

## Анализ факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы

А. А. Дубовицкий<sup>✉</sup>, Э. А. Климентова

Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: daa1-408@yandex.ru

**Аннотация.** Цель – оценка влияния факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы. **Методология и методы.** В процессе проведения исследования использовались непараметрические статистические методы выявления зависимостей в совокупности данных. При построении прогностических моделей использовался ROC-анализ для нахождения значений точки cut-off. **Результаты.** Проведенное исследование позволило локализовать три группы регионов РФ, существенно различающихся по показателям экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы и характеризующихся высоким уровнем дисперсии внутри групп. Анализ взаимосвязей между параметрами, характеризующими уровень экологического воздействия, позволил выявить факторы, оказывающие определяющее влияние на показатели воспроизводства плодородия земель. В регионах с высоким отрицательным экологическим воздействием решающее значение имеет только величина урожайности, рост которой ведет к увеличению некомпенсируемого выноса элементов почвенного плодородия, а соответственно, и к прогрессирующему деградации земель. В регионах со средним уровнем отрицательного экологического воздействия его величина зависит еще и от количества внесенных органических удобрений, что и формирует менее высокий уровень некомпенсируемого выноса элементов почвенного плодородия и, соответственно, экологического ущерба в регионах, вошедших в эту группу. В группе с положительным экологическим воздействием определяющее влияние на воспроизводство плодородия земель оказывает только уровень внесения органических удобрений. Проведение регрессионного анализа показало, что при аппроксимации значений положительного экологического воздействия на земельные ресурсы наиболее обоснованной переменной может выступать именно количество внесения органических удобрений. ROC-анализ в отношении внесения органических удобрений под зерновые культуры как потенциального прогностического параметра положительного экологического воздействия показал, что его пороговое значение в точке cut-off, составляет 2,56 т на 1 га. **Научная новизна** заключается в формировании доказательной базы зависимости уровня плодородия земель от параметров агроэкологического воздействия, необходимых для понимания механизмов построения системы рационального землепользования в сельском хозяйстве.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, земельные ресурсы, региональные особенности, воспроизводство плодородия, эффективность, механизм управления, земельная политика

**Для цитирования:** Дубовицкий А. А., Климентова Э. А. Анализ факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 381–391. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-381-391>.

**Дата поступления статьи:** 13.10.23, **дата рецензирования:** 20.11.2023, **дата принятия:** 10.01.2024.

# Analysis of factors determining the magnitude of the environmental impact of agricultural production on land resources

A. A. Dubovitskiy<sup>✉</sup>, E. A. Klimentova

Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: daa1-408@yandex.ru

ЭКОНОМИКА

**Abstract.** The purpose is to assess the impact of factors determining the magnitude of the environmental impact of agricultural production on land resources. **Methodology and methods.** In the course of the study, nonparametric statistical methods were used to identify dependencies in the data set. When constructing predictive models, ROC-analysis was used to find the values of the cut-off point. **Results.** The study made it possible to localize three groups of regions of the Russian Federation that differ quite significantly in terms of the environmental impact of agricultural production on land resources and are characterized by a high level of dispersion within the groups. The analysis of the interrelations between the parameters characterizing the level of environmental impact made it possible to identify factors that have a decisive influence on the indicators of reproduction of land fertility. In regions with a high negative environmental impact, only the yield value is crucial, the growth of which leads to an increase in the uncompensated removal of soil fertility elements, and, accordingly, to the progression of land degradation. In regions with an average level of negative environmental impact, its magnitude also depends on the amount of organic fertilizers applied, which forms a less high level of uncompensated removal of soil fertility elements and, accordingly, environmental damage in the regions included in this group. In the group with a positive environmental impact, it is the level of application of organic fertilizers that has a decisive influence on the reproduction of land fertility. The regression analysis showed that when approximating the values of the positive environmental impact on land resources, the amount of organic fertilizers can be the most reasonable variable. ROC-analysis regarding the application of organic fertilizers for grain crops as a potential predictive parameter of positive environmental impact showed that its threshold value at the cut-off point is 2.56 tons per 1 ha. **The scientific novelty** lies in the formation of the evidence base of the dependence of land fertility on the parameters of agroecological impact necessary to understand the mechanisms of building a system of rational land use in agriculture.

**Keywords:** agriculture, land resources, regional peculiarities, fertility reproduction, efficiency, management mechanism, land policy

**For citation:** Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A. Analysis of factors determining the magnitude of the environmental impact of agricultural production on land resources. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 381–391. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-381-391>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 13.10.23, **date of review:** 20.11.2023, **date of acceptance:** 10.01.2024.

## Постановка проблемы (Introduction)

Ключевым условием формирования системы рационального использования земельных ресурсов является обеспечение не только высокого уровня экономической эффективности, но и достаточного для расширенного воспроизводства уровня эколого-экономической эффективности [1–3], учитывающей совокупное агроэкологическое воздействие сельскохозяйственной деятельности на земельные ресурсы. Для получения необходимого уровня эколого-экономической эффективности должно быть обеспечено простое или расширенное воспроизводство элементов почвенного плодородия, предотвращение любого отрицательного экологического влияния на почвы [4–6].

Основным идентифицируемым параметром экологического воздействия на почвенное плодородие

является оценка параметров изменения органического вещества почвы (гумуса) и минеральных элементов питания (азота, фосфора и калия) [7].

В Российской Федерации проводится ежегодный мониторинг пахотных угодий, включающий в себя два направления: качественную характеристику земель и негативные процессы на землях сельскохозяйственного назначения [8].

Несмотря на ежегодную публикацию доклада о состоянии земельных ресурсов, в системе общенационального мониторинга земель существует несколько проблем, среди которых можно отметить следующие:

– во-первых, не все значимые проявления деградации земель включены в перечень наблюдаемых показателей (к примеру, нарушение структуры почвы и снижение биоразнообразия почв не входят в данный перечень);

– во-вторых, ежегодно лишь около 3 % из 382 млн га земель сельскохозяйственного назначения обследуется в рамках мониторинга;

– в-третьих, мониторинг содержания гумуса, фосфора и калия рассматривается в рамках статичной характеристики плодородия почв, а не в рамках динамической оценки процессов деградации;

– в-четвертых, последнее обновление картографического материала и рекомендаций по предупреждению и устранению деградации земель в большинстве регионов осуществлялось более десяти лет назад.

В результате складывается ситуация, характеризующаяся отсутствием полной и достоверной информации о процессах падения плодородия земель. Качественные лабораторные исследования почвы имеют весьма высокую стоимость и в основном доступны крупным землевладельцам.

В таких условиях землепользователи могут только предполагать об уровне плодородия почвы и потребности внесения удобрений на основе полевых опытов, например, по уровню урожайности культур в последние годы.

При отсутствии официальной статистики по показателям динамики уровня плодородия провести экономическую оценку экологического воздействия сельского хозяйства на земельные ресурсы возможно лишь по отдельным культурам, используя элементы балансового инструментария [1; 9–11].

На наш взгляд, изучение параметров, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы, может дать новые сведения о механизмах формирования системы рационального землепользования в сельском хозяйстве.

Исходя из вышеизложенного была сформулирована цель исследования – анализ факторов, определяющих величину экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Поскольку величина эколого-экономической эффективности использования земельных ресурсов определяется в зависимости от экологического воздействия производства сельскохозяйственных культур на плодородие почвы, нами была проведена статистическая оценка и выявлены региональные особенности влияния факторов на величину этого воздействия. Источником информации послужили официальные статистические данные Росстата и Росреестра Российской Федерации.

При проведении корреляционного анализа взаимосвязи показателей воспроизводства плодородия и экономической оценки величины совокупного экологического воздействия в тыс. руб. ( $y$ ) использовались следующие данные:

– уровень внесения органических удобрений, т ( $x_1$ );  
– уровень внесения минеральных удобрений, кг ( $x_2$ );

– урожайность, ц с 1 га ( $x_3$ );

– баланс элементов питания, кг ( $x_4$ );

– баланс гумуса, т ( $x_5$ ).

Все вышеперечисленные показатели оценивались при возделывании зерновых культур (наиболее распространенной группы сельскохозяйственных культур) по данным Центрального, Южного и Приволжского федеральных округов, где сосредоточено 66 % всех посевных площадей зерновых. Совокупность данных была представлена векторным пространством  $y$  и  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  размерности  $N(38)$  с  $a$ -нормальной формой распределения по тесту Шапиро – Уилка ( $p < 0,05$ ;  $W(38) < 0,95$ ), что определило целесообразность использования непараметрических моделей анализа зависимости переменных и построения рабочей модели. Корреляционный анализ проводился по методу Спирмена, уровень тесноты связей оценивался на основе классификации Чеддока, аналитическое исследование группировки выполнено с использованием непараметрического критерия Краскела – Уоллиса для независимых выборок. При определении эколого-экономических прогностических параметров использовалась бинарная логистическая регрессия и ROC-анализ, пороговое значение в точке cut-off определялось с помощью индекса Юдена.

#### Результаты (Results)

Вследствие корреляционного анализа результативной ( $y$ ) и факторных ( $x_i$ ) переменных было выявлено, что наиболее тесная прямая связь проявляется между  $y$  и  $x_1$  ( $r = 0,814, p < 0,0001$ ),  $y$  и  $x_3$  ( $r = -0,829, p < 0,001$ ),  $y$  и  $x_4$  ( $r = 0,987, p < 0,001$ ), а также между  $y$  и  $x_5$  ( $r = 0,982, p < 0,001$ ). Согласно классификации Чеддока, данные уровни тесноты связей можно считать сильными.

Следует отметить наличие достаточно высокой мультиколлинеарности между факторами  $x_2$  и  $x_3$ , а также между  $x_4$  и  $x_1$ , между  $x_5$  и  $x_3, x_4$ , свидетельствующей о линейной зависимости между объясняющими переменными регрессионной модели. Данный факт требует исключения трех из пяти рассматриваемых факторов из дальнейшего процесса построения рабочей модели.

Таким образом, при аппроксимации значений экономической оценки величины экологического воздействия наиболее обоснованными переменными могут выступать уровень внесения органических удобрений ( $x_1$ ) и урожайность зерновых культур в региональном землепользовании ( $x_3$ ).

По результатам корреляционного анализа нами была поставлена и решена задача дифференциации регионов по величине экологического воздействия. Группировка позволила локализовать три группы

регионов, существенно различающихся по всем рассмотренным параметрам воспроизводства плодородия земель и характеризующихся довольно высокой внутригрупповой дисперсией (таблица 1).

В группу А вошли регионы с минимальным внесением органических удобрений и максимальным внесением минеральных удобрений, что формирует максимально отрицательное экологическое воздействие (более 7,85 тыс. руб. на 1 га в стоимостном выражении). В эту группу вошли 10 регионов: Краснодарский край, Астраханская, Брянская, Курская, Ростовская, Орловская, Тамбовская и Тульская области, республики Калмыкия и Адыгея. Данная группа включает регионы с благоприятными природно-климатическими условиями и плодородием почв, обуславливающими возможность получения высоких урожаев на фоне использования необходимых доз минеральных удобрений.

Высокая урожайность обуславливает необходимый для ее формирования вынос элементов почвенного плодородия, которые не компенсируются соответствующим внесением прежде всего органических удобрений. Субъекты данной группы располагаются преимущественно в южной части ЦФО и южных регионах России.

Группу В составили регионы с уровнем экологического воздействия от –7,85 тыс. руб. до 0 на 1 га. В эту группу вошли 19 регионов, в том числе Московская, Липецкая, Рязанская, Саратовская, Пензенская, Калужская Владимирская, Оренбургская области и ряд других. В этих регионах оказывается меньшее экологическое воздействие на земельные ресурсы. Они сосредоточены преимущественно в более северных и восточных частях страны и характеризуются более низким уровнем урожайности и более высоким уровнем внесения органических удобрений.

Таблица 1

Сравнение значений факторов, определяющих экологическое воздействие зернопроизводства на земельные ресурсы

Показатели	Внесение органических удобрений, т	Внесение минеральных удобрений, кг	Урожайность, ц/га	Баланс элементов питания, кг (+/-)	Баланс гумуса, т (+/-)	Экономическая оценка совокупного экологического воздействия, тыс. руб.
Группа А (N 10)						
Медиана	0,31	145,72	43,15	-122,48	-1,63	-10,48
Q1	0,13	109,13	38,03	-130,31	-1,82	-12,40
Q3	0,53	175,99	48,30	-110,97	-1,46	-9,62
Группа В (N 19)						
Медиана	1,09	63,74	23,00	-44,53	-0,69	-4,22
Q1	0,58	53,61	18,25	-63,47	-0,86	-5,90
Q3	2,09	100,94	27,60	-7,23	-0,35	-1,88
Группа С (N 9)						
Медиана	3,51	62,25	15,10	44,83	-0,02	1,98
Q1	2,99	46,61	14,30	42,90	-0,07	1,17
Q3	4,48	85,81	18,15	70,27	0,31	3,55

Источник: рассчитано авторами на основе данных Росстата (<https://rosstat.gov.ru>).

Table 1  
Comparison of the values of factors determining the environmental impact of grain production on land resources in the regions

Indicators	Application of organic fertilizers, t	Application of mineral fertilizers, kg	Yield, c per 1 ha	Battery balance, kg (+/-)	Humus balance, t (+/-)	Economic assessment of the total environmental impact, thousand
Group A (N 10)						
Median	0.31	145.72	43.15	-122.48	-1.63	-10.48
Q1	0.13	109.13	38.03	-130.31	-1.82	-12.40
Q3	0.53	175.99	48.30	-110.97	-1.46	-9.62
Group B (N 19)						
Median	1.09	63.74	23.00	-44.53	-0.69	-4.22
Q1	0.58	53.61	18.25	-63.47	-0.86	-5.90
Q3	2.09	100.94	27.60	-7.23	-0.35	-1.88
Group C (N 9)						
Median	3.51	62.25	15.10	44.83	-0.02	1.98
Q1	2.99	46.61	14.30	42.90	-0.07	1.17
Q3	4.48	85.81	18.15	70.27	0.31	3.55

Source: calculated by the authors according to Rosstat (<https://rosstat.gov.ru>).

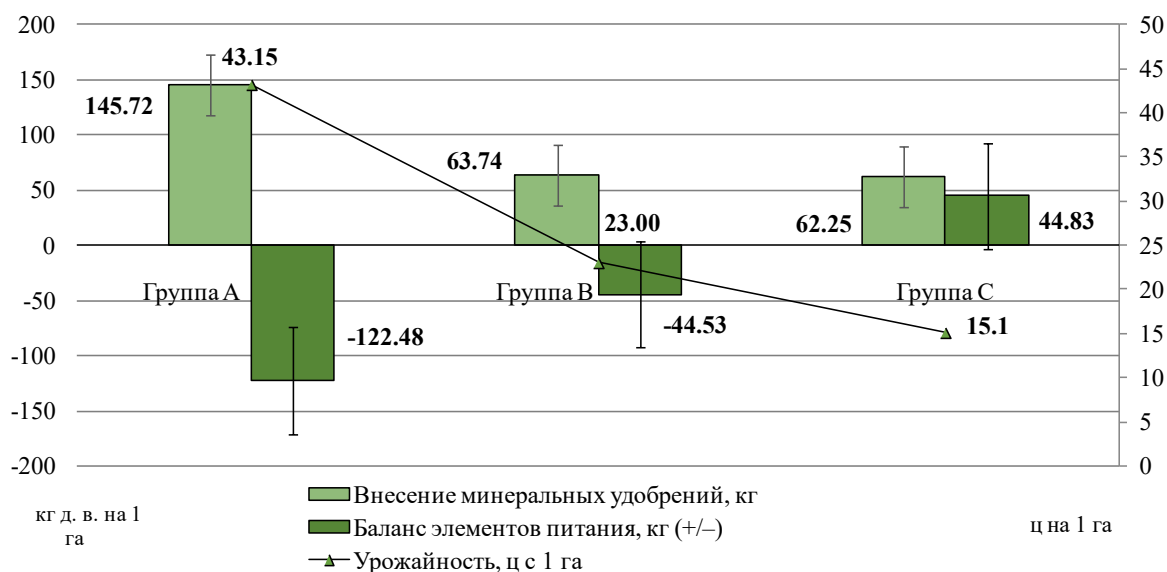


Рис. 1. Сравнение показателей внесения минеральных удобрений и урожайности групп А, В, С  
Источник: составлено авторами на основе собственных исследований

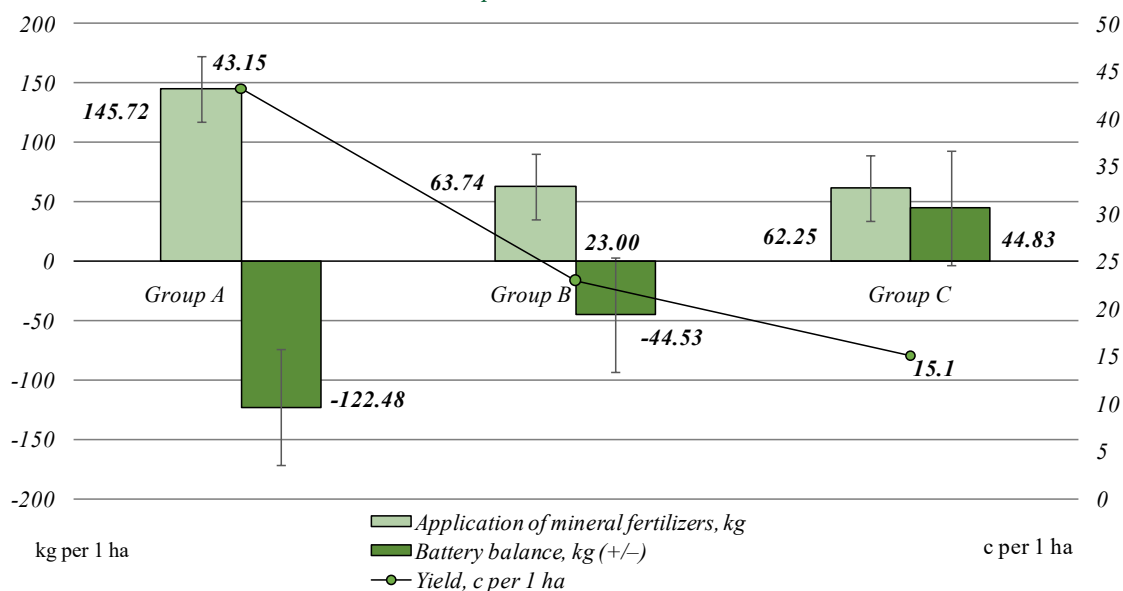


Fig. 1. Comparison of indicators of the degree of land use of groups A, B and C  
Source: compiled by the authors based on their own research

В группу С вошли 9 регионов с расширенным типом воспроизводства почвенного плодородия, которые характеризуются положительным экологическим воздействием. В их числе республики Татарстан, Башкортостан, Марий Эл и Чувашия, Смоленская, Кировская, Костромская, Ярославская области и Пермский край. Данные регионы преимущественно сосредоточены в северной части Центрального федерального округа, а также в Приволжском федеральном округе. Агрехозяйство данной группы отличается относительно худшими природно-климатическими условиями и, как правило, более слабой финансовой состоятельностью хозяйств регионов.

В целом проведенная группировка подтверждает результаты корреляционного анализа и свиде-

тельствует о низком уровне воспроизводства плодородия земель при возделывании зерновых культур почти в половине рассмотренных регионов.

Результаты аналитического исследования группировки с использованием непараметрического критерия Краскела – Уоллиса подтверждают, что рост внесения минеральных удобрений сопровождается повышением урожайности зерновых культур и одновременно увеличением отрицательного баланса элементов питания в почве и, соответственно, экологического ущерба. (рис. 1, 2).

Рост внесения минеральных удобрений сопровождается повышением урожайности зерновых культур и одновременно увеличением отрицательного баланса элементов питания в почве и, соответственно, экологического ущерба.



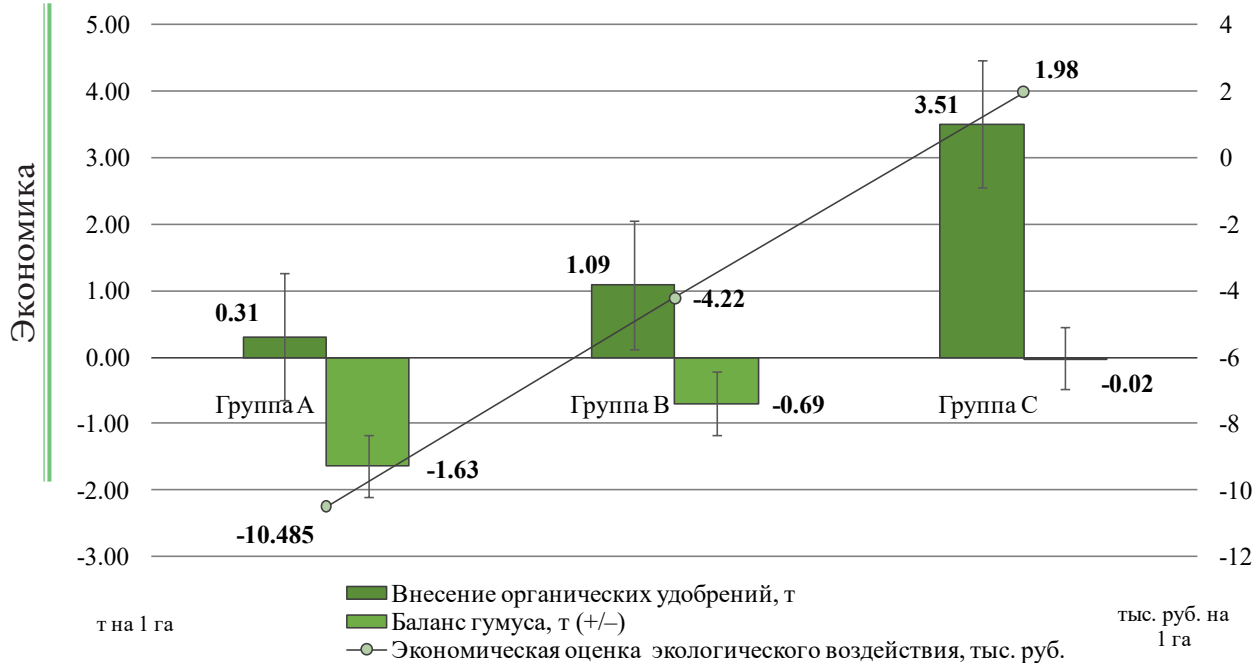


Рис. 2. Сравнение показателей внесения органических удобрений и экономической оценки величины экологического воздействия групп А, В, С

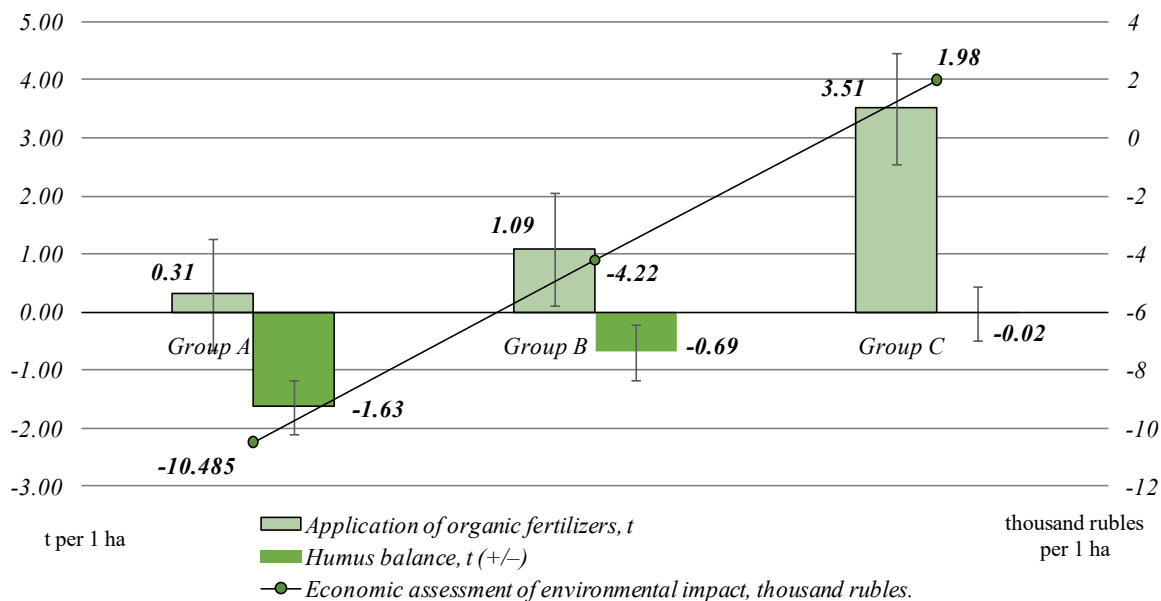


Fig. 2 Comparison of indicators of organic fertilizer application and economic assessment of the environmental impact of groups A, B, C

В группе А наблюдаются максимальные значения показателя внесения минеральных удобрений всей совокупности регионов, включенных в группировку. Медиана уровня внесения минеральных удобрений составила 145,72 кг (109,13; 175,99).

Регионы группы А значительно отличаются от регионов группы В ( $p = 0,006$ ) и группы С ( $p = 0,003$ ) при достоверно незначимом отличии между группами В и С ( $p = 0,474$ ), что свидетельствует о сопоставимости этих групп по значениям этого показателя.

Регионы группы А по балансу элементов питания значительно отличаются от регионов группы В ( $p = 0,001$ ) и группы С ( $p = 0,0001$ ). Значимое различие наблюдается также между группами В и С ( $p = 0,002$ ).

По уровню урожайности проверка нулевой гипотезы одинакового распределения между группами не подтверждена ни в одном сравнении групп. С увеличением внесения минеральных удобрений растет урожайность. Между группами А и В отличия по урожайности значимы ( $p = 0,002$ ), как и между группами А и С ( $p = 0,014$ ) и В и С ( $p = 0,0001$ ).

Параметры корреляции факторов, определяющих экологическое воздействие зернопроизводства на земельные ресурсы по группам регионов Российской Федерации

Группы	Показатели		y	x1	x3
А	y	Коэффициент корреляции	1,000	0,037	-0,794**
		P-значение	0,000	0,920	0,006
		N	10	10	10
В	y	Коэффициент корреляции	1,000	0,667**	-0,456*
		P-значение	0,000	0,002	0,05
		N	19	19	19
С	y	Коэффициент корреляции	1,000	0,867**	-0,525
		P-значение	0,000	0,002	0,146
		N	9	9	9

\* Корреляция значима на уровне 0,05 (двухсторонняя).

\*\* Корреляция значима на уровне 0,01 (двухсторонняя).

Table 2

Correlation parameters of factors determining the ecological impact of grain production on land resources by groups of regions of the Russian Federation

Groups	Indicators		y	x1	x3
A	y	Correlation coefficient	1.000	0.037	-0.794**
		P value	0.000	0.920	0.006
		N	10	10	10
B	y	Correlation coefficient	1.000	0.667**	-0.456*
		P value	0.000	0.002	0.05
		N	19	19	19
C	y	Correlation coefficient	1.000	0.867**	-0.525
		P value	0.000	0.002	0.146
		N	9	9	9

\* Correlation is significant at 0.05 (two-way).

\*\* Correlation is significant at 0.01 (two-way).

Полученные асимптотические значимости парных сравнений групп по показателям внесения органических удобрений, баланса гумуса и экологического воздействия позволяют сделать следующие выводы. Уровень внесения органических удобрений имеет значимое отличие только между группами А и С ( $p = 0,0001$ ). Уровень внесения органических удобрений внутри групп В и С отличается высокой дисперсией, что является причиной менее значимого отличия в целом между этими группами по уровню данного показателя ( $p = 0,006$ ). Причем уровень внесения органических удобрений в группе С составил 3,51 т на 1 га (2,99; 4,48), что выше, чем в группе В: 1,09 т на 1 га (0,58; 2,09). При этом значимое отличие регионов группы А от регионов группы В также отсутствует ( $p = 0,021$ ).

Важным показателем использования земель является баланс гумуса в почве. Уровень этого показателя соответствует уровню внесения органических удобрений и существенно отличается по группам: А: -1,63 т на 1 га (-1,82; -1,46); В: -0,69 т на 1 га (-0,86; -0,35); С: -0,02 т на 1 га (-0,07; 0,31). Уровень значимости отличий  $p \leq 0,05$ . Следовательно, воспроизводство гумуса в почве значимо взаимосвязано с ростом внесения органических удобрений.

В исследуемых группах прослеживается непосредственная разнонаправленная взаимосвязь между балансом гумуса и величиной экологического воздействия. С ростом одного показателя снижается другой. Максимальные значения экологического ущерба наблюдаются в группе А: -10,48 тыс. руб. на 1 га (-12,40; -9,62). Значимые отличия наблюдаются между группами А и В ( $p = 0,001$ ), группами А и С ( $p = 0,0001$ ) при достоверно значимом отличии между группами В и С ( $p = 0,002$ ).

С целью выявления зависимости между уровнем внесения удобрений, урожайностью и экономической оценкой экологического воздействия нами был проведен корреляционный анализ внутри групп по рассматриваемым показателям. Первоначальное тестирование формы распределения данных выявило наличие показателей с достаточно высокой коллинеарностью (уровень внесения минеральных удобрений и урожайность), что потребовало исключения первого из факторов (с меньшим уровнем корреляции и значимости) из дальнейшего процесса построения рабочей модели. Полученные результаты представлены в таблице 2

По результатам корреляции можно сделать вывод, что в группе А единственным значимым фак-

тором, оказывающим влияние на экономическую оценку величины экологического ущерба при использовании земельных ресурсов, является уровень урожайности, рост которой ведет к увеличению некомпенсируемого выноса элементов почвенного плодородия, а соответственно, и к прогрессирующей деградации земель ( $p = 0,006$ ). Уровень тесноты связей, согласно классификации Чеддока, считается заметным по силе.

Низкий уровень внесения органических удобрений не оказывает значимого влияния на итоговые показатели воспроизводства почвенного плодородия на региональном уровне.

В группе В на уровень экологического воздействия влияет не только урожайность ( $p = 0,05$ ), но и количество внесенных органических удобрений ( $p = 0,002$ ), что и формирует менее высокий уровень некомпенсируемого выноса элементов почвенного плодородия и, соответственно, экологического ущерба в регионах, вошедших в эту группу. Уровни тесноты связей данных показателей можно считать умеренными по силе.

В группе С с более высоким уровнем внесения органических удобрений и более низкой урожайностью по сравнению с первыми группами определяющее влияние на воспроизводство плодородия земель оказывает именно первый фактор ( $p = 0,002$ ). Сложившиеся в этой группе параметры использования земель позволяют осуществлять расширенное воспроизводство почвенного плодородия.

В соответствии с этим при аппроксимации значений положительного экологического воздействия на земельные ресурсы наиболее обоснованной пе-

ременной может выступать именно количество внесения органических удобрений.

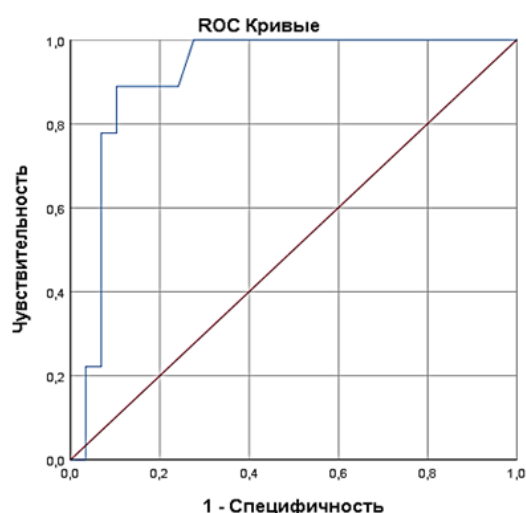
ROC-анализ в отношении внесения органических удобрений как потенциального прогностического параметра положительного экологического воздействия показал, что его пороговое значение в точке cut-off, определенное с помощью индекса Юдена, – 2,56 т на 1 га ( $AUC = 0,914 \pm 0,048$ , 95 % ДИ: 0,819–1,000),  $p$ -значение = 0,0001 (рис. 3).

Величина внесения органических удобрений, равная точке cut-off или выше нее, позволяет прогнозировать положительный уровень экологического воздействия на земельные ресурсы. Чувствительность и специфичность модели – 88,9 % и 78,5 % соответственно.

Результаты бинарной логистической регрессии свидетельствуют о том, что повышение внесения органических удобрений является основным предиктором снижения отрицательного экологического воздействия сельскохозяйственного производства на земельные ресурсы.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

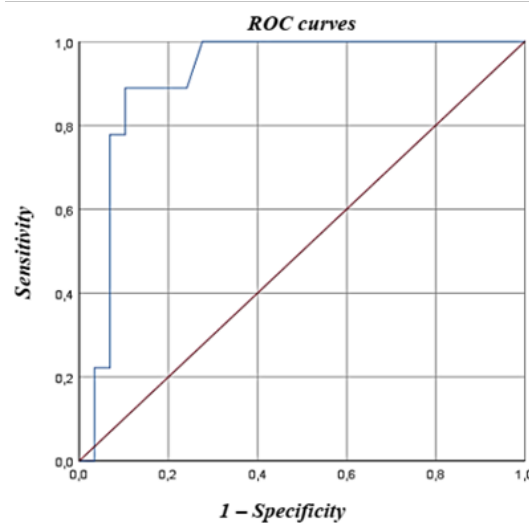
В целом можно сделать вывод, что повышение урожайности на основе технологического совершенствования производства, безусловно, способствует росту экономической эффективности использования земельных ресурсов, но одновременно служит причиной прогрессирующего падения плодородия земель и, соответственно, роста отрицательного экологического воздействия на них, что ведет к снижению эколого-экономической эффективности.



Диагональные сегменты, сгенерированные связями.

Рис. 3. Влияние уровня внесения органических удобрений на величину экономической оценки экологического воздействия

Источник: рассчитано автором на основе собственных исследований



Diagonal segments generated by links

Fig. 3. The effect of the level of organic fertilizers on the value of the economic assessment of environmental impact

Source: calculated by the author on the basis of his own research



Для воспроизводства плодородия почв органическое вещество почвы должно поддерживаться на стабильном уровне. Для бездефицитного баланса гумуса под данные культуры требуется внесение органики в несколько раз больше фактического уровня последних лет. К примеру, пороговое значение положительного экологического воздействия при возделывании зерновых культур в точке cut-off составляет 2,56 т на 1 га. Величина внесения органических удобрений в регионах РФ, равная этой точке или выше нее, позволяет прогнозировать положительный уровень экологического воздействия на земельные ресурсы. Фактическое же внесение в 2021 году составило только 1,2 т органических удобрений на 1 га.

Кардинальным образом изменить сложившуюся ситуацию с низким уровнем внесения органических удобрений в условиях продолжающегося сужения отраслей животноводства в ближайшее время не удастся. В России только за период 2017–2021 гг. поголовье овец уменьшилось на 2562 тыс. голов, или на 11,5 %, крупного рогатого скота – на 640 тыс. голов, или на 3,5 %.

В этих условиях важную роль в воспроизводстве плодородия земель могут играть не только органические удобрения, но и биологические при-

емы и методы [12–18], в том числе использование сидеральных и покровных культур [15], заплата растительных остатков мульчирование почвы [16], использование различных компостов [17] и т. д., позволяющие активизировать поступление органических веществ в почву. Актуальной задачей современного сельского хозяйства является интеграция подобных приемов в принятые на предприятиях системы ведения сельского хозяйства с целью обеспечения максимального уровня эколого-экономической эффективности землепользования и достижения критериев рациональности. Подобное совмещение возможно на основе высокотехнологичного сельского хозяйства с широким внедрением элементов природоохранного земледелия. При этом важным условием решение задачи по расширению внедрения в практику экологически благоприятных методов сельскохозяйственного производства является обеспечение заинтересованности землепользователей в природоохранной направленности производства, что, в свою очередь, требует дальнейшего совершенствования механизма государственного управления сельскохозяйственным землепользованием посредством формирования системы стимулов, которые побуждали бы землепользователей рационально использовать земельные ресурсы.

#### Библиографический список

1. Голубев А. В. Возможности развития растениеводства России в условиях глобальных вызовов // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 11. С. 4–10. DOI: 10.28983/asj.y2020i11pp4-10.
2. Ларионов Ю. С., Жарников В. Б., Стуканов А. А. Формирование системы рационального сельскохозяйственного землепользования на основе теории воспроизводства почвенного плодородия // *Вестник СГУГиТ*. 2020. Т. 25, № 3. С. 241–250.
3. Недикова Е. В., Куликова Е. В. Научно-методические рекомендации по предотвращению деградации земельных угодий // *Регион: системы, экономика, управление*. 2022. № 2 (57). С. 102–107.
4. Долматова Л. Г. Экосистемный подход в формировании рационального землепользования // *Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*. 2021. № 14. С. 5–8.
5. Ковалева И. В. Развитие агроэкологии в системе рационального землепользования // *Социально-экономический и гуманитарный журнал*. 2022. № 2 (24). С. 120–131.
6. Дубовицкий А. А., Климентова Э. А. Концептуальные и методологические подходы к формированию рационального землепользования в сельском хозяйстве // *Экономика сельского хозяйства России*. 2021. № 8. С. 40–46. DOI: 10.32651/218-40.
7. Критерии существенного снижения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: [утверждены постановлением Правительства РФ от 22.07.2011 N 612] [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/14176.html> (дата обращения: 24.05.2023).
8. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2020 году. Москва: Росинформагротех, 2021. 384 с.
9. Лапа В. В., Ивахненко Н. Н. Параметры изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от севооборотов и систем удобрения // *Почвоведение и агрохимия*. 2009. № 2 (43). С. 7–22.
10. Дубовицкий А. А., Климентова Э. А. Эколого-экономическая эффективность использования земельных ресурсов: методический аспект // *Экономика сельского хозяйства России*. 2020. № 5. С. 2–6. DOI 10.32651/205-2.
11. Dubovitski A., Klimentova E., Nikitin A. et al. Ecological and Economic Aspects of Efficiency of the Use of Land Resources // *E3S Web of Conferences*. 2020. Article number 11004. DOI: 10.1051/e3sconf/202021011004.

12. Эседуллаев С. Т., Мельцаев И. Г. Биологизированные севообороты - основной фактор повышения плодородия дерново-подзолистых почв и продуктивности пашни в Верхневолжье // Аграрный вестник Урала. 2019. № 11 (190). С. 18–26. DOI: 10.32417/article\_5dcd861e3d2300.42959538.
13. Климентова Э. А., Дубовицкий А. А., Смыслова О. Ю. Рациональное использование земельных ресурсов как фактор повышения устойчивости сельского хозяйства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1. С. 143–155. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_1\_143.
14. Atieno M., Herrmann L., Nguyen H. T. et al. Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the great Mekong region // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 275. Article number 111300. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111.
15. Gliessman S. Evaluating the impact of agroecology // Agroecology and Sustainable Food Systems. 2020. No. 4 (8). Pp. 973–974. DOI: 10.1080/21683565.2020.1774110.
16. Русакова И. В. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы, продуктивность культур и баланс элементов питания при длительном применении соломы // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2019. Т. 15, № 3. С. 15–21.
17. Рублюк М. В., Иванов Д. А., Карасева О. В. Влияние компоста многоцелевого назначения на агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур в мелиорированных агроландшафтах // Аграрный вестник Урала. 2021. № 6 (209). С. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-209-06-12-21.
18. La Canne C. E., Lundgren J. G. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably // Peer J. 2018. Vol. 6. Article number e4428. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>. (Accessed 23 July 2022).

#### Об авторах:

**Александр Алексеевич Дубовицкий**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и коммерции, Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия; ORCID 0000-0003-4542-1119, AuthorID 315247. E-mail: [daa1-408@yandex.ru](mailto:daa1-408@yandex.ru)

**Эльвира Анатольевна Климентова**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и коммерции, Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия; ORCID 0000-0001-7628-7181, AuthorID 343886. E-mail: [klim1-408@yandex.ru](mailto:klim1-408@yandex.ru)

#### References

1. Golubev A. V. Opportunities for the development of Russian crop production in the context of global challenges. *Agrarian Scientific Journal*. 2020; 11: 4–10. DOI: 10.28983/asj.y2020i11pp4-10. (In Russ.)
2. Larionov Yu. S., Zharnikov V. B., Stukanov A. A. Formation of rational agricultural land use system on the basis of soil fertility recreation theory. *Vestnik SGUGT*. 2020; 25 (3): 241–250. (In Russ.)
3. Nedikova E. V., Kulikova E. V. Scientific and methodological recommendations to prevent land degradation. *Region: systems, economics, management*. 2022; 2 (57): 102–107. (In Russ.)
4. Dolmatova L. G. Ecosystem approach in forming rational land use. *Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*. 2021; 14: 5–8. (In Russ.)
5. Kovaleva I. V. Agroecology development in the rational land use system. *Socio-economic and humanitarian journal*. 2022; 2 (24): 120–131. (In Russ.)
6. Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A. Conceptual and methodological approaches to the formation of rational land use in agriculture. *Economics of agriculture of Russia*. 2021; 8: 40–46. DOI: 10.32651/218-40. (In Russ.)
7. Criteria for a significant decrease in the fertility of agricultural land: [approved by the Decree of the Government of the Russian Federation, 22.07.2011 No 612] [Internet]. [cited 2023 May 24]. Available from: <http://www.consultant.ru/law/hotdocs/14176.html>. (In Russ.)
8. Report on the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2020. Moscow: Rosinformagrotech, 2021. 384 p. (In Russ.)
9. Lapa V. V., Ivakhnenko N. N. Parameters of agrochemical properties of luvisol loamy sand soil and its fertility status in dependence on crop rotations and fertilizer systems. *Soil Science and Agrochemistry*. 2009; 2 (43): 7–22. (In Russ.)
10. Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A. Ecological and economic efficiency of land use: methodical aspect. *Economics of Agriculture of Russia*. 2020; 5: 2–6. DOI: 10.32651/205-2. (In Russ.)
11. Dubovitskiy A., Klimentova E., Nikitin A. et al. Ecological and Economic Aspects of Efficiency of the Use of Land Resources. *E3S Web of Conferences*. 2020: 11004. DOI: 10.1051/e3sconf/202021011004.
12. Esedullaev S. T., Meltsaev I. G. Biologized crop rotation – the main factor for fertility increases of sod-podzolic soils and arable land productivity in the Upper Volga. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 11 (190): 18–26. DOI: 10.32417/article\_5dcd861e3d2300.42959538. (In Russ.)

13. Klimentova E. A., Dubovitskiy A. A., Smyslova O. Yu. Rational use of land resources as a factor of increasing the sustainability of agriculture. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16 (1). Pp. 143–155. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2023\_1\_143. (In Russ.)
14. Atieno M., Herrmann L., Nguyen H. T. et al. Assessment of biofertilizer use for sustainable agriculture in the great Mekong region. *Journal of Environmental Management*. 2020; 275: 111300. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111.
15. Gliessman S. Evaluating the impact of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2020; 4 (8): 973–974. DOI: 10.1080/21683565.2020.1774110.
16. Rusakova I. V. Agrochemical properties of soddy-podzolic soil, productivity of cultures and balance of nutrients upon long-term introduction of straw. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2019; 15 (3): 15–21. (In Russ.)
17. Rublyuk M. V., Ivanov D. A., Karaseva O. V. Influence of multipurpose compost on agrochemical indicators of sod-podzolic soil and crop productivity in reclaimed agricultural landscapes. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 6 (209): 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-209-06-12-21. (In Russ.)
18. La Canne C. E., Lundgren J. G. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. *PeerJ*. 2018; 6: e4428. DOI: 10.7717/peerj.4428.

**Authors' information:**

**Aleksandr A. Dubovitskiy**, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics and commerce, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia; ORCID 0000-0003-4542-1119, AuthorID 315247. *E-mail: daa1-408@yandex.ru*

**Elvira A. Klimentova**, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics and commerce; Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia; ORCID 0000-0001-7628-7181, AuthorID 343886. *E-mail: klim1-408@yandex.ru*