеральные удобрения, примененные на т.п. №5 в 2019–2021 гг. позволили в среднем по всем видам и дозам удобрений увеличить урожайность на 28%. Отзыв от удобрений при дозе аммиачной селитры в N90 составил +53%, а при N60 – +39%. Прибавка на участках с N30 и дифференцированной дозой сульфата аммония (NSx) составила, соответственно, +9% и +10% прироста урожайности.

На т.п. №5 на доминантных типах фаций (I, III), занимающих 40% территории землепользования, рентабельнее внесение высоких доз аммиачной селитры, при этом на ССЭ (In, IIIn) рентабельность дозы N60 выше, чем N90, тогда как на Is, IIIs – ниже. На остальной же части территории, занимаемой ложбинными и водораздельными комплексами разных порядков, рентабельность дозы удобрений N60 оказалась на 15% выше, чем N90 (Рисунок 9).

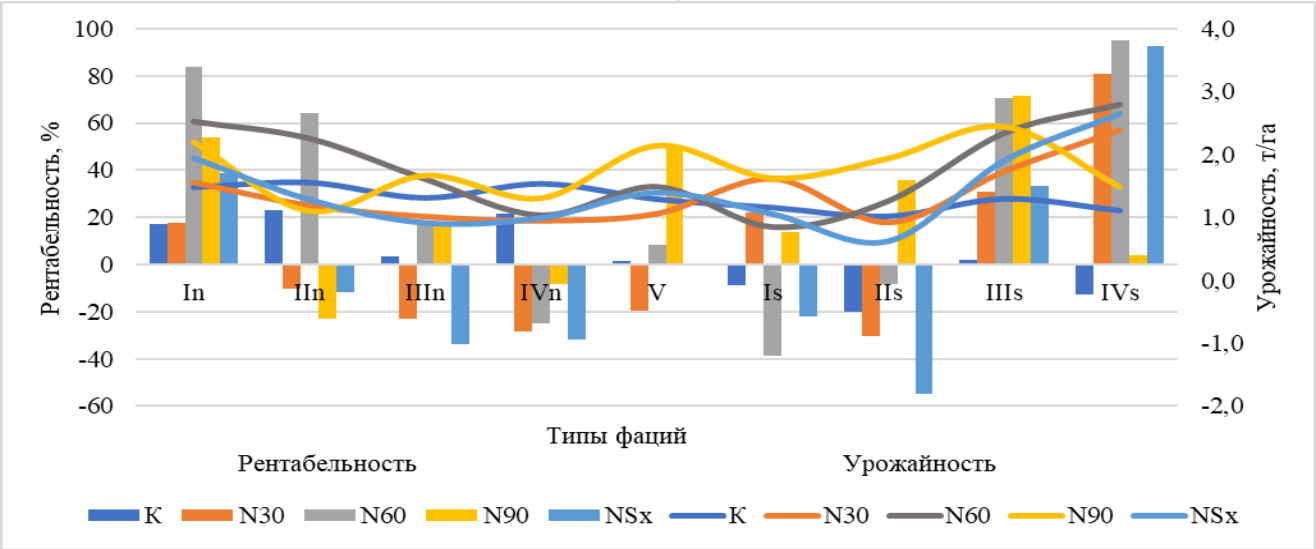

Рисунок 9 – Показатели урожайности и рентабельности при применении минеральных удобрений по типам фаций т.п. №5, 2019–2021 гг.

В результате многолетнего опыта выявлено, что от возрастающей дозы аммиачной селитры происходило повышение качества зерна яровой пшеницы по содержанию клейковины в зерне на большей части исследуемой территории т.п. №5, притом максимальный прирост был зафиксирован на наиболее эрозионно-опасных территориях фаций ложбин и пологих склонов. Так, на контрольных участках этот показатель равнялся 28,1%, а при внесении N30 повысился на 1,1% относительно контроля, при внесении N60 – на 1,3%, на N90 – на 2,4%, и на NSx – на 1,3% (Рисунок 10).

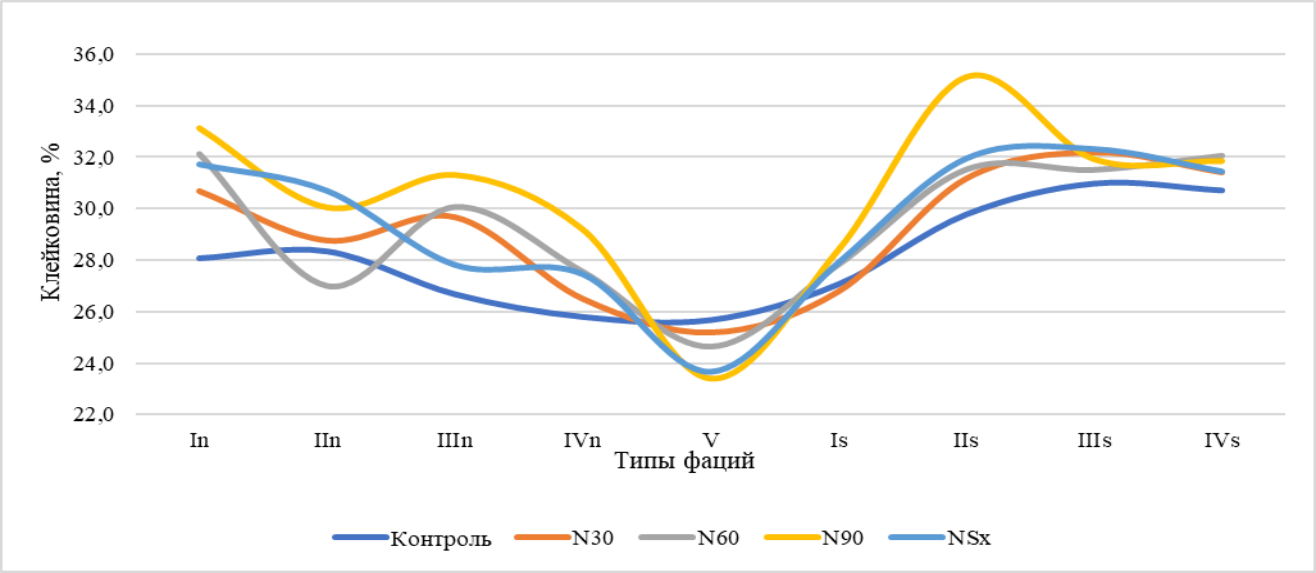

Рисунок 10 – Изменение содержания клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона №5, 2019–2021 гг.

В результате проведенных агрохимических опытов в 2019–2021 гг. на т.п. №9 выявлено, что от N30 существенного повышения урожайности не происходило, тогда как при возрастающих дозах N60 и N90 прирост составил 7% и 9% соответственно. Лучше всего проявил себя сульфат аммония, прибавка от которого составила 12% в среднем по местности (Рисунок 11).

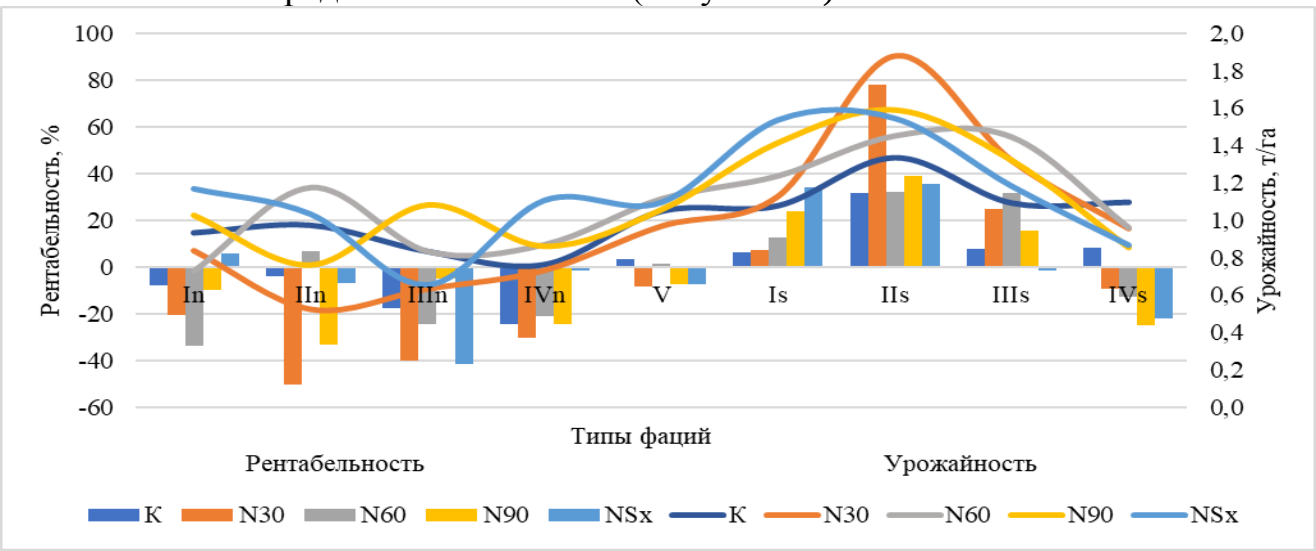

Рисунок 11 – Показатели урожайности и рентабельности при применении минеральных удобрений по типам фаций т.п. №9, 2019–2021 гг.

Рентабельным оказалось внесение удобрений на большей части обрабатываемой территории т.п №9 (30% от площади всего землепользования), где рентабельность дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры на типах фаций In, Is составила 19,8%.

На типах фаций II рентабельнее вносить дозу N60 (19,5%). Та же самая доза оказалась рентабельной и на IIIs (31,5%).

Анализ распределения качества зерна яровой пшеницы по типам фаций Еруслано-Жидкосолянской местности позволяет сделать вывод, что повышенные дозы удобрений (N60, N90) не приносят ощутимого эффекта в качестве (за исключением фаций IIIn, IVn, Is). Напротив, на большей части территории землепользования именно дозы N30 и NSx приносили ощутимые прибавки в качестве зерна (Рисунок 12).

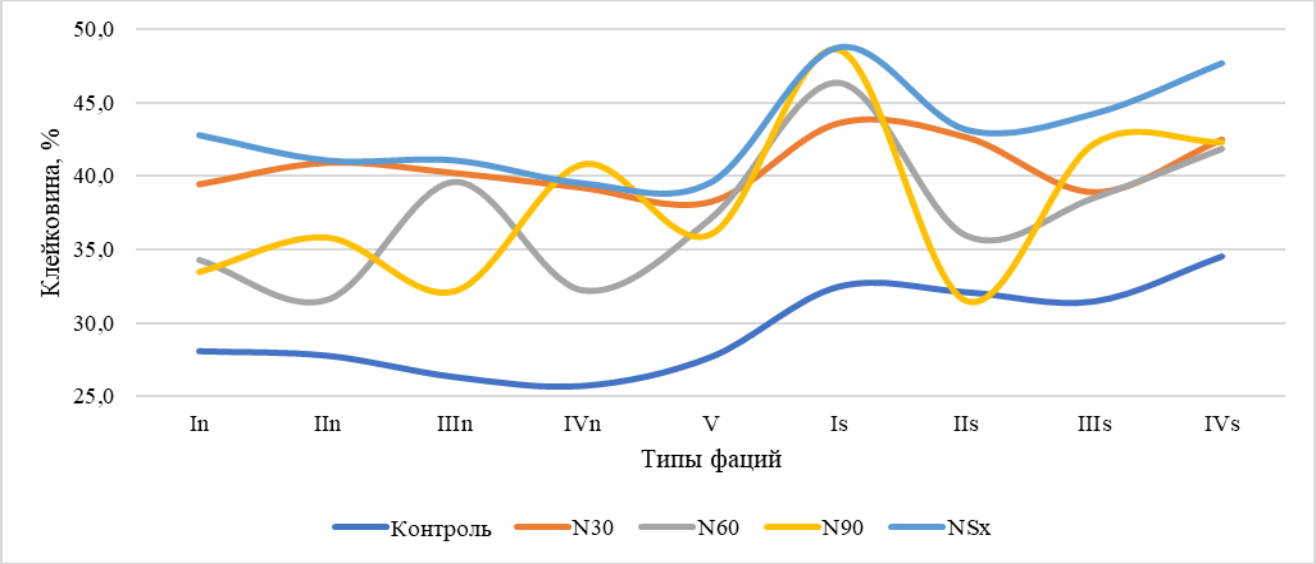

Рисунок 12 – Изменение содержания клейковины в зерне яровой мягкой пшеницы от применения минеральных удобрений по типам фаций тестового полигона №9, 2019–2021 гг.

Установлено, что от применения минеральных удобрений роль ландшафтно-морфологического фактора в распределении продуктивности только возрастала в сравнении с контролем на 5%, 21% и 12% V_2 соответственно порядковым номерам тестовых полигонов. Устойчивость рассматриваемого фактора по сравнению с контрольными вариантами по продуктивности значительно снижалась, достигая значений V_2=33%, V_2=53% и V_2=46% на тестовых полигонах №1, 5, 9 соответственно, притом значение V_2 было тем ниже, чем большая доза вносилась.

Для показателя качества зерна выявлено, что применение удобрений повышало значимость (V_1) ландшафтно-морфологического фактора с 10% до 14% на т.п. №1, с 7% до 10% на т.п. №5 и понижало с 10,4% до 10% на т.п. №9. Устойчивость ландшафтно-морфологического фактора (V_2) в распределении качества зерна от применения минеральных удобрений снижалась на т.п. №1 на 1,6 % и повышалась на т.п. №5 с 66% до 49%, практически не изменяясь на т.п. №9.

На большей части обрабатываемых территорий т.п. №1 и №9 оказалось рентабельным внесение дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры, тогда как на основных массивах т.п. №5 более рентабельным является

внесение повышенных доз аммиачной селитры. Ложбинные и водораздельные комплексы т.п. №5 и №9 рентабельнее удобрять аммиачной селитрой в дозе N60, тогда как аналогичные типы фаций т.п. №1 – аммиачной селитрой в дозе N90, а также сульфатом аммония и аммиачной селитрой в расчетной дозе (NSx).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате трехлетних наблюдений за типами фаций модельных местностей получены следующие результаты:

- ландшафтно-морфологический фактор существенно влияет на агрохимические и агрофизические параметры почвенного покрова рассматриваемых тестовых полигонов с установленной математической значимостью и пространственно-временной устойчивостью фактора для содержания в почвах типов фаций т.п. №1 нитратного азота, подвижных форм фосфора, серы и плотности сложения. Для т.п. №5 доказана устойчивость подвижной формы фосфора и плотности сложения, а для т.п. №9 – нитратного азота, подвижных форм калия, фосфора, серы;

- не оказал математически значимого эффекта рассматриваемый фактор на кислотность и органическое вещество почвы всех объектов исследования;

- пространственно-временная устойчивость основных агрохимических и агрофизических параметров в почвах типов фаций имеет тенденцию к снижению с нарастанием континентальности и напряженности рельефа. Так, если средняя арифметическая устойчивости на т.п. №1 составляет 16,5%, то на т.п. №5 она уже 33,5%, а на т.п. №9–31,6%;

- среди рассмотренных агрохимических параметров, наибольшее воздействие на продуктивность яровой мягкой пшеницы на всех тестовых полигонах оказали $N\text{-}NO_3$ и подвижная сера;

- совокупное влияние агрохимических параметров на продуктивность яровой пшеницы от повышения напряженности рельефа существенно возрастает. Так, составляя долю влияния на т.п. №1 и №9 20%, значение этих параметров на т.п. №5, возрастает до 30%;

- плотность сложения черноземов обыкновенных (т.п. №1) и черноземов южных (т.п. №5) существенно влияет на продуктивность, составляя долю в 44% и 54% соответственно. На каштановых же почвах доля этого фактора снижается до 9%;

- ландшафтно-морфологический каркас территорий тестовых полигонов существенно влияет на показатель урожайности, повышая значимость фактора с северо-запада на юго-восток (V_1=12,5%, V_1=14,8% и V_1=16,4% соответственно на т.п. №1, №5, №9). Напротив, пространственно-временная устойчивость продуктивности с северо-запада на юго-восток существенно снижалась (V_2=12,5%, V_2=38,7%, V_2=41,6% соответственно);

- совокупное влияние морфометрических параметров на продуктивность по уравнению линейной регрессии падает с возрастанием напряженности рельефа. Так, значение этих параметров на т.п. №1, 9, которые характеризуются средними уклонами 0-1°, составляет 36,5% и 70% соответственно, тогда как на т.п. №5 (со средней крутизной склонов 1-3°) значение этих параметров снижается до 16,5%;

- одним из основных морфометрических параметров, прямо влияющих на накопление влаги в почвенном покрове, является кривизна поверхности, значение которой с нарастанием континентальности только увеличивается (от 25% и 11% на т.п. №1 и №5 до 61% на т.п. №9);

- пространственно-временная устойчивость влияния рассматриваемого фактора на качество зерна яровой пшеницы существенно снижалась от каштановых к черноземным почвам;

- на т.п. №1 и №9, где была доказана пространственно-временная устойчивость ландшафтно-морфологического фактора в содержании нитратного азота и подвижной формы серы перед посевом, наибольший прирост продуктивности был зафиксирован от дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры, которая опирается на предварительный анализ нитратного азота и подвижной серы в слое почвы 0-30 см. Напротив, на т.п. №5, где пространственно-временная устойчивость нитратного азота и подвижной формы серы не доказана, эффективность прибавки от дифференцированной дозы значительно ниже, чем от высоких доз аммиачной селитры N60 и N90;

- в результате поставленных опытов выявлено, что на тестовых полигонах №1, №9 наибольшие прибавки в качестве яровой мягкой пшеницы удалось получить при дифференцированной дозе минеральных удобрений, тогда как на т.п. №5 наибольший прирост качества зерна был зафиксирован от применения возрастающих доз аммиачной селитры;

- от применения минеральных удобрений роль ландшафтно-морфологического фактора в распределении продуктивности и качества возрастала, тогда как устойчивость напротив, снижалась (за исключением распределения качества на т.п. №5 и №9);

- рентабельность производства яровой мягкой пшеницы в Саратовской области уменьшается с северо-запада на юго-восток, притом на более выравненных и менее расчлененных Окско-Донской и Низкой Сыртовой равнинах рентабельность на СЮЭ выше, чем на ССЭ, а на более расчлененной и крутосклоновой Приволжской возвышенности производство более рентабельно на склонах северной экспозиции;

- на большей части обрабатываемых территорий т.п. №1 и №9 оказалось рентабельным внесение дифференцированной дозы сульфата аммония и аммиачной селитры, тогда как на основных массивах т.п. №5 более рентабельным является внесение повышенных доз аммиачной селитры. Ложбинные и водораздельные комплексы т.п. №5 и №9 рентабельнее удобрять аммиачной селитрой в дозе N60, тогда как аналогичные типы фаций т.п. №1 – аммиачной селитрой в дозе N90 и сульфатом аммония и аммиачной селитрой в расчетной дозе (NSx).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Исходя из трехлетних исследований, мы рекомендуем в условиях Саратовской области (за исключением Приволжской возвышенности) размещать посевы яровой мягкой пшеницы на склонах южной экспозиции. Рекомендуемыми видами

и дозами удобрений под яровую мягкую пшеницу в местностях со средней крутизной склонов не более 2 градусов являются сульфат аммония и аммиачная селитра из расчета наличия в почве азота и серы под планируемую урожайность и доза аммиачной селитры N30, тогда как в местностях, со средней крутизной от 3 градусов и выше, рекомендованы повышенные дозы аммиачной селитры N60 и N90.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшая разработка темы диссертационного исследования планируется по следующим направлениям:

1. Расширение ареала исследований, линейки и доз удобрений, а также включение в исследования других экономически важных сельскохозяйственных культур.
2. Исследования по изменению внутриландшафтной вариативности продуктивности и качества сельскохозяйственных культур от применения различных доз и видов удобрений.
3. Построение прогнозных моделей продуктивности на основе собранных многолетних данных по микроклиматическим, агрохимическим, агрофизическим и продукционным параметрам ландшафтно-морфологических единиц.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, входящих в БД Web of Science и Scopus:

1. Медведев, И.Ф. Дифференциация структуры ландшафта и экологические индикаторы / И.Ф. Медведев, Д.И. Губарев, С.С. Деревягин, **М.Ю. Несветаев**, А.Ю. Верин, Н.А. Мищенко // Юг России: экология, развитие. – 2019. – Т. 14, № 1. – С. 94–104.

В изданиях, входящих в текущий перечень ВАК РФ:

1. Медведев, И.Ф. Экологическая оценка уровня почво-агрохимического состояния пашни различных типов фаций внутри типов урочищ агроландшафта Приволжской возвышенности / И.Ф. Медведев, **М.Ю. Несветаев**, Д.И. Губарев и др. // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 10. – С. 26–29.
2. Медведев, И.Ф. Агрофизические особенности почв типов фаций Елшано-Гусельской равнины / И.Ф. Медведев, Д.И. Губарев, **М.Ю. Несветаев** и др. // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 11. – С. 30–34.
3. **Несветаев, М.Ю.** Влияние агроэкологических условий на продуктивность зональных ландшафтов Саратовской области / М.Ю. Несветаев, Д.И. Губарев, И.И. Демакина и др. // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 12. – С. 45–49.
4. **Несветаев, М.Ю.** Влияние ландшафтно-морфологического фактора на продуктивность почв / М.Ю. Несветаев, Д.И. Губарев, М.А. Ларькин, В.И. Ефимова // Агрохимический вестник. – 2022. – № 6. – С. 3–9.

Публикации в других изданиях:

1. Губарев, Д.И. Оптимизация земельных ресурсов в агроландшафте / Д.И. Губарев, И.Ф. Медведев, А.А. Вайгант, **М.Ю. Несветаев** // Фундаментальные и прикладные основы сохранения плодородия почвы и получения экологически безопасной продукции растениеводства: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч., посвящ. 75-летию со дня рождения д-ра с.-х. наук, проф., Почетного работника высшего проф. обр. РФ, Заслуженного работника высшей школы РФ, Заслуженного деятеля науки и техники Ульяновской области, зав. каф. «Почвоведение, агрохимия и агроэкология» Куликовой Алевтины Христофоровны (Ульяновск, 21-22 ноября 2017 г.). – Ульяновск: Ульяновский гос. агр. ун-т им. П.А. Столыпина, 2017. – С. 137–143.
2. **Несветаев, М.Ю.** Локальный природно-территориальный комплекс как лимитирующий фактор продуктивности агроценоза / М.Ю. Несветаев, Д.И. Губарев, В.И. Ефимова и др. // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция (посвящ. 140-летию со дня рождения Плачек Е.М.): сб. док. 2-й Всерос. науч.-практ. интернет-конф. мол. уч. и спец. с межд. уч. (Саратов, 26–28 февраля 2018 г.). – Саратов: Изд-во «Научная книга», 2018. – С. 240–243.
3. **Несветаев, М.Ю.** Роль рельефа в формировании плодородия верхнего слоя почвы в условиях Елшано-Гусельского агроландшафта / М. Ю. Несветаев, И.Ф. Медведев, В.П. Графов, Г.Н. Бажан // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов: сб. док. Межд. науч.-практ. конф. (Курск, 11–13 сентября 2019 г.). – Курск: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2019. – С. 429–431.
4. **Несветаев, М.Ю.** Элементы адаптивно-ландшафтной организации использования пахотных земель в Поволжье / М.Ю. Несветаев, И.Н. Кораблева // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция: сб. док. 3-й Всерос. науч.-прак. интернет-конф. мол. уч. и спец. с межд. уч. (Саратов, 20–22 марта 2019 г.). – Саратов: Изд-во «Научная книга», 2019. – С. 170–174.
5. **Несветаев, М.Ю.** Особенности распределения микроэлементов в материнской породе Елшано-Гусельского агроландшафта / М.Ю. Несветаев, А.Ю. Верин, С.С. Деревягин и др. // Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция: сб. док. 3-й Всерос. науч.-практ. интернет-конф. мол. уч. и спец. с межд. уч. (Саратов, 20–22 марта 2019 г.). – Саратов: Изд-во «Научная книга», 2019. – С. 167–169.
6. Губарев, Д.И. Ландшафтно-морфологический фактор как лимитирующий для содержания серы на черноземе южном в склоновом агроландшафте / Д.И. Губарев, **М.Ю. Несветаев**, И.И. Демакина и др. // Аграрный вестник Юго-Востока, 2020. – № 2(25). – С. 24–26.
7. **Nesvetayev, M.Yu.** Structure of the landscape - ecological indicators / M.Yu. Nesvetayev, I.F. Medvedev // Научный диалог в языковом пространстве: Сборник статей II Всероссийской (Национальной) научно-практической конференции (Саратов, 20 мая 2020 г.). – Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2020. – P. 109–112.

8. **Несветаев, М.Ю.** Гетерогенность ландшафта как основной фактор продуктивности в пространстве-времени / М.Ю. Несветаев, М.А. Ларькин, Д.И. Губарев, В.И. Ефимова // Рациональное землепользование: оптимизация земледелия и растениеводства: сб. док. V Межд. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения академика РАСХН А.П. Щербакова (Курск, 28–30 сентября 2021 года). – Курск: ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 2021. – С. 187–191.