

**Stupakova G.A., Ignatieva E.E., Lapushkina A.A., Shchiptsova T.I., Mitrofanov D.K., Vetrova E.Y.**  
**FGBNU All-Russian Research Institute named after D.N. Pryanishnikova**  
**(FGBNU "VNIH Agrochemistry"), 127434, Moscow, Pryanishnikova str., 31A**

*A comparative characteristic of fluorimetric and IR spectrometric methods for the analysis of petroleum products in the soil is given. Using the example of the analysis of standard soil samples (reference materials) with three levels of petroleum products (200, 1700, 2000 mg/kg), it is shown that the fluorimetric method gives values close to certified ones, while the IR method overestimates them by 26-48%. A high correlation was noted between the methods at low concentrations of the mass fraction of petroleum products in the soil (correlation coefficient  $r=0.94$ ).*

*Keywords: reference materials, petroleum products in the soil, fluorimetric and IR spectrometric methods.*

УДК 631.81

DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.19

## **АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В АГРОЛАНДШАФТАХ НИЖНЕКАМСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

**А.А. Прохоров, А.Н. Куприянов, д.б.н., Б.А. Борисов, к.с.-х.н., О.Е. Ефимов,**  
**Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева**  
**Россия, 127434, Москва, Тимирязевская ул., 49**  
**artem.prokhorov.2016@inbox.ru**  
**\* <https://orcid.org/0000-0002-2988-5055>**

**Работа выполнена в рамках тематического плана-задания на выполнение НИР  
по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2024 г.**

*В рамках работы, проведена оценка вклада группы основных агроэкологических факторов в итоговую урожайность яровой пшеницы с использованием модели метода главных компонент и многомерной регрессии. Урожайность пшеницы по результатам 2022 года варьировала в пределах от 22,1 до 53,6 ц/га при среднем значении 40,8 ц/га. Установлено, что в условиях лесостепной зоны Республики Татарстан наиболее значимые факторы, влияющие на урожайность яровой пшеницы - группа переменных, определяющих условия тепло- и влагообеспеченности, а именно: сумма осадков за период вегетации, сумма температур за период вегетации, морфометрические параметры крутизны и экспозиции склонов. Способ и глубина обработки почвы не оказывали существенного влияния на итоговую урожайность, как и ряд других анализируемых переменных: формы используемых удобрений, предшественники в севообороте и т.д. Такая переменная как экспозиция склона не была достоверно связана с урожайностью. При корреляции методом Спирмена  $R=0,30$  ед., что не является достоверным при  $n=33$ , но при этом экспозиция оказывала существенное воздействие на обеспеченность температурами  $> 10^{\circ}\text{C}$  и количество осадков ( $R=0,78$  ед. и  $-0,77$  ед.) – наиболее сильные и важные факторы формирования урожайности. При проведении анализа различий средних с использованием критерия Тьюки при уровне значимости  $p=0,05$  в подвыборках при группировке по сортам и агроэкологическим группам земель не было установлено достоверных различий.*

*Ключевые слова: агроэкологическая оценка, агротехнологии, продуктивность агроландшафтов.*

Для цитирования: Прохоров А.А., Куприянов А.Н., Борисов Б.А., Ефимов О.Е. Агроэкологическая оценка продуктивности яровой пшеницы в агроландшафтах Нижнекамского района Республики Татарстан// Плодородие. – 2024. – №5. – С. 89-96. DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.19.

В настоящее время, в рамках повышения уровня интенсификации производства, нагрузок на агроландшафты, в нашей стране относительно мало внимания уделяется разработке и внедрению новых агротехнологий [2,3].

Несмотря на существенное развитие агротехнологий, разработку новых способов обработки почвы, а также способов защиты растений от болезней и вредителей, сельскохозяйственное производство все еще не обладает системой принятия решений для оценки рисков и факторов, способствующих повышению продуктивности земель [1,5,6]. На сегодняшний день существует достаточно большое количество исследований, в которых отмечены тренды глобального потепления и изменения количества осадков в европейской части нашей страны. В

связи с этим разумно проведение оценок и изучение трендов изменчивости потенциала продуктивности земель на уровне почвенных провинций и округов в наиболее продуктивных агроландшафтах нашей страны [4,5].

Традиционно для оценки потенциала земель и почвенно-экологического индекса (ПЭИ) по методике, предложенной в работе [2] учитывали такие почвенные характеристики как: максимально возможная плотность почв при их предельном уплотнении,  $\text{г/см}^3$ , средняя плотность для метрового слоя,  $\text{г/см}^3$ , гранулометрический состав. Среди агроклиматических параметров предложено оценивать: среднегодовую суму активных температур, коэффициент увлажнения (Ку) и коэффициент континентальности (КК) климата. Оценка почвенно-экологического индекса и в целом индексный подход к

оценке группы параметров достаточно интересна с точки зрения работы с разными типами данных (почвенные и климатические параметры). В работе [2] рассмотрена комплексная методология оценки земель сельскохозяйственного назначения и указано на то, что несовершенство данной методологии связано прежде всего с рядом допущений, касающихся прежде всего почвенной компоненты ПЭИ. В рамках методики агроэкологической оценки земель, предложенной Кирюшиным В.И., продуктивность агроландшафта во многих случаях определяется наличием ряда ограничивающих факторов, к которым относятся гидроморфизм, степень смытости и дефлированности, солонцеватость и т.д.

В связи с этим в данной работе проведена комплексная оценка вклада различных переменных в урожайность такой культуры как яровая пшеница на примере агроландшафтов Республики Татарстан.

**Цель исследований** – провести комплексную оценку вклада различных факторов в урожайность яровой пшеницы разных сортов на примере агроландшафтов Республики Татарстан.

**Методика.** Для проведения исследований было выбрано несколько ключевых площадок: на территории Нижнекамского района Республики Татарстан. Территориально объекты представлены на рисунке 1.

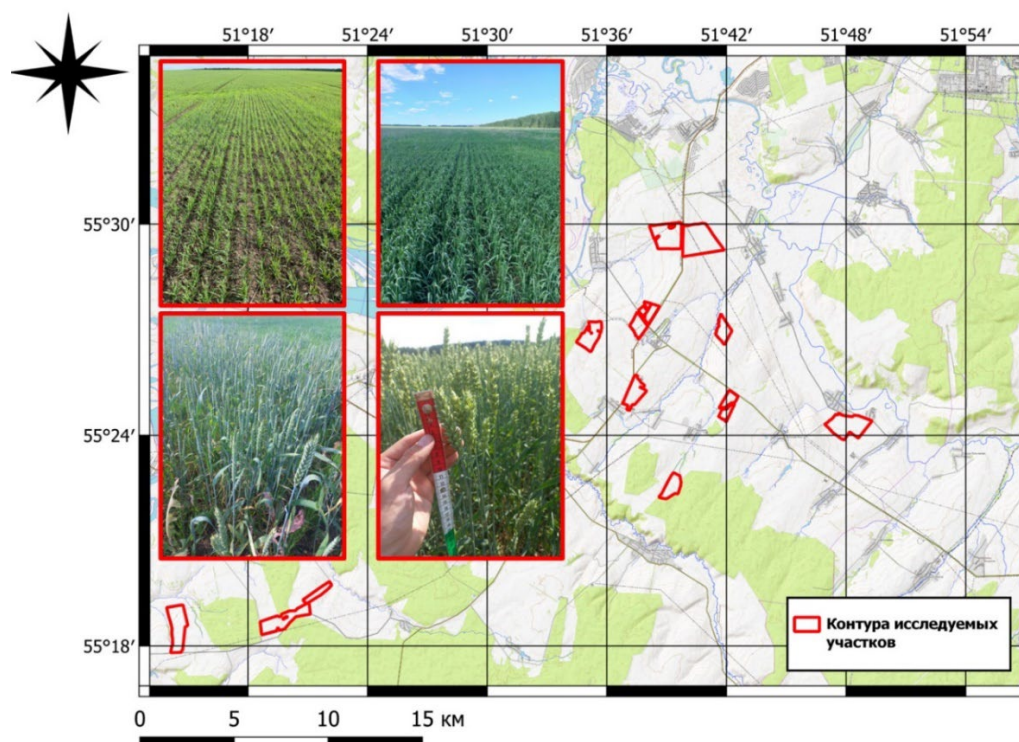


Рис.1. Исследуемые участки на территории Нижнекамского р-на Республики Татарстан

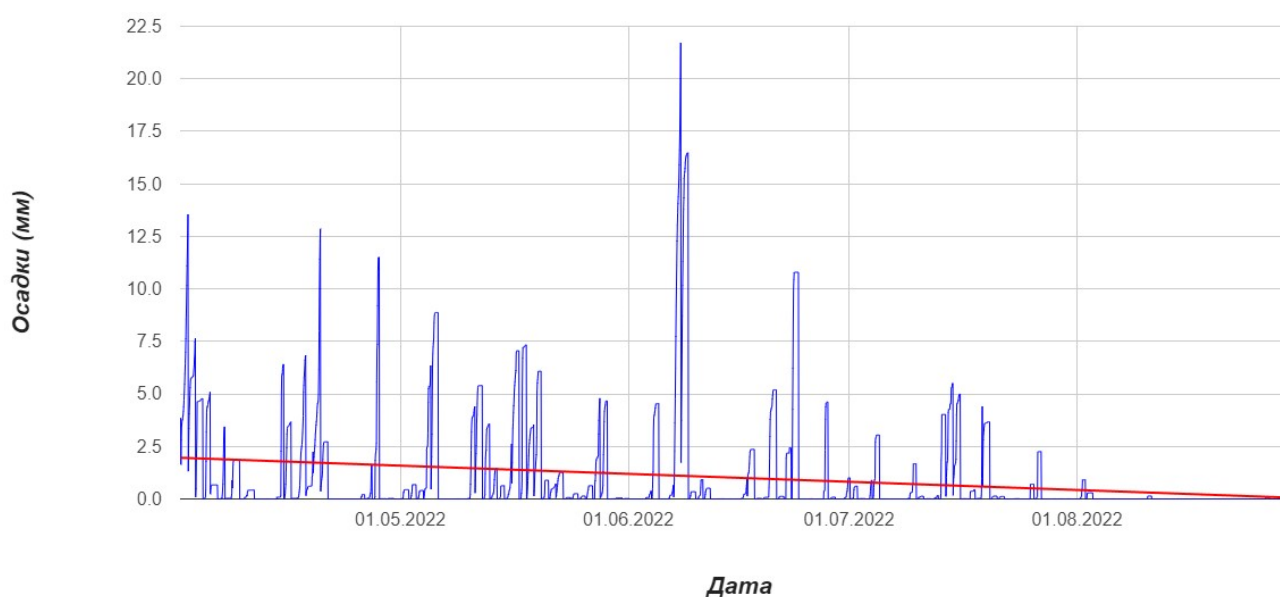


Рис. 2. Количество осадков по данным CFS

Общая площадь участков составила 1385 га, при этом участки территориально распределены на группы: северный

массив (51°42'-51°49' В; 55°30'-55°36' С) суммарной площадью 470 га, центральный (51°37'-51°45' В; 55°23'-55°27' С)

суммарной площадью 582 га, южный (51°14'–51°18' В; 55°19'–55°16' С) суммарной площадью 333 га.

Полевой этап исследований и сбор информации были проведены в период 01.05.2022–20.08.2022 г., данные получены в ходе проведения работ по агросопровождению на предприятии, локализованном на территории Нижнекамского р-на Республики Татарстан. На каждом из исследуемых участков заложена серия почвенных разрезов и полуразрезов, получены данные о принадлежности почв к агроэкологическим группам земель. Для анализа агроклиматических условий были использованы климатические данные системы ERA-5-land [7].

Агроклиматические условия вегетационного периода 2022 года (апрель–август) были оптимальными, не отмечалось остро засушливых условий на ранних фазах, а количество осадков было оптимальным для развития яровой пшеницы в соответствии с требованиями культуры к теплу и влаге [8,9]. В весенний и летний период не отмечалось наличия недостатка влаги, при этом теплообеспеченность и сумма температур  $> 10^{\circ}\text{C}$  за период апрель–август 2022 г. варьировала в пределах 1984–2128 $^{\circ}\text{C}$  в зависимости от экспозиции и крутизны склонов. Поправки на крутизну и экспозицию были рассчитаны в соответствии с методикой, предложенной в работе [1].

Анализ почвенно-ландшафтных условий и выделение агроэкологических групп земель были произведены в полевых условиях с использованием дистанционных методов. На основании данных цифровой модели местности (ЦММ) с разрешением 30 м (SRTM-global) проведены аппроксимация данных и выделение поверхности для получения цифровой модели рельефа и уточнения принадлежности склоновых земель к категориям по крутизне.

Данные о принадлежности земель к определенным агроэкологическим типам представлены в таблице 1.

В рамках агротехнологий использовали несколько сортов яровой пшеницы первой репродукции,

районированных для возделывания в конкретных экологических условиях среди которых: Арабелла на площади 410 га, Бурлак на площади 324 га, Архат на площади 475 га, Гранни на площади 176 га. Предшественниками на разных участках выступали: кукуруза на зерно – 285 га, сорго – 44, многолетние травы 5-го г. п. – 115, кукуруза на силос – 458, озимая пшеница – 66, рапс – 298 га. В качестве основной обработки на участках использовали: глубокое рыхление агрегатом Horsh tiger – 686 га, вспашку с оборотом пласта агрегатом ПЛН-35 – 231 га, поверхностную обработку дисковым орудием “Доминанта” – 410 га.

1. Агроэкологические типы земель

Участок	Агроэкологический тип земель	Площадь участка, га	Тип обработки почвы
Северный	Эрозионные	396	Глубокая-рыхление
	Плакорные	74	Глубокая-рыхление
Центральный	Эрозионные	175	Глубокая-рыхление
	Плакорные	407	Глубокая-рыхление
Южный	Эрозионные	333	Поверхностная

Система защиты растений была идентична на всех производственных участках и включала использование препаратов: Астэрикс в норме 0,35 л/га, Аргомак, Овсюген Супер в норме 15 г/га, Рекс в норме 1 л/га, Клонрин в норме 0,15 л/га. Сроки посева были растянуты в периоде - 02.05.2022–23.05.2022.

Системы минерального питания несколько отличались на исследуемых участках. В качестве припосевного удобрения использовали диамофоску 10:26:26 в дозе 100 кг/га, раствор фосфатов аммония и однозамещённого фосфата калия марки 7:23:7 (ЖКУ) в дозе 60 л/га, в качестве листовых подкормок использовали карбамидо-амиачную смесь (КАС<sup>32</sup>) в дозе 77 л/га. Подробная схема по каждому полю представлена в таблице 2.

2. Схема минерального питания

Участок	Используемые удобрения при посеве	Доза в физ. массе, кг/га	Подкормки	Доза в физ. массе, кг/га	Площадь участка, га	Общая доза, кг д.в./га	Тип обработки
Северный	10:26:26	100	КАС <sup>32</sup>	100	346	N <sub>42</sub> P <sub>26</sub> K <sub>26</sub>	Глубокая
	7:23:7	80	КАС <sup>32</sup>	100	163	N <sub>38</sub> P <sub>18</sub> K <sub>6</sub>	Глубокая
Центральный	10:26:26	100	КАС <sup>32</sup>	100	256	N <sub>42</sub> P <sub>26</sub> K <sub>26</sub>	Глубокая
	7:23:7	80	КАС <sup>32</sup>	100	152	N <sub>38</sub> P <sub>18</sub> K <sub>6</sub>	Глубокая
Южный	10:26:26	100	КАС <sup>32</sup>	100	410	N <sub>42</sub> P <sub>26</sub> K <sub>26</sub>	Поверхностная

Для реализации припосевного внесения жидких минеральных удобрений на сеялки марок Amazone и Horsh используемые на предприятии были установлены комплекты оборудования для реализации внесения и дозирования расхода раствора в зависимости от скорости движения техники, для обеспечения более равномерного внесения. Листовую подкормку КАС<sup>32</sup> вносили с использованием самоходных опрыскивателей «Туман-2». Период внесения КАС<sup>32</sup> соответствовал началу фазы кущения, срок внесения на участках 31.05.2022–21.06.2022.

Уборка производилась в период 08.08.2022–25.08.2022 при влажности зерна в среднем 12–14% прямым комбайнированием при этом фиксируя урожайность (ц/га) отдельно на выделенных контурах агроэкологических типов земель и элементах рельефа.

**Результаты и их обсуждение.** В качестве основных показателей продуктивности был произведен учет урожайности по выделенным участкам, расчёт количества продуктивных стеблей на 1 м<sup>2</sup>, а также зафиксирована средняя масса 1000 семян на каждой из исследуемых

площадок. Основные показатели представлены в таблице 3.

Следует отметить, что по показателю массы 1000 семян сорта Арабелла и Архат в среднем несколько уступали сорту Бурлак при массах 39,1 и 43,4 г соответственно. Показатели урожайности, массы 1000 семян и количества продуктивных стеблей были достаточно скоррелированы, при оценке с использованием коэффициента линейной корреляции Пирсона величина R принимала значения, равные 0,71 и 0,62 ед. Это соответствует среднему уровню корреляции и превышает минимальный порог уровня R для 33 наблюдений, что показывает достоверность наличия зависимости. В дальнейшем при проведении регрессии в моделях использовали только показатель урожайности, для исключения появления мультиколлинеарности и избыточного влияния откликов на коэффициенты регрессии. На рисунке 3 представлены коробчатые диаграммы, характеризующие средние показатели урожайности, сгруппированные по сортам и группам земель.



### 3. Продуктивности культуры за вегетационный период 2022 г.

№ участка	Площадь, га	Группа земель	Сорт	Урожайность, ц/га	Масса 1000 семян, г	Число продуктивных стеблей на 1 м <sup>2</sup>
1	33	Переувлажненные	Арабелла	36,9	37,1	426
2	48	Переувлажненные	Бурлак	48,9	43,8	521
3	49	Переувлажненные	Архат	32,6	37,1	392
4	30	Переувлажненные	Арабелла	47,1	39,6	498
5	35	Переувлажненные	Архат	52,8	41,2	459
6	15	Переувлажненные	Бурлак	33,8	41,6	382
7	10	Переувлажненные	Арабелла	38,9	37,8	431
8	13	Плакорные	Арабелла	42	41,2	473
9	33	Плакорные	Арабелла	50,2	42,6	536
10	18	Плакорные	Гранни	48,2	42,8	452
11	58	Плакорные	Гранни	43,7	46,4	473
12	18	Плакорные	Бурлак	52,5	45,3	552
13	23	Плакорные	Гранни	51,9	42,1	503
14	25	Плакорные	Архат	24	35,2	351
15	43	Плакорные	Арабелла	41,5	42,6	407
16	173	Плакорные	Архат	27,5	35,8	361
17	39	Плакорные	Арабелла	35,1	36,2	379
18	74	Эрозионные	Арабелла	27,9	35,1	305
19	20	Эрозионные	Гранни	45,5	40,3	418
20	14	Эрозионные	Гранни	49,3	41,9	526
21	15	Эрозионные	Бурлак	53,6	46,1	516
22	15	Эрозионные	Гранни	24,2	36,6	309
23	16	Эрозионные	Гранни	22,1	35,1	306
24	12	Эрозионные	Гранни	34,8	43,6	317
25	48	Эрозионные	Архат	44,1	42,4	341
26	52	Эрозионные	Архат	46,1	44,8	413
27	69	Эрозионные	Арабелла	44,4	39,8	422
28	183	Эрозионные	Бурлак	42,4	44,3	451
29	93	Эрозионные	Архат	44,2	39,9	398
30	26	Эрозионные	Арабелла	43,2	38,7	376
31	12	Эрозионные	Бурлак	36,2	40,3	412
32	40	Эрозионные	Арабелла	48,4	39,1	406
33	33	Эрозионные	Бурлак	31,9	42,2	381

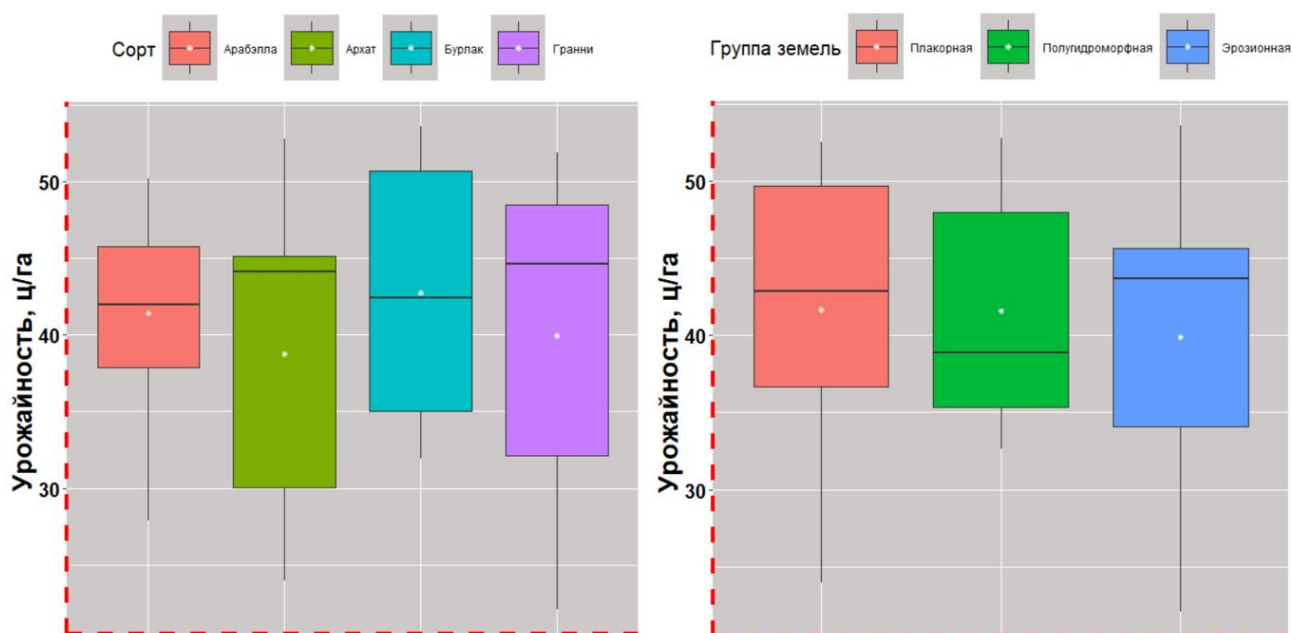


Рис. 3. Диаграммы распределения урожайности по сортам и группам земель

Существенных различий по показателю урожайности в классифицированных подгруппах не отмечалось. При средней урожайности 40,8 ц/га и вариации на участках от 22,1 до 53,6 ц/га средняя прибавка по подгруппам «Сорт» и «Агроэкологическая группа земель» не превышала 2-3 ц/га, и дисперсия других факторов значительно перекрывала эффект сортовой принадлежности культуры и ее привязку к почвенным условиям. Для проведения оценки значимости различий между вариантами использовали критерий Тьюки. Различия средних

оценивали при выбранном уровне значимости  $p=0,05$ . На диаграмме рисунка 4 представлены результаты сравнения средних по подгруппам. Пресечение диаграммами нулевой линии и широкие диапазоны доверительных интервалов характеризуют отсутствие достоверных различий урожайности как по сортам, так и по агроэкологическим группам. В связи с этим представляется разумным проведение корреляционного анализа для оценки вклада ряда других факторов в параметр урожайности и проведения дальнейшей многомерной регрессии.

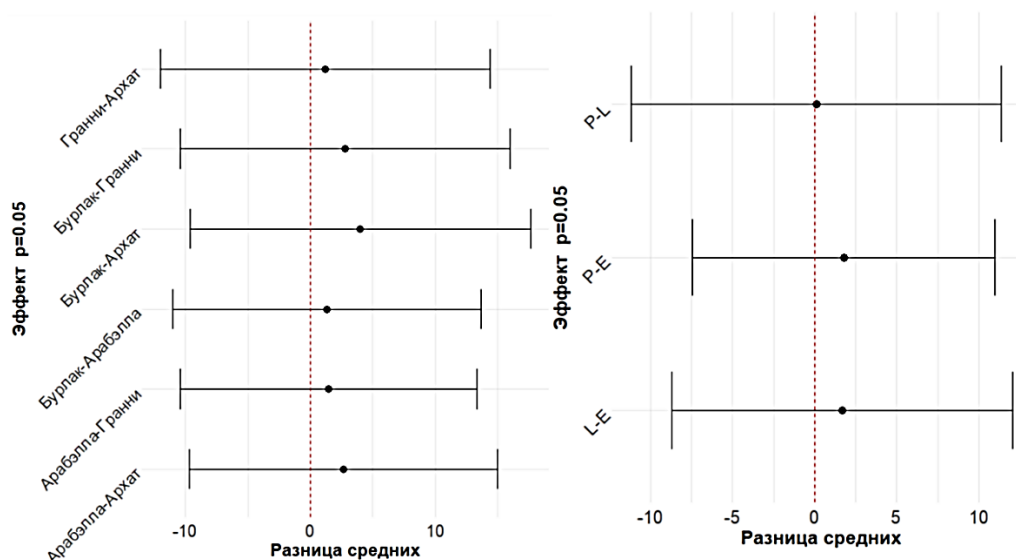


Рис. 4. Диаграммы рассеяния при оценке размера эффекта по критерию Тьюки:  
Р - плакорные земли, Е - эрозионные земли, L - полугидроморфные земли

Анализируя, полученные данные следует отметить, что при проведении корреляционного анализа на выборке, состоящей из 33 наблюдений, достоверными следует считать

зависимости, в которых величина R превышает значение 0,35 ед. Используя метод Спирмена, для оценки зависимостей была построена матрица корреляций (рис. 5).



Рис. 5. Корреляционная матрица

Анализируя полученную структуру данных следует отметить, что для большинства переменных величина R не превышает порогового значения, и связи между этими переменными для анализируемой выборки не являются достоверно значимыми. Стоит отметить, что такие переменные как дата посева и дата уборки культур, способ обработки почвы и т.д. перед проведением анализа стандартизовались и были представлены в матрицу как числа, измеряемые в диапазоне значений 0-1. Наиболее интересен для анализа в данной матрице столбец «Урожайность». Достоверно на величину урожайности яровой пшеницы в данном случае влияли такие переменные как: дата посева, крутизна склона и сумма температур  $> 10^{\circ}\text{C}$ . При этом параметр суммы осадков за вегетацию достоверно связан с переменной экспозиции при параметре  $R=0,77$ , что

свидетельствует о средней силе зависимости. Тип почвообработки достоверно не повлиял на параметр урожайности, из чего можно сделать вывод, что такая культура как яровая пшеница не так чувствительна к способу почвообработки и в условиях Республики Татарстана (лесостепная зона) под посев возможно проведение неглубокой обработки дисковыми боронами или прямой посев, что никак не скажется на итоговом показателе урожайности. Крутизна склона является косвенным ключевым фактором, определяющим продуктивность земель. Данная переменная оказывает достоверное влияние на величину урожайности, крутизна в данном случае определяет показатели теплообеспеченности земель коррелируя линейно с параметром суммы активных температур. Второй важный морфометрический показатель – экспозиция, который определяет

перераспределение влаги в ландшафте. Параметр экспозиции коррелирует с нормой осадков при  $R=-0,77$  ед. Это на примере данной выборки в целом позволяет заключить, что морфометрические параметры в условиях данного региона являются наиболее сильными переменными, обуславливающими продуктивность агроландшафтов.

После проведения множественной регрессии путем последовательного исключения незначимых переменных была построена многомерная линейная модель, включающая только три переменные: сорт, сумма температур  $> 10^{\circ}\text{C}$ , осадки, вносящие при взаимодействии максимальный вклад в итоговый параметр урожайности (табл. 4).

С использованием метода главных компонент переменные были группированы и визуализированы в пространстве векторов первой и второй компонент.

#### 4. Факторы и фактические уровни $r$ для переменных регрессионной модели

Фактор	p - value
Сорт	$< 0,002$
Сумма температур $> 10^{\circ}\text{C}$	$< 0,0003$
Осадки, мм	$< 0,0006$

Суммарный охват дисперсии для модели составил 0,78 ед. (для четырех компонент), для двух компонент 0,58 ед. Для переменных PC-1 и PC-2 был построен график векторов, тем самым визуализировано распределение анализируемых переменных в пространстве векторов главных компонент (табл. 5).

#### 5. Характеристика охвата дисперсии моделью PCA

Компонент	PC1	PC2	PC3	PC4
Стандартное отклонение	2,13	1,73	1,21	1,41
Охват дисперсии	0,36	0,22	0,10	0,10
Кумулятивная доля	0,36	0,58	0,68	0,78

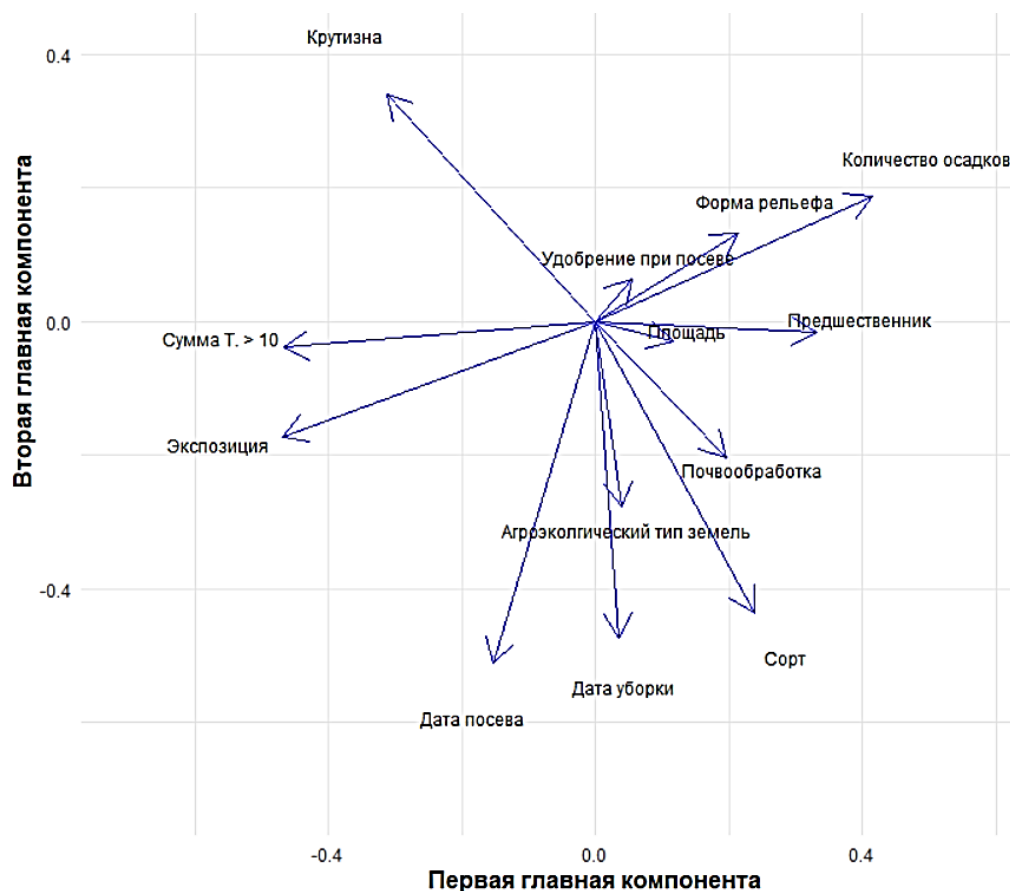


Рис. 6. Распределение переменных в пространстве векторов главных компонент

В первую очередь стоит отметить, что наибольший вклад в PC-1 вносят такие переменные как даты посева и уборки, сорт, крутизна. При этом в данных следует выделить 2 основных кластера: группа переменных, влияющих на параметры теплообеспеченности (левая часть графика), группа переменных, оказывающих слабое прямое воздействие на параметр урожайности при их отдельном рассмотрении (нижняя часть графика). На основании данных, полученных в ходе корреляционного анализа, регрессии и проведения анализа модели методом главных компонент была сформирована графическая структура данных, отражающая вклад различных переменных в итоговый параметр урожайности (рис. 7).

Предложенная структура отражает внешние «слабые» и внутренние «сильные» факторы, определяющие итоговую урожайность в условиях лесостепи Татарстана. Следует отметить, что наиболее важное заключение, полученное в ходе анализа данных, связано с группой переменных, оказывающих опосредованное воздействие на урожайность яровой пшеницы. Так, например переменная экспозиция напрямую не характеризуется наличием достоверной зависимости с величиной урожайности, но оказывая влияние на тепло- и влагообеспеченность участка в конечном итоге вносит свой вклад в формирование данного параметра.

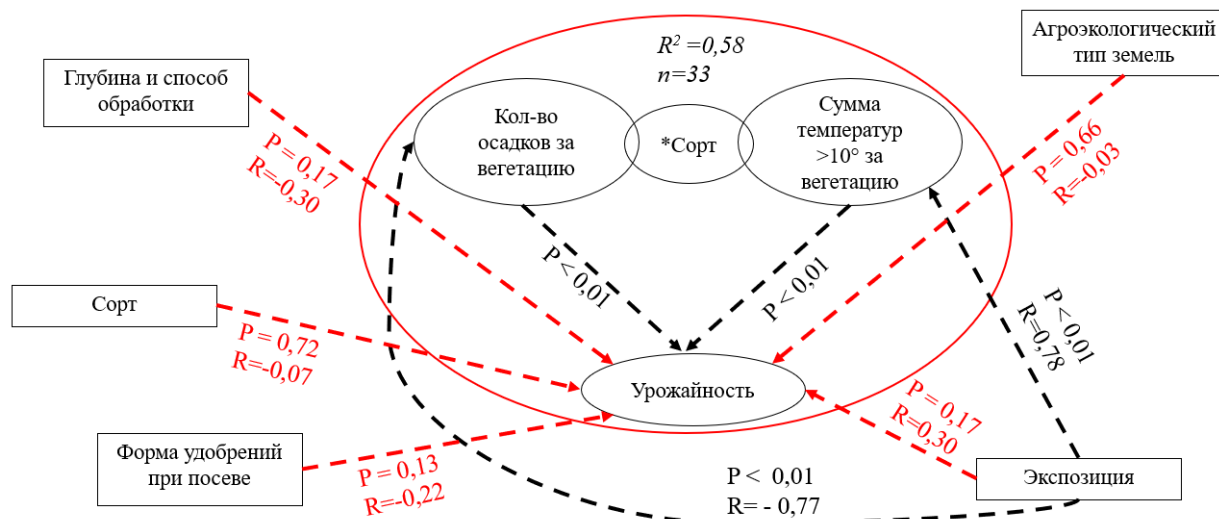


Рис. 7. Структура вклада факторов в урожайность яровой пшеницы

**Заключение.** Результаты исследования показали, что при оптимальных условиях тепло- и влагообеспеченности (условия вегетационного периода 2022 г.) средняя урожайность яровой пшеницы на исследуемых участках соответствовала величине 40,8 ц/га при вариации на участках от 22,1 до 53,6 ц/га. Показатели массы 1000 семян были несколько выше для сорта Бурлак, при величине 43,4 г в среднем на 2-3 г выше значений данного параметра по другим сортам. В соответствии с проведением теста сравнения средних с использованием критерия Тьюки установлено, что средняя прибавка в подгруппах «сорт» и «агроэкологическая группа земель» не позволяет судить о достоверности различий и значительном вкладе фактора в показатель урожайности.

Полученная структура данных, сделанная на примере выборки, состоящей из 33 наблюдений и представленная на рисунке 7, позволила сделать несколько основных выводов.

Наибольший вклад в формирование урожайности (в оптимальных условиях вегетационного периода 2022 г.) вносят тепло- и влагообеспеченность, через переменные суммы осадков (мм) и обеспеченности  $T > 10^{\circ}\text{C}$ . Установлено, что переменные могут влиять на урожайность не напрямую, а косвенно воздействуя на наиболее сильные факторы, как параметр экспозиции склонов. В рамках анализируемых данных такая переменная как экспозиция не была достоверно статистически связана с урожайностью, но при этом оказывала существенное воздействие на сумму активных температур и количество осадков – наиболее сильных и важных факторов формирования урожайности. Установлено также, что способ обработки почвы, предшественник и форма вносимых при посеве минеральных удобрений существенно не повлияли на итоговую урожайность. При масштабировании подобных исследований и комплексной аналитике по группам разных культур полученная информация будет весьма ценной при разработке подходов к ведению

хозяйственной деятельности, рациональных агротехнологий и адаптивных систем.

#### Литература

1. Васнев И.И. и др. / Методика агроэкологической типизации земель в агроландшафте (информационно-справочные системы оценки их ресурсного потенциала и оптимизации базовых элементов систем земледелия) / Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т земледелия и защиты почв от эрозии; [Васнев И. И. и др.]. – М. : Россельхозакадемия, 2004. – 80 с. – ISBN 5-94873-022-0. – EDN QKXFTL.
2. Кирюшин, В.И. Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель / В. И. Кирюшин // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 871-879. – DOI 10.31857/S0032180X20070060. – EDN ZAPDJI.
3. Куприянов, А.Н. Применение жидких комплексных минеральных удобрений как фактор оптимизации производства продукции растениеводства в условиях изменения климата / А.Н. Куприянов, А.А. Прохоров, А.И. Белолобцев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3(233). – С. 33-40. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-233-3-33-40. – EDN MKMRXL.
4. Лебедева П.И., Колосова О.Е., Ефимов О.Е. Использование дистанционных методов в оценке климатических показателей в предпроектном ландшафтном анализе территории // Вестник ландшафтной архитектуры. – 2022. – № 29. – С. 42-45. – EDN PMLZBD.
5. Прохоров А.А., Борисов Б.А., Ефимов О.Е. Индексная оценка степени выпашанности черноземов Предкавказской провинции/ Агрохимический вестник. – 2023. – № 5. – С. 50-55. – DOI: 10.24412/1029-2551-2023-5-009. – EDN YWLHTG.
6. B.A. Borisov, O.E. Efimov, O.V. Eliseeva [et al.]/Organic matter of sod-podzolic soil after transition to a fallow state // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 июня 2021 года. – Ussurijsk, 2021. – P. 022022. – DOI 10.1088/1755-1315/937/2/022022. – EDN DZGRRC.
7. Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), (date of access), <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>.
8. Ren, Tao & Li, Hui & Lu, Jianwei & Bu, Rongyan & Li, Xiaokun & Cong, Rihuan & Lu, Mingxing. (2015). Crop rotation-dependent yield responses to fertilization in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). The Crop Journal. 37. 10.1016/j.cj.2015.04.007.
9. Tanveer, A., Ikram, R.M., Ali, H.H. (2019). Crop Rotation: Principles and Practices. In: Hasanuzzaman, M. (eds) Agronomic Crops. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_1)

#### AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF SPRING WHEAT PRODUCTIVITY IN AGRICULTURAL LANDSCAPES OF NIZHNEKAMSK REGION OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

A.A. Prokhorov\*, A.N. Kupriyanov, Ph.D. B.A. Borisov, Ph.D. O.E. Efimov  
Russian State Agrarian University, K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Russia,  
127434, Moscow, 49 Timiryazevskaya str.

\*[artem.prokhorov.2016@inbox.ru](mailto:artem.prokhorov.2016@inbox.ru)  
\* <https://orcid.org/0000-0002-2988-5055>



Within the framework of the work, the contribution of the group of main agroecological factors to the final yield of spring wheat was assessed using the principal component method model and multivariate regression. Wheat yields based on the results of 2022 ranged from 22.1 c/ha to 53.6 c/ha with an average value of 40.8 c/ha. It was established that in the conditions of forest-steppe zone of Tatarstan the most significant factors affecting the yield of spring wheat are a group of variables that determine the conditions of heat and moisture availability, namely: the amount of precipitation during the growing season, the sum of temperatures during the growing season, morphometric parameters of slope steepness and exposure. The method and depth of tillage did not have a significant effect on the final yield, as well as a number of other variables analyzed: forms of fertilizers used, predecessors in crop rotation, etc. Such variable as slope exposure was not significantly related to yield. At correlation by Spearman's method  $R=0.30$  units, which is not reliable at  $n=33$ , but at the same time the exposure had a significant effect on temperature availability  $> 10^\circ$  and precipitation ( $R=0.78$  units and  $-0.77$  units) - the strongest and most important factors of yield formation. When analyzing the differences of mean differences using Tukey's criterion at the significance level of  $p=0.05$ , no significant differences were found in sub-samples when grouped by variety and agro-ecological land groups. Keywords: Agro-ecological assessment, agrotechnology's, productivity of agrolandscapes.

УДК 631.416.9:631.95

DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.20

## ВАРИАТИВНОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ МЕЗО-, МИКРО- И УЛЬТРАМИКРО-ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТОВОМ САЛАТЕ СОРТА НАДИН АГРО

М.А. Эдомская<sup>1</sup>, к.б.н., С.Н. Лукашенко<sup>1</sup>, д.б.н., А.А. Шупик<sup>1</sup>, Н.О. Братухин<sup>1</sup>, Д.А. Желтов<sup>2</sup>,  
В.А. Макарова<sup>2</sup>, П.В. Харкин<sup>2</sup>, С.Г. Шаповалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup>Институт ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан  
г. Алматы, Казахстан

Представлены результаты вариативности накопления мезоэлементов (Fe и Mg), микроэлементов (Zn, Mo и Mn), ультрамикроэлементов (Cr, Ni, Pb) и техногенного Pu внутри одного сорта салата Надин Агро, обусловленного индивидуальными особенностями. Установлено, что несмотря на идентичные условия выращивания, наблюдается высокая вариативность накопления рассматриваемых элементов внутри одного сорта, при этом наибольшая вариативность отмечается у техногенного элемента Pu, наименьшая у Ni.

Ключевые слова: коэффициент накопления, Pu, Fe, Cr, Zn, Ni, Mg, Mn, Pb.

Для цитирования: Эдомская М.А., Лукашенко С.Н., Шупик А.А., Братухин Н.О., Желтов Д.А., Макарова В.А., Харкин П.В., Шаповалов С.Г. Вариативность накопления мезо-, микро- и ультрамикроэлементов в листовом салате сорта Надин Агро // Плодородие. – 2024. – №5. – С. 96-101. DOI: 10.25680/S19948603.2024.140.20.

Нарастающее техногенное воздействие приводит к все большей нагрузке на окружающую среду и, как следствие, к большему накоплению токсикантов, способных мигрировать по трофическим цепям.

Согласно агробиохимической классификации [1], все элементы разделяются на макро-, мезо-, микро- и ультрамикроэлементы, инертные и техногенные элементы исходя из их биологической роли и содержания в растениях.

Мезоэлементы – элементы, содержание которых в сухой массе растений находится в диапазоне 0,01–0,1%.

Микроэлементы – элементы, содержащиеся в сухой массе растений в количестве от 0,0001 до 0,01 %. К этой группе относятся элементы, такие как В, Mn, Co, Cu, Mo, Zn.

Содержание ультрамикроэлементов в сухой массе растений оценивается в менее 0,0001 %. По численности элементов данная группа является самой большой. Примерами таких элементов являются Cr, Pb, Ni, Li, Ka, I, Va, Se, Cd и др.

К Техногенным элементам относятся элементы, преимущественно антропогенного происхождения. К таким элементам относятся Pu, Am, Cf, Cm, No, Nr и др. Некоторые ультраследовые концентрации этих элементов могут содержаться в земной коре, однако их содержание настолько низкое, что определяется как правило весьма приблизительно расчетным методом. Например, Pu-239 естественного происхождения образуется вследствие  $\beta$ -

распада Np-239, который образуется при взаимодействии урана с нейтронами. Исходя из среднего содержания урана в земной коре можно дать оценку содержания плутония в ней, которое составит  $2 \cdot 10^{-14}$  г/кг.

Минеральное питание является основой для роста и развития организмов. Однако в больших количествах эти элементы токсичны для всех живых организмов. Поэтому исследования миграции таких элементов по трофическим путям, являются важной экологической задачей. Одной из которых является изучение способности растений поглощать элементы [2, 3].

Степени поступления элементов в растения очень изменчивы и зависят от почвенных и климатических условий, вида растений. Кроме того, вариативность накопления элементов может определяться не только видовыми различиями растений, но и внутрисортными различиями, обусловленными индивидуальными особенностями растений. Поэтому содержание элементов в растениях на незагрязненных почвах колеблется в широких пределах. Однако этот предел не безграничен и определяется гомеостазом.

Механизмы гомеостаза растений изучены слабо. В качестве примера его проявления служит относительная избирательность поступления ионов с водой корнями растений и их дальнейшее распределение по органам и