

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ И МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ НА ФИТОМАССУ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ С ПОДСЕВОМ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ С ПОМОЩЬЮ РАЗВЕДОЧНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

М. А. Фесенко, А. М. Шпанев

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
Гражданский пр., д. 14, г. Санкт-Петербург, 195220  
E-mail: fesenko@agrophys.ru; shpanev@agrophys.ru

Поступила в редакцию 27 апреля 2020 г., принята к печати 28 мая 2020 г.

Для исследований, проведенных в период 2015–2017 гг. на полях агроэкологического стационара Меньковского филиала ФГБНУ АФИ (Ленинградская обл., Гатчинский район), в среде RStudio (R version 3.6.2) был проведен разведочный анализ данных влияния средств защиты растений и минерального удобрения на компоненты агроценоза ярового ячменя с подсевом многолетних трав. Цель анализа – выявление взаимосвязей, взаимовлияния и действия каждого из агротехнологических приемов на урожайность ярового ячменя. Разведочный анализ данных показал, что урожайность ярового ячменя с подсевом многолетних трав в условиях Северо-Западного региона определяется величиной сформировавшейся фитомассы. Формирование фитомассы ячменя зависело от уровня минерального питания и условий года. Обработка гербицидами в период вегетации приводила к достоверному уменьшению фитомассы сорных растений при уборке, однако увеличивала фитомассу ячменя только на вариантах с удобрениями. Подсев в ячмень многолетних трав оказывал влияние уже в год посева. Фитомасса ячменя имела заметную отрицательную корреляцию с массой подсеянных трав. Анализ позволяет сделать вывод, что между признаками фитомассы отдельных компонентов в ценозе существуют взаимодействия. Эти связи меняются при изменении фитосанитарной обстановки, минерального питания и погодных условий.

**Ключевые слова:** яровой ячмень, сорные растения, фитомасса, урожайность, RStudio.

## IMPACT ASSESSMENT OF PLANT PROTECTION PRODUCTS AND FERTILIZERS ON WET BIOMASS AND YIELD OF BARLEY WITH UNDERSOWN PERENNIAL GRASSES USING EXPLORATORY DATA ANALYSIS

M. A. Fesenko, A. M. Spanev

Agrophysical Research Institute, 195220, Saint-Petersburg 14, Grazhdanskiy pr., Russia

The research was carried out in the field experiment at the Agrophysical Research Institute (Leningrad region, Gatchina district). In the RStudio environment (R version 3.6.2), an exploratory analysis of data on the effect of plant protection products and mineral fertilizers on the components of the agrocenosis of spring barley with undersown perennial grasses was carried out. The purpose of the analysis was to identify the relationships, mutual influence and actions of each of the agrotechnological techniques on the yield of spring barley. Exploratory data analysis has shown that the yield of spring barley and undersown perennial grasses in the studied region was determined by the crop biomass. Barley wet biomass depended on the level of mineral nutrition and the weather conditions of the year. The treatment with herbicides during the growing season led to a significant decrease in wet biomass of weeds during harvesting, but increased the wet biomass of barley only in fertilizer treatments. The sowing of perennial grasses together with barley had an impact already in the year of sowing. The wet biomass of barley had a noticeable negative correlation with the wet mass of grasses. The analysis allowed to conclude that there were interactions between the wet biomass parameters of individual components in the agrocenosis. These relationships change with changes in the phytosanitary situation, mineral nutrition, and weather conditions.

**Keywords:** spring barley, weeds, phytomass, yield, RStudio.

### ВВЕДЕНИЕ

Увеличение в последнее десятилетие валовых сборов и урожайности зерновых культур и, в том числе ячменя, в России связано с коренным изменением подходов к системе сельскохозяйственного землепользования и интенсификации выращивания сельскохозяйственных культур.

Основу современных интенсивных систем земледелия составляют удобрения и средства защиты растений.

Использование минеральных удобрений, в первую очередь азотных, имеет решающее значение в формировании урожая на дерново-подзолистых

почвах (Завалин, Пасынков, 2007). Однако приводит к увеличению вегетативной массы и полеганию растений. Широкое внедрение в производство короткостебельных сортов избавило посевы зерновых культур от полегания, но обострило проблему борьбы с сорными растениями и приблизило колос к источникам почвенной и напочвенной инфекции (Ивашенко, Павлюшин, 2017). Внесение удобрений, являясь крайне эффективным мероприятием с точки зрения повышения урожайности культуры на Северо-Западе РФ, ограничивалось сопряженным с увеличением уровня минерального питания ухудшением фитосанитарного состояния посева. Так,

увеличивалась доля зерен ячменя, пораженных грибами рр. *Alternaria* и *Fusarium*, достоверно возрастали проективное покрытие сорной растительностью в начальные фазы развития культуры и формируемая вегетативная масса сорных растений на момент уборки урожая (Шпанев, Денисюк, 2019, Шпанев и др., 2019)

Яровой ячмень является основной зернофуражной культурой Северо-Запада, а многолетние травы – основным источником сочных и грубых кормов. Звено севооборота ячмень – многолетние травы, с посевом последних под покров ячменя, экономически обосновано и широко используется в регионе.

Подсев многолетних трав модифицирует и усложняет взаимоотношения ячменя и сорных растений, накладывает значительные ограничения на использование гербицидов. В настоящее время эти вопросы по-прежнему остаются малоизученными, новыми и актуальными.

Цель работы – изучение комплексного применения основных средств химизации, таких как минеральные удобрения и интегрированная система защиты растений, при возделывании ярового ячменя с посевом многолетних трав в условиях Северо-Запада России.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

И. А. Шульгин (2013) отождествляет продуктивность с накоплением биомассы под действием прихода радиации, ее поглощением посевом и эффективностью использования на создание биомассы. Поэтому в качестве критерия продуктивности компонентов агроценоза в данной работе использовали фитомассу (в сыром весе) при уборке урожая.

Определение свойств полученных данных и проверка необходимых условий применимости различных статистических методов (в первую очередь дисперсионного анализа) осуществлялась при помощи разведочного анализа данных.

Разведочный анализ данных (РДА; Exploratory data analysis, EDA) – это исследование данных при помощи методов описательной статистики и визуализации с целью выявления зависимостей в них и выдвижения гипотез для последующего углубленного анализа. Еще одной целью разведочного анализа является оценка пригодности данных к анализу, выявление наличия в них различных проблем, таких как выбросы, пропущенные или некорректные значения.

Данная задача решалась с использованием языка статистического анализа R в среде RStudio (R version 3.6.2).

Исследования проводились в 2015–2017 гг. в агроэкологическом стационаре Меньковского филиала Агрофизического НИИ (Ленинградская область, Гатчинский район) на дерново-слабоподзолистой почве, развитой на легком моренном суглинке.

Почва опытных полей дерново-слабоподзолистая легкосуглинистая. Мощность пахотного слоя 23 см,  $pH_{KCl}$  – 4.6, содержание гумуса (по Тюрину) – 1.9%, подвижных соединений фосфора и калия (по Кирсанову) – 257 и 92 мг  $кг^{-1}$  соответственно.

В стационаре созданы и поддерживаются длительным ежегодным предпосевным внесением азотоселитры и аммиачной селитры из расчета планируемой урожайности три уровня почвенного плодородия (МУ): 1 – низкой – без удобрений, 2 – средней удобренности –  $N_{65}P_{50}K_{50}$ , 3 – высокой удобренности –  $N_{100}P_{75}K_{75}$ .

Вторым изучаемым фактором в опыте являлась интегрированная система защиты растений (ИСЗР), согласно которой защитные мероприятия (СЗР) против вредных организмов проводились при условии превышения экономического порога вредоносности их присутствия в посевах.

Опыт проводился по двухфакторной схеме и включал варианты:

- 1.1 –  $N_0P_0K_0$ + ИСЗР,
- 2.1 –  $N_{65}P_{50}K_{50}$ + ИСЗР,
- 3.1 –  $N_{100}P_{75}K_{75}$ + ИСЗР,
- 1.2 –  $N_0P_0K_0$ + без ЗР,
- 2.2 –  $N_{65}P_{50}K_{50}$ + без ЗР,
- 3.2 –  $N_{100}P_{75}K_{75}$ + без ЗР.

Изучение проводилось на сорте ярового ячменя Ленинградский, многолетние травы в подсевах: клевер луговой Орфей и тимофеевка луговая Ленинградская 204 в соотношении по массе 1:1.

Регион характеризуется непостоянством метеословий, как по годам, так и в течение вегетационного периода, что оказывает значительное влияние на продуктивность культур севооборота, как непосредственно, так и опосредованно, через развитие вредных организмов. Суточные температуры и сумма осадков в годы изучения были близки к среднемноголетней норме, за исключением более засушливого 2017 г. (77%).

Достаточное или избыточное увлажнение на протяжении большей части вегетационного периода, благоприятным образом сказывается на произрастании сорных растений, которые формируют значительную вегетативную массу (Рогожникова, Шпанев, 2016). Поэтому наиболее востребованным мероприятием в защите посевов зерновых культур в регионе является применение средств борьбы с сорной растительностью. Вместе с тем, погодные условия оказываются благоприятными для развития болезней, которые в отдельные годы приобретают статус эпифитотийных (Рогожникова и др., 2016).

Защитные мероприятия на ячмене включали в себя предпосевное протравливание семян (Ламадор, КС; Систива, КС), обработку посевов гербицидами (Агритокс, ВК; Базагран, ВР) и фунгицидами (Прозаро, КЭ; Солигор, КЭ), в 2016 году – баковой смесью из гербицида и инсектицида (Каратэ Зеон, МКС).

В соответствии с методикой визуальные учеты численности и проективного покрытия сорных растений, а также состояния культурных растений проводили на постоянных учетных площадках в течение всего периода вегетации ярового ячменя (Зубков, 1978). Здесь же получены данные по урожайности и надземной сырой фитомассе ярового ячменя и сорных растений, и многолетних трав в отдельности для каждой из 72 постоянных площадок в каждый из 3-х лет изучения, единица измерения –  $г м^{-2}$ .

В работе мы использовали протокол по выполнению РДА, предложенный для экологов (Ziug et al., 2010). Алгоритм ведения протокола по Мاستицкому и Шитикову (2015). Авторы отмечают, что РДА наиболее эффективен при использовании разнообразных графических средств, поскольку графики часто позволяют лучше понять структуру и свойства анализируемых данных, чем формальные статистические тесты.

Протокол включает следующие основные элементы:

1. Выявление точек-выбросов
2. Проверка однородности дисперсий
3. Проверка нормальности распределения данных
4. Выявление избыточного количества нулевых значений
5. Выявление коллинеарных переменных
6. Выявление характера связи между анализируемыми переменными
7. Выявление взаимодействий между переменными-предикторами
8. Выявление пространственно-временных корреляций среди значений зависимой переменной.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выявление точек-выбросов с использованием диаграмм размахов фитомассы и урожайности ярового

ячменя показало практически полное отсутствие аномальных наблюдений в этих измерениях. Отчетливо видна тенденция увеличения как фитомассы ячменя, так и его урожайности с увеличением уровня минерального питания и использованием СЗР. (рис. 1). В R при построении диаграмм размахов используются устойчивые (робастные, т. е. направленные на снижение влияния выбросов) оценки центральной тенденции (медиана) и разброса (интерквартильный размах, ИКР). Интерквартильный размах является характеристикой разброса распределения величины и является робастным аналогом дисперсии.

К моменту уборки обнаружена закономерно меньшая фитомасса сорных растений в вариантах с обработкой гербицидами в период вегетации, однако, она возрастала с увеличением дозы удобрений (табл. 1). В варианте, где средства борьбы с сорной растительностью не применялись увеличивалась как их фитомасса на момент уборки, так и неоднородность по данному показателю. Отмечено небольшое количество выбросов, что вероятно объясняется наличием единичных сорных растений с высокой фитомассой (рис. 2.).

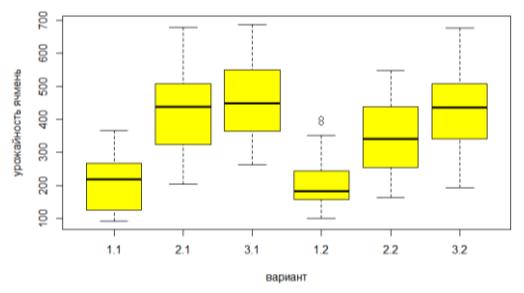
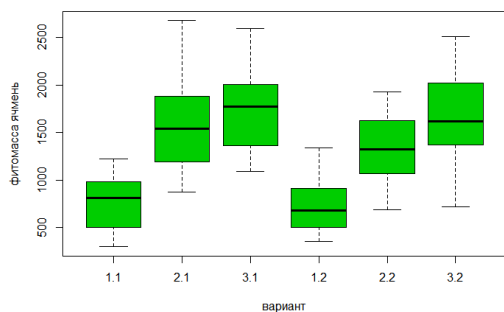


Рис. 1. Размах изменчивости фитомассы и урожайности ярового ячменя в среднем за 2015–2017 гг.

Линия – медиана, «ящик» – интерквартильный размах (ИКР) 0.25...0.75 квантиля, «усы» – наименьшее и наибольшее выборочное значение пределах расстояния 1.5 x ИКР от границы ИКР, наблюдения, находящиеся за пределами «усов» – потенциальные выбросы

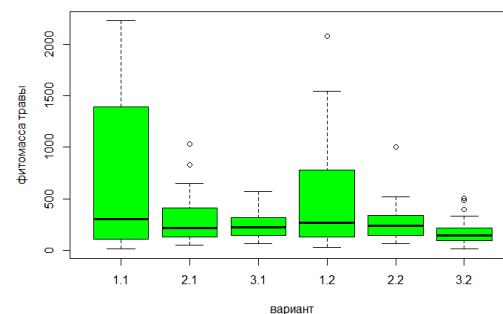
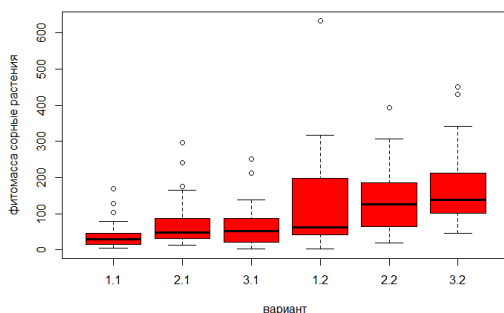


Рис. 2. Размах изменчивости фитомассы сорных растений и многолетних трав в среднем за 2015–2017 гг.

Легенда – см. рис. 1

Таблица 1. Основные статистические характеристики изученных показателей

Культура	Вариант	Параметры описательной статистики						
		min	max	1 кварт.	3 кварт.	медиана	средн. арифм.	ст. ош. средн.
Ячмень, урожай, г м <sup>-2</sup>	1.1	91.0	366.9	128.7	265.5	217.4	215.4	13.390
	2.1	203.0	679.2	326.0	505.5	438.4	424.1	18.554
	3.1	263.3	688.2	365.2	550.3	447.9	467.6	19.141
	1.2	99.4	403.0	158.0	242.0	183.4	210.4	14.059
	2.2	164.2	548.7	256.2	429.6	341.6	352.2	17.648
	3.2	193.2	677.7	342.4	507.1	435.1	437.8	19.612
Ячмень, фитомасса, г м <sup>-2</sup>	1.1	300.0	1223.0	511.2	979.2	813.0	761.8	67.888
	2.1	874	2673	1198	1866	1540	1583	18.554
	3.1	1092	2588	1364	1998	1769	1749	19.141
	1.2	353.0	1339.0	506.2	912.2	684.0	748.9	14.059
	2.2	687	1925	1073	1611	1324	1336	17.648
	3.2	717	2505	1370	2014	1615	1690	19.612
Сорные растения, фитомасса, г м <sup>-2</sup>	1.1	4.60	168.50	15.70	45.98	29.80	38.47	5.911
	2.1	13.60	297.10	31.25	86.08	49.05	71.24	10.481
	3.1	3.20	250.80	20.77	84.78	52.65	62.43	9.638
	1.2	2.30	632.60	45.48	193.50	63.15	123.72	21.263
	2.2	18.40	393.60	66.28	184.68	126.50	140.68	14.714
	3.2	46.8	450.2	102.8	212.0	139.0	166.6	16.229
Травы, фитомасса, г м <sup>-2</sup>	1.1	11.0	2226.1	104.1	1390.1	301.3	658.8	116.947
	2.1	52.2	1030.1	135.8	398.5	215.8	295.8	37.368
	3.1	63.1	567.9	141.7	306.3	223.5	247.9	22.984
	1.2	25.9	2076.7	131.3	731.5	269.2	506.1	85.170
	2.2	64.2	1005.5	143.9	341.3	238.7	264.9	30.077
	3.2	13.2	502.9	103.4	208.2	144.9	172.7	18.900
Фитомасса, всего, г м <sup>-2</sup>	1.1	690.3	2610.9	1120.1	1833.2	1287.1	1459.0	84.854
	2.1	1452	2898	1663	2113	1896	1950	60.323
	3.1	1412	2982	1770	2258	1980	2060	67.357
	1.2	866.1	2685.0	1020.4	1622.7	1389.8	1378.7	66.624
	2.2	1011	2341	1448	1948	1737	1741	55.166
	3.2	926.2	2946.0	1733.5	2205.9	1973.9	2029.5	69.101

В вариантах без удобрений сформировалась наивысшая фитомасса посеянных вместе с ячменем многолетних трав, поскольку основным компонентом травостоя в год посева являлся клевер, не требующий высоких доз азота (табл. 1).

Авторами рассчитана совокупная биомасса агроценоза, созданная в каждом из вариантов опыта (рис. 3.). Показано, что общая биомасса увеличивалась значительно с увеличением минерального питания и немного – при использовании СЗР (табл. 1).

Значение медиан урожайности и фитомассы ячменя были близки к средним арифметическим (табл. 1). У сорных растений и трав среднее арифметическое за счет аномальных отклонений (выбросов) было значительно выше медианы. Анализ медианных значений фитомасс компонентов показал,

что общая фитомасса увеличивалась в вариантах ИСЗР за счет прирастания фитомассы ячменя. Расчет по средним значениям утверждал, что удаление сорных растений увеличивало как фитомассу ячменя, так и фитомассу трав (клевера) (рис. 4).

При рассмотрении графиков и таблиц следует учитывать, что в них приведены средние данные за три вегетационных периода, что значительно расширяет диапазоны изменчивости показателей.

Однородность групповых дисперсий является важным условием применимости, в частности, дисперсионного анализа. Формальная проверка нулевой гипотезы о равенстве дисперсий в группах осуществлялась с использованием теста Бартлетта (табл. 2).

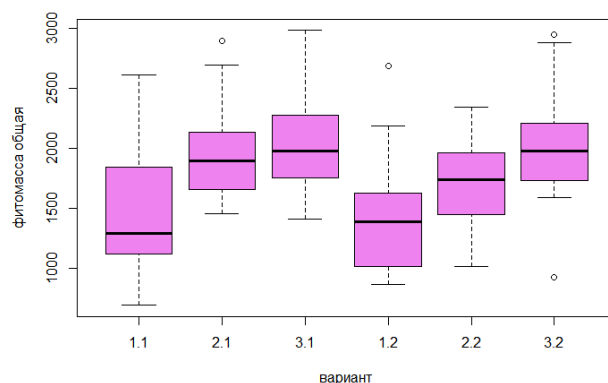


Рис. 3. Размах изменчивости посева ячменя с подсевом многолетних трав в среднем за 2015–2017 гг.

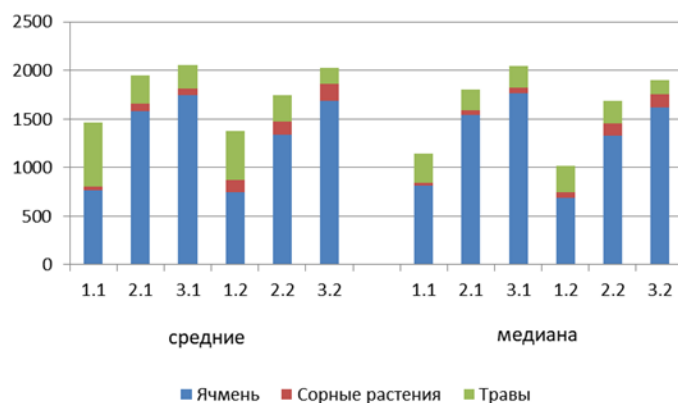


Рис. 4. Структура фитомассы посева ячменя с подсевом многолетних трав в среднем за 2015–2017 гг.

Таблица 2. Результаты проверки однородности дисперсий, Bartlett's test

Показатель	Критерий выборки	Результат теста
Ячмень, фитомасса, г м <sup>-2</sup>	МУ	Bartlett's K-squared = 15.394, df = 2, p-value = 0.0004541
	СЗР	Bartlett's K-squared = 1.0968, df = 1, p-value = 0.295*
	год	Bartlett's K-squared = 7.0029, df = 2, p-value = 0.03015
Ячмень, урожайность, г м <sup>-2</sup>	доза удобрений	Bartlett's K-squared = 10.052, df = 2, p-value = 0.006564
	СЗР	Bartlett's K-squared = 0.65945, df = 1, p-value = 0.4168*
	год	Bartlett's K-squared = 7.5935, df = 2, p-value = 0.02244
Сорные растения, фитомасса, г м <sup>-2</sup>	доза удобрений	Bartlett's K-squared = 2.863, df = 2, p-value = 0.2389*
	СЗР	Bartlett's K-squared = 43.844, df = 1, p-value = 3.557e-11
	год	Bartlett's K-squared = 16.828, df = 2, p-value = 0.0002217
Травы, фитомасса, г м <sup>-2</sup>	доза удобрений	Bartlett's K-squared = 172.42, df = 2, p-value < 2.2e-16
	СЗР	Bartlett's K-squared = 9.2507, df = 1, p-value = 0.002354
	год	Bartlett's K-squared = 220.96, df = 2, p-value < 2.2e-16
Фитомасса, всего, г м <sup>-2</sup>	доза удобрений	Bartlett's K-squared = 3.9379, df = 2, p-value = 0.1396*
	СЗР	Bartlett's K-squared = 0.56869, df = 1, p-value = 0.4508*
	год	Bartlett's K-squared = 32.561, df = 2, p-value = 8.5e-08

Тест Барлетта (p-value > 0,05) свидетельствует о том, что дисперсия в выборках, отмеченных \*, неоднородна, различия «статистически не значимы».

Вместе с этим тест указывает на необходимость сравнения показателей по годам и более пристального внимания к изменениям у многолетних трав

(дисперсии по всем показателям однородны). Неоднородность антропогенных выборок у показателя «Фитомасса, всего» вероятно связана с его расчетным, а не экспериментальным характером получения. Возможно, что тест в данном случае некорректен.

Критерий Бартлетта очень чувствителен к нарушению предположения о нормальности закона распределения исходных данных.

Одним из наиболее простых тестов нормальности является график квантилей, основанный на сравнении квантилей измерений против соответствующих квантилей нормального распределения. Мы провели этот тест для выборок с неоднородной дисперсией (рис. 5, 6).

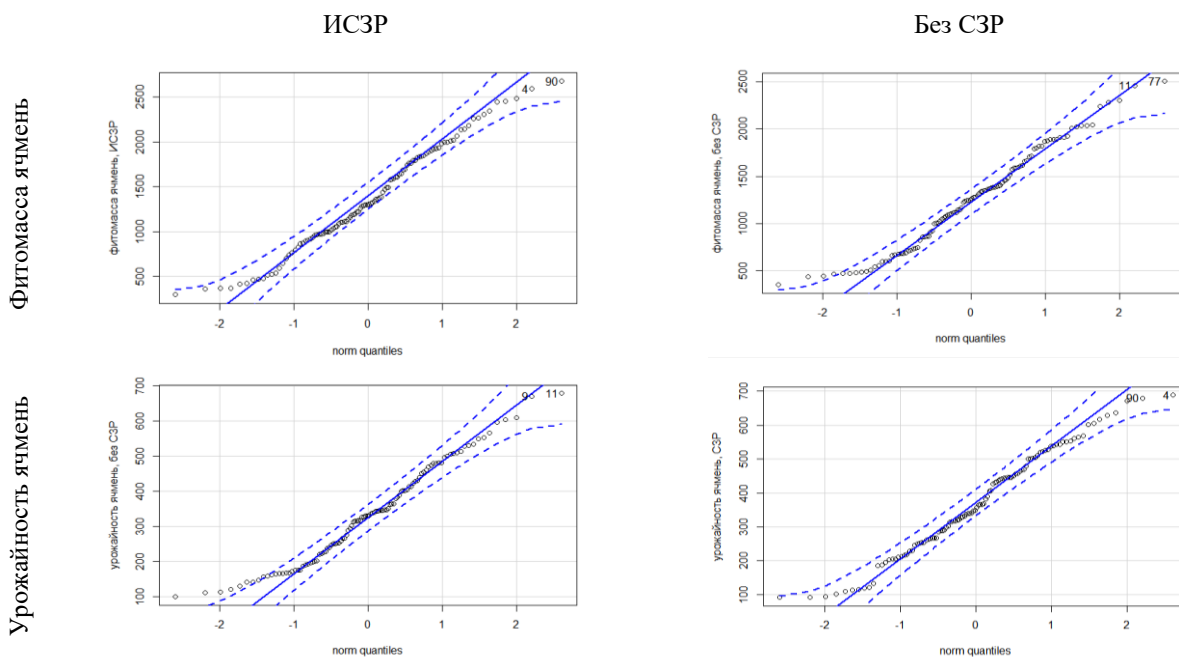
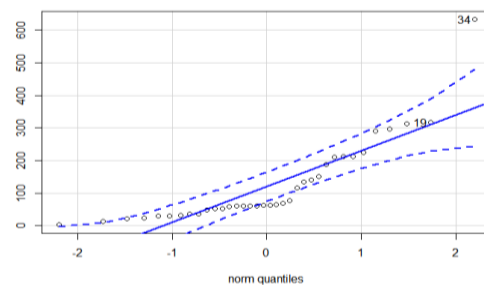
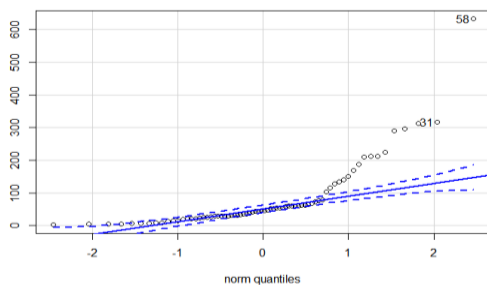


Рис. 5. Тест на нормальность распределения выборок с неоднородной дисперсией, яровой ячмень

1. Сорные растения, фитомасса, вся выборка,  $N_0P_0K_0$

2. Сорные растения, фитомасса, без СЗР,  $N_0P_0K_0$



3. Сорные растения, фитомасса, без СЗР,  $N_{65}P_{50}K_{50}$

4. Сорные растения, фитомасса, без СЗР,  $N_{100}P_{75}K_{75}$

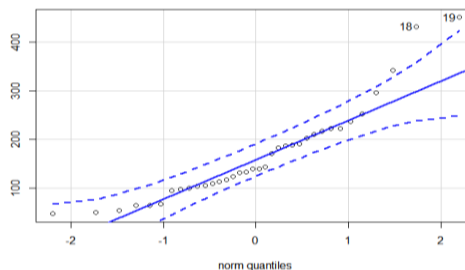
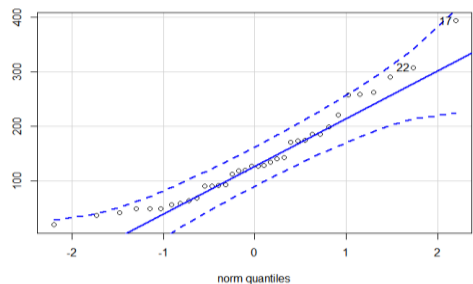


Рис. 6. Тест на нормальность распределения выборок с неоднородной дисперсией, сорные растения

Из рисунка 5 видно, что данные по выборкам из ярового ячменя не сильно отклоняются от линии теоретических квантилей и редко выходят за пределы доверительных интервалов, то есть имеют нормальное распределение. Таким образом, рисунки

подтверждают, что названные выше дисперсии неоднородны.

Данные по фитомассе сорных растений имеют серьезные отклонения от теоретического нормального распределения, поскольку включают и вариант с обработкой гербицидами (рис. 6.1.). Выделение

вариантов без защиты растений приводит графики квантилей к нормальному распределению (рис. 6.2.–6.4)

Поиск избыточного количества нулевых значений не проводился, ввиду дискретности данных и их отличия от нуля.

Выявление коллинеарных (линейно зависимых) переменных проводили с помощью корреляционной матрицы. Для наглядности провели иерархическую группировку признаков (рис. 7).

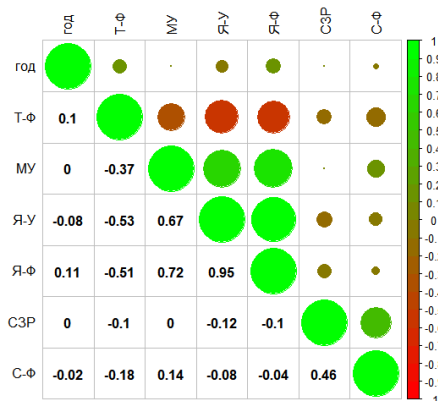


Рис. 7. Корреляционная матрица факторы–показатели продуктивности, где Я-У – ячмень, урожайность, Я-Ф – ячмень, фитомасса, С-Ф – сорные растения, фитомасса, Т-Ф – травы, фитомасса

В целом по массиву данных высокую коллинеарность показали фитомасса и урожайность ячменя ( $r=0,95$ ), фитомасса ячменя и уровень минерального питания ( $r=0,72$ ). Связь урожайности с дозой удобрения заметная, но слабее ( $r=0,67$ ), т. е. повышение дозы удобрений приводило к большему увеличению вегетативной массы, чем урожайности ячменя. Не смотря на временную разницу между обработкой гербицидами и учетом фитомассы сорных растений при уборке, теснота связи между показателями умеренная ( $r=0,46$ ). Неожиданно заметными и отрицательными оказались корреляции между фитомассой подсеянных трав и урожайностью, фитомассой ячменя ( $r=-0,53$  и  $r=-0,51$ ). При этом

травы и сорные растения конкурировали между собой очень слабо ( $r=-0,18$ )

Существующие в природе связи между количественными признаками являются, как правило, нелинейными, поэтому невысокий коэффициент корреляции Пирсона может привести к неверному выводу об отсутствии взаимодействия между признаками, поскольку эта связь может быть нелинейной. Анализ неочевидных взаимосвязей между количественными признаками произведен при помощи матричных диаграмм рассеивания со сглаживающими кривыми. Такие диаграммы позволяют без математической обработки данных установить зависимости между парами соответствующих элементов по графическому представлению (рис. 8).

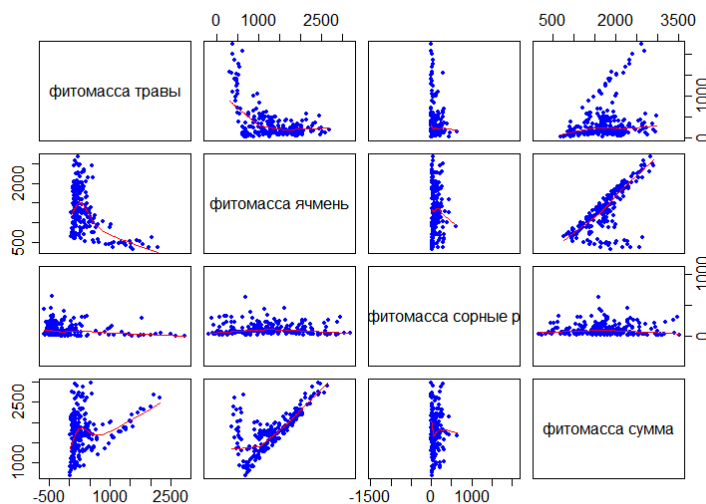


Рис. 8. Зависимости между фитомассами компонентов и агроценоза в целом

Рисунок подтверждает независимость нарастания фитомассы сорных растений от нарастания фитомассы ячменя и трав. Видны зоны с высокой концентрацией наблюдений. В ряде случаев диаграммы рассеивания имеют визуально видную V-образную форму, что может говорить, как о

нелинейной зависимости, так и о необходимости определения нового критерия и разделения выборки на несколько отдельных.

Выяснение взаимного влияния сорных и культурных растений в агроценозе чрезвычайно важно, поскольку оно определяет необходимость и, в

итоге, рентабельность того или иного агротехнического мероприятия. Для выявления взаимодействия фитомассы ячменя, сорных растений и трав с категориальными переменными (МУ, СЗР)

использовали категоризованные диаграммы рассеяния со сглаживающими кривыми и линиями регрессии (рис. 9).

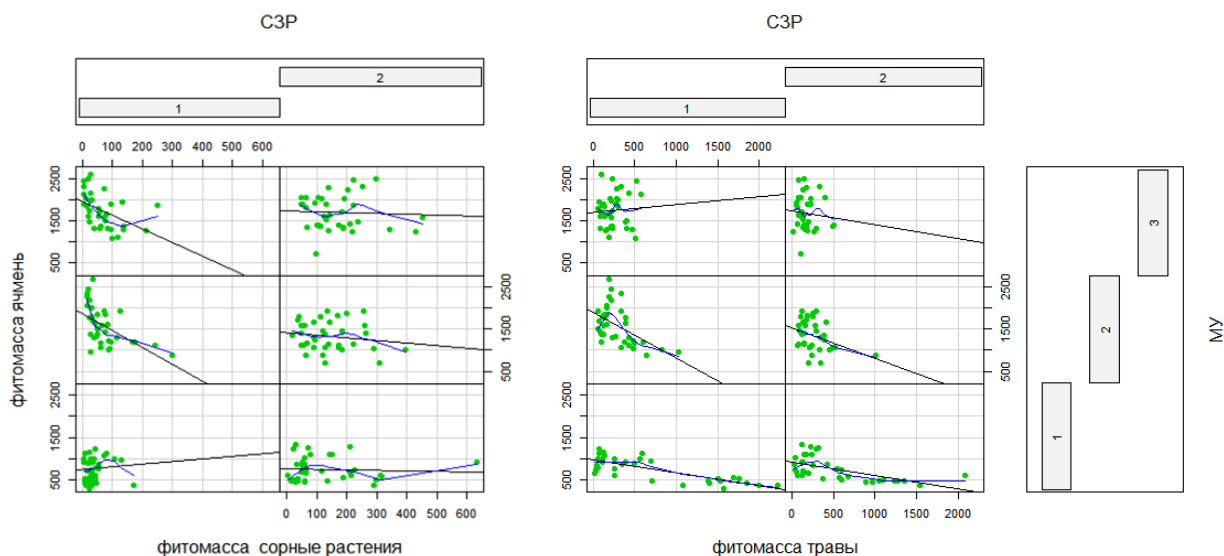


Рис. 9. Зависимость фитомассы ячменя, сорных растений и трав при разных уровнях минерального питания и системы защиты растений

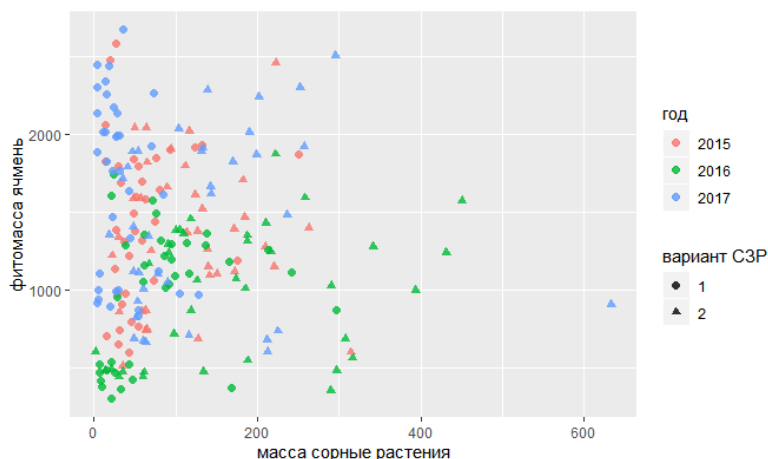
Линии регрессии на графиках не параллельны, что указывает на зависимость фитомассы ячменя от систем удобрений, защиты растений и фитомассы трав сорных растений или фитомассы трав. Мы видим обратную зависимость между фитомассой ячменя и фитомассой сорных растений в вариантах 2.1 и 3.1 (внесение удобрений+ИСЗР). В других вариантах, чем параллельнее линии, тем меньше взаимозависимость между показателями. Фитомасса трав уменьшалась с увеличением фитомассы ячменя во всех вариантах кроме 3.1.

В рядах данных за несколько лет неизбежно содержатся существенные периодические колебания. Выяснение взаимной изменчивости фитомассы ячменя и сорных растений в разные годы позволяет проводить анализ фитосанитарной обстановки (засоренности посева) и разрабатывать стратегию интегрированной системы защиты растений.

Взаимную изменчивость признаков по годам рассматривали при помощи диаграмм рассеяния (рис. 10).

Взаимная изменчивость фитомассы ячменя и сорных растений внутри года была значительно больше, чем ее изменения по годам. Неожиданно, рост трав и их влияние на фитомассу ячменя и сорных растений был более подвержен влиянию погодных условий вегетации.

Использованные в исследовании показатели климатических условий (суточная температура и сумма осадков) не позволили выявить критерий, влияющий на изменение изучаемых в разные годы (наибольшие графические аномалии выделены в 2016 году, схожем по погоде со среднемноголетними показателями). Требуется более детальное разделение условий каждого вегетационного периода.





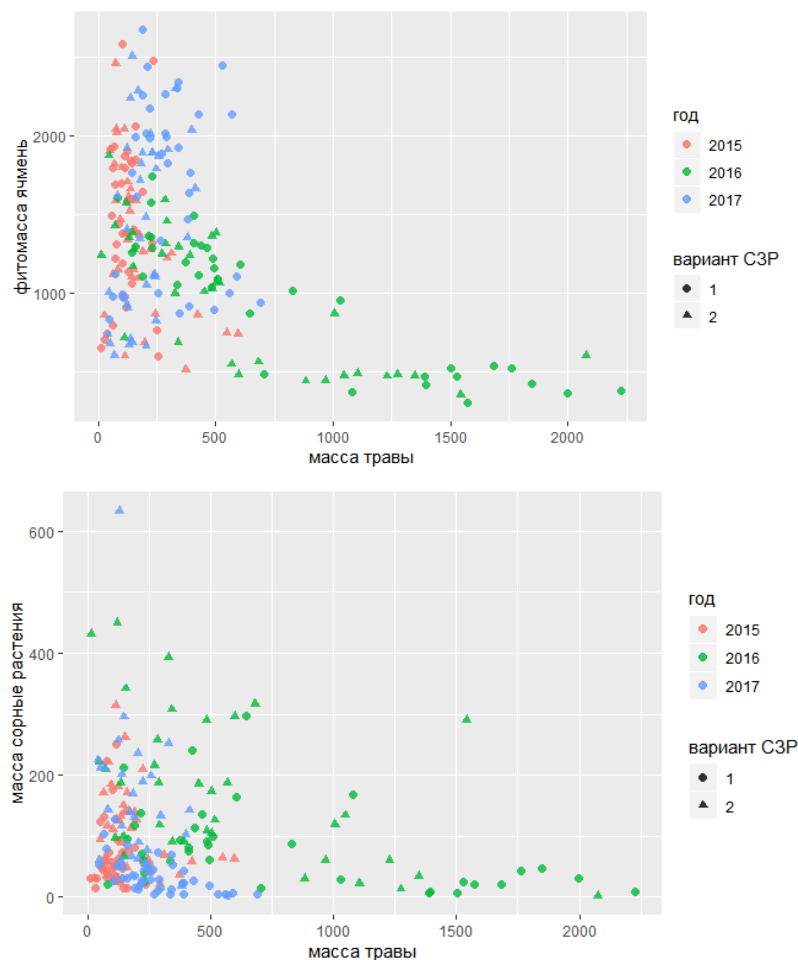


Рис. 10. Взаимная изменчивость фитомасс компонентов агроценоза в разные годы

## ВЫВОДЫ

Разведочный анализ данных показал, что урожайность ярового ячменя с подсевом многолетних трав в условиях Северо-Западного региона определяется величиной сформированной зерновой культурой фитомассы ( $r=0,95$ ). Формирование фитомассы ячменя зависело от уровня минерального питания и условий года (Bartlett's test,  $p\text{-value} < 0,05$ ).

Обработка гербицидами в период вегетации приводила к достоверному уменьшению фитомассы сорных растений при уборке (Bartlett's test,  $p\text{-value} < 0,05$ ;  $r = 0,46$ ), однако увеличивала фитомассу ячменя только на вариантах с удобрениями.

Подсев в ячмень многолетних трав оказывал влияние уже в год посева. Фитомасса ячменя (и, как следствие, его урожайность) имела заметную отрицательную корреляцию с массой подсеянных трав ( $r = -0,51$ ).

РДА позволяет сделать вывод, что между признаками фитомассы отдельных компонентов в ценозе существуют взаимодействия. Эти связи меняются при изменении фитосанитарной обстановки, минерального питания и погодных условий.

## Список литературы

- Завалин А.А., Пасынков А.В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: Издательство ВНИИА, 2007. 208 с.
- Зубков А.Ф. Методические указания по сбору полевой биоценологической информации с целью оценки вредоносности комплекса вредных организмов. Л.: ВИЗР, 1978. 18 с.
- Ивашенко В.Г., Павлюшин В.А. Интенсификация растениеводства и эколого-продукционный баланс агроэкосистем: снижение плодородия почв и фитосанитарная дестабилизация // Вестник защиты растений. 2017. № 3 (93). С. 5–16.
- Мастицкий С.Э., Шитиков В.К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. М: ДМК Пресс, 2015. 496 с.
- Рогожникова Е.С., Шпанев А.М. Засоренность ячменя с подсевом многолетних трав при разных уровнях минерального питания // Вестник защиты растений. 2014. № 4. С. 49–51.
- Рогожникова Е.С., Шпанев А.М., Фесенко М.А. Влияние удобрений на поражение ярового ячменя болезнями в IV агроклиматической зоне Ленинградской области // Вестник защиты растений. 2016. № 4 (90). С. 56–61.
- Шпанев А.М., Денисюк Е.С. Фитосанитарное состояние фуражного зерна ячменя и определяющие его факторы // Защита и карантин растений. 2019. № 7. С. 38–40.
- Шпанев А.М., Лаптиев А.Б., Гончаров Н.Р., Голубев А.С., Маханькова Т.А., Гультаева Е.И., Шипилова Н.П., Лунева Н.Н., Мыслик Е.Н., Лашина Н.М., Гусева О.Г., Смук В.В., Денисюк Е.С., Воропаев В.В. Система интегрированной защиты ячменя ярового от вредных организмов в Северо-Западном регионе РФ. Санкт-Петербург, 2019. 44 с.
- Шульгин И.А. Энергетический баланс и физиологические критерии продуктивности посевов сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2013. Т. 25. С. 224–250.
- Zuur A. F., Ieno E. N., Elphick C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems // *Methods in Ecology and Evolution*, 2010, v. 1 (1), pp. 3–14.

## References

- Zavalin A.A., Pasyнков A.V. *Azotnoe pitanie i prognoz kachestva zernovykh kultur* [Nitrogen nutrition and grain quality forecast]. Moscow: Publishing house of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry, 2007. 208 p.
- Zubkov A.F. *Metodicheskie ukazaniia po sboru polevoi biotsenologicheskoi informatsii s tsel'iu otsenki vredonosnosti kompleksa vrednykh organizmov* [Methodical instructions for collecting field biocenological information for the purpose of evaluating the harmfulness of a complex of harmful organisms]. Leningrad: Publishing House of the All-Russian Institute for Plant Protection, 1978. 18 p.
- Ivashchenko V.G., Pavliushin V.A. *Intensifikatsiia rastenievodstva i ekologo-produktsionnyi balans agroekosistem: snizhenie plodorodiia pochv i fitosanitarnaia destabilizatsiia*. [Intensification of crop production and ecological and productive balance of agroecosystems: reduction of soil fertility and phytosanitary destabilization] // *Vestnik zashchity rastenii*, 2017, no. 3 (93), pp. 5–16.
- Mastitskii S.E., Shitikov V.K. *Statisticheskii analiz i vizualizatsiia dannykh s pomoshch'iu R* [Statistical analysis and data visualization using R]. Moscow: DMK Press, 2015. 496 p.
- Rogozhnikova E.S., Shpanev A.M. *Zasorennost' iachmenia s podsevom mnogoletnikh trav pri raznykh urovniakh mineral'nogo pitaniia*. [Contamination of barley with sowing of perennial grasses under different levels of mineral nutrition] // *Vestnik zashchity rastenii*, 2014, no. 4, pp. 49–51.
- Rogozhnikova E.S., Shpanev A.M., Fesenko M.A. *Vliianie udobrenii na porazhenie iarovogo iachmenia bolezniami v IV agroklimaticheskoi zone Leningradskoi oblasti*. [Influence of fertilizers on the defeat of spring barley by diseases in the IV agro-climatic zone of the Leningrad region] // *Vestnik zashchity rastenii*, 2016, no. 4 (90), pp. 56–61.
- Shpanev A.M., Denisiuk E.S. *Fitosanitarnoe sostoianie furazhnogo zerna iachmenia i opredeliaiushchie ego factory* [Phytosanitary condition of feed grains barley and to determine the factors] // *Zashchita i karantin rastenii*. 2019, no. 7, pp. 38–40.
- Shpanev A.M., Laptiev A.B., Goncharov N.R., Golubev A.S., Makhan'kova T.A., Gul'tiaeva E.I., Shipilova N.P., Luneva N.N., Mysnik E.N., Lashina N.M., Guseva O.G., Smuk V.V., Denisiuk E.S., Voropaev V.V. *Sistema integrirovannoi zashchity iachmenia iarovogo ot vrednykh organizmov v Severo-Zapadnom regione RF* [System of integrated protection of spring barley from harmful organisms in the North-Western region of the Russian Federation]. Sankt-Peterburg, 2019. 44 p.
- Shul'gin I.A. *Energeticheskii balans i fiziologicheskie kriterii produktivnosti posevov sel'skokhoziaistvennykh kul'tur v usloviiakh izmeneniia klimata*. [Energy balance and physiological criteria of crop productivity in the conditions of climate change] // *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniia ekosistem*, 2013, t. 25, pp. 224–250.
- Zuur A. F., Ieno E. N., Elphick C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems // *Methods in Ecology and Evolution*, 2010, v. 1 (1), pp. 3–14.