

Научная статья  
УДК 633.2:005.61; 631.861  
DOI: 10.36508/journal.2025.45.48.002

## **ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УДОБРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ**

**Дубенок Николай Николаевич<sup>1</sup>, Мажайский Юрий Анатольевич<sup>2</sup>,  
Захарова Ольга Алексеевна<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации» имени А.Н. Костякова

<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

<sup>3</sup>ol-zahar-ru@yandex.ru

**Аннотация.** В статье под удобрительными средствами авторы приняли регулярное и цикличное орошение в ретроспективе использования агроландшафта и последствие его без и с использованием комплекса эффективных микроорганизмов «Байкал ЭМ-1» (они названы «удобрительные средства») и дана сравнительная оценка агрохимических свойств почвы и урожайности травосмеси.

**Проблема и цель.** Сточные воды свинокомплекса богаты питательными веществами и эффективное орошение ими при соблюдении технологии доказано многими исследователями. После экономических преобразований в стране поливы прекращены из-за старения гидротехнических сооружений. Минеральные и органические удобрения вносятся по минимуму, поэтому проблема продуктивности земель остается нерешенной. Цель работы – оценка агрохимического состояния почвы и урожайности многолетних трав в зависимости от удобрительных средств на основе длительных авторских исследований в ОАО «Рязанский свинокомплекс».

**Методология.** Проведены длительные полевые опыты. Методика исследований общепринятая. Статистическая обработка результатов проведена на компьютерной программе Statistika 10 с моделированием.

**Результаты.** Почва серая лесная среднего уровня плодородия трансформировалась за время проведения орошения сточными водами в новое природное тело, в ней возросло содержание питательных веществ, что

способствовало высокому урожаю. Агрохимические показатели возросли и на участках без поливов были максимальными на варианте 5, что связано, по-видимому, с подпиткой из пруда-накопителя. При регулярном орошении до 48 т зеленой массы на га, при цикличном – до 52 т/га. При средней урожайности многолетних трав без поливов в регионе 2,5 т/га. Последствие тоже было продуктивным: на ранее поливных участках урожайность составила до 3,8 т/га. Наибольшие значения по урожайности показали растения на варианте с внесением «Байкал ЭМ-1» до 5 т/га.

**Заключение.** Возделывание многолетних трав остается эффективным агрономическим мероприятием на ранее мелиорированных землях. Вследствие повышенного содержания питательных веществ в почве, урожайность в 1,5...2 раза выше по сравнению со средней в регионе. Установлено эффективное влияние комплекса эффективных микроорганизмов «Байкал ЭМ-1» на почву и растения на ранее мелиорированных полях.

**Ключевые слова:** агрохимические показатели, урожайность, многолетние травы, орошение сочными водами, последствие сточных вод, микробиологический препарат.

*Original article*

## **EVALUATION OF THE AGROCHEMICAL STATE OF SOIL AND PRODUCTIVITY OF PERENNIAL GRASSES DEPENDING ON FERTILIZERS**

**Dubenok Nikolay Nikolaevich<sup>1</sup>, Mazhaisky Yuri Anatolyevich<sup>2</sup>, Zakharova Olga Alekseevna<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev" FGBOU VO RGAU-Moscow Agricultural Academy Named after K.A. Timiryazev*

<sup>2</sup>*Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation Named after A.N. Kostyakov"*

<sup>3</sup>*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev"*

<sup>3</sup>[ol-zahar-ru@yandex.ru](mailto:ol-zahar-ru@yandex.ru)

**Abstract.** The authors took regular and cyclic irrigation in retrospect of the use of the agrolandscape and its aftereffect without and with the use of a complex of effective microorganisms "Baikal EM-1" (they are called "fertilizers") and gave a comparative evaluation of the agrochemical properties of the soil and the yield of the grass mixture.

**Problem and purpose.** Wastewater from the pig complex is rich in nutrients and effective irrigation with it, subject to technology, was proven by many researchers. After economic reforms in the country, irrigation was stopped due to the aging of hydraulic structures. Mineral and organic fertilizers were applied to a minimum, so the problem of land productivity remained unsolved. The purpose of the work was to evaluate the agrochemical state of the soil and the yield of perennial grasses depending on fertilizers based on long-term author's research at OJSC "Ryazan Pig Complex".

**Methodology.** Long-term field experiments were conducted. The research methodology was generally accepted. Statistical processing of the results was carried out on computer program Statistika 10 with modeling.

**Results.** The gray forest soil of medium fertility was transformed during the irrigation with wastewater into a new natural body, the content of nutrients increased, which contributed to a high yield. Agrochemical indicators increased and were maximum in the areas without irrigation in option 5, which was apparently due to replenishment from the storage pond. With regular irrigation up to 48 tons of herbage per hectare, with cyclical - up to 52 t / ha. With an average yield of perennial grasses without irrigation in the region of 2.5 t / ha. The aftereffect was also productive: in previously irrigated areas, the yield was up to 3.8 t / ha. The highest yield values were shown by plants in the option with the introduction of "Baikal EM-1" up to 5 t / ha.

**Conclusion.** Cultivation of perennial grasses remained an effective agronomic measure on previously reclaimed lands. Due to the increased content of nutrients in the soil, the yield was 1.5...2 times higher than the average in the region. The effective influence of the complex of effective microorganisms "Baikal EM-1" on the soil and plants in previously reclaimed fields was established.

**Key words:** agrochemical indicators, yield, perennial grasses, irrigation with waste water, aftereffect of waste water, microbiological preparation.

### **Введение**

Многолетняя травосмесь является отличным кормом для сельскохозяйственных животных, в том числе свиней, и способствует восстановлению плодородия почвы за счет растительных остатков, поэтому она часто является основой севооборотов. Для повышения ее продуктивности следует задействовать резервы современного земледелия с учетом особенностей почвенно-климатических условиях, структуры посевных площадей, селекционных достижений сельскохозяйственных культур, современных средств механизации, мелиоративных приемов. До 1990-х годов в СПК «Искра» для обогащения почвы использовались сточные воды свинокомплекса. Известные отечественные исследователи занимались проблемой повышения плодородия почвы и получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур в нашей стране при внесении различных удобрительных средств, в том числе орошении сточными водами. На основе проведенного анализа научной литературы было доказано их положительное влияние при соблюдении научно обоснованной технологии их использования [1]. Нами начаты исследования в 1995 году при

функционировании крупнейшего свиного комплекса «Искра» на 108 тыс. голов годового откорма свиней, на котором в год образовывалось более 1000000 м<sup>3</sup> сточных вод. Свинокомплекс расположен в 26 км от областного центра г. Рязани, 2 км от полей и 0,2 км – от пруда-накопителя. Сточные воды проходили механическую очистку с отделением фракции друг от друга, и биологическую очистку в аэротенках. Жидкая фракция поступала на станцию биологической очистки и на второй ступени к сточным водам свиного комплекса добавлялись жилищно-коммунальные сточные воды, затем по закрытому трубопроводу подавались в пруд-накопитель, из которого через 6 месяцев использовались на поливы [2].

Сейчас поголовье свиней сократилось в 2,5 раза, естественно, уменьшился объем сточных вод свиного комплекса до 500 тыс. м<sup>3</sup>, а количество жилищно-коммунальных сточных вод, наоборот, возросло за счет повышения народонаселения в поселке. По-прежнему сточные воды отводятся в пруд-накопитель, но из-за прекращения орошения при переполнении его сбрасываются в близрасположенный овраг. Протяжённость оросительной системы в советское время составляла 40870 п.м. (или 593 га, рисунок 1). Поливы сточными водами проводились регулярно в вегетационные периоды. С 2000 года было внедрено цикличное орошение сточными водами (4 года подряд) с перерывом в их подаче в 2 года. Серая лесная почва в результате длительного регулярного орошения сточными водами деградировала. В эти же годы была предложена новая технология – внесение комплекса эффективных микроорганизмов «Байкал М-1» (рисунки 2 и 3). Из-за износа оросительной системы орошение сточными водами было прекращено, но проблема загрязнения биогенными веществами на полях осталась. Сейчас на полях возделывается многолетняя травосмесь бессменно.

### Материалы и методы исследований

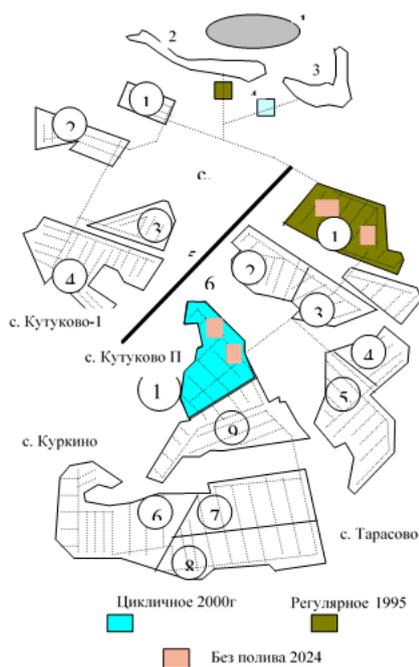


Рисунок 1 – Схема полей 1995-2000 гг. и в настоящее время

Figure 1 – Field diagram 1995-2000 and present

Исследования проводились на сельскохозяйственных полях вблизи ОАО «Рязанский свинокомплекс» в 1995 г. при регулярном орошении сточными водами свиного комплекса, 2000 г. – цикличном орошении, 2024 г. – без полива, причем опытные участки расположены на трех полях (рисунок 1) на площади 150 м<sup>2</sup> каждый: вариант 1 был принят как участок регулярного орошения сточными водами (Р), вариант 2 – цикличного орошения (Ц), варианты 3 и 4 – без орошения (РБ, ЦБ), соответственно, варианты 5 (БМ1) и 6 (БМ2) – без орошения с внесением комплекса эффективных микроорганизмов «Байкал ЭМ-1» (рисунки 2 и 3). Травосмесь состояла из 70% овсяницы луговой (*Festuca pratensis*), 15% тимopheевки луговой

(*Phleum pratense*), 15% клевера красного (*Trifolium pratense*). Методика исследований общепринятая, стандартная.

Обработка результатов статистическими методами на компьютерной программе Statistika 10. Вегетационные периоды отличались обеспеченностью теплом и влагой, но за весь срок выявлена тенденция к сухому лету. Сточные воды сильно загрязнены и по содержанию биогенных веществ, и СПАВ, и микробиологическим показателям превышают нормативы.

### Результаты исследований и их обсуждение

За тридцатилетний срок серая лесная суглинистая почвы постепенно трансформировалась в новое природное тело быстрее, чем в природных условиях, по-видимому, из-за высокой биологической активности почвы. Орошение сточными водами способствовало обогащению почвы питательными веществами, что представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Агрохимические и водно-физические показатели в слое почвы 0-25 см

Показатель	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5	Вариант 6
К <sub>2</sub> O, мг/100 г	8,85±2,8	9,54±1,8	4,07±1,5	5,84±1,6	5,88±1,9	5,85±1,5
Нобщ., мг/100 г	0,55±0,1	0,33±0,1	0,16±0,09	0,21±0,1	0,42±0,2	0,40±0,1
Гумус, %	2,5±0,8	2,6±0,3	2,1±0,4	2,2±0,3	2,3±0,3	2,3±0,1
рН, ед.	5,9±1,1	5,2±1,2	4,8±0,9	4,8±0,5	4,9±0,6	4,9±0,5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,45±0,5	1,38±0,8	1,28±0,7	1,27±0,4	1,20±0,6	1,22±0,4
Порозность, %	45,84±4,6	48,60±4,2	46,33±3,8	50,62±4,7	48,46±4,4	48,88±3,6

Анализируя представленные данные, было отмечено, что агрохимические показатели, например, содержание гумуса в почве снизилось на 0,05%, что явилось следствием его быстрой минерализации. Из-за высокого содержания в сточных водах азота и калия увеличилась их концентрация в почве: общего азота - на 4,72 мг, нитратного - на 2,50 и аммиачного - на 1,65 мг, обменного калия - на 8,65 мг/100 г почвы [3]. При этом биологическая активность почвы по шкале Звягинцева характеризовалась как очень сильная и практически полностью льняная ткань к концу срока экспозиции разлагалась.

Из неблагоприятных последствий регулярного орошения сточными водами можно отметить ухудшение впитывающей способности почвы и кольтматацию подпахотного горизонта, что проявлялось в образовании луж на поверхности после полива и поверхностного стока вдоль склона, что явилось началом развития эрозионного процесса [1, 2].



Рисунок 2 - Концептуальная модель восстановления деградированных почв биологическими методами  
 Figure 2 - Conceptual model of restoration of degraded soils by biological methods

## Действие комплекса эффективных микроорганизмов «Байкал ЭМ-1»

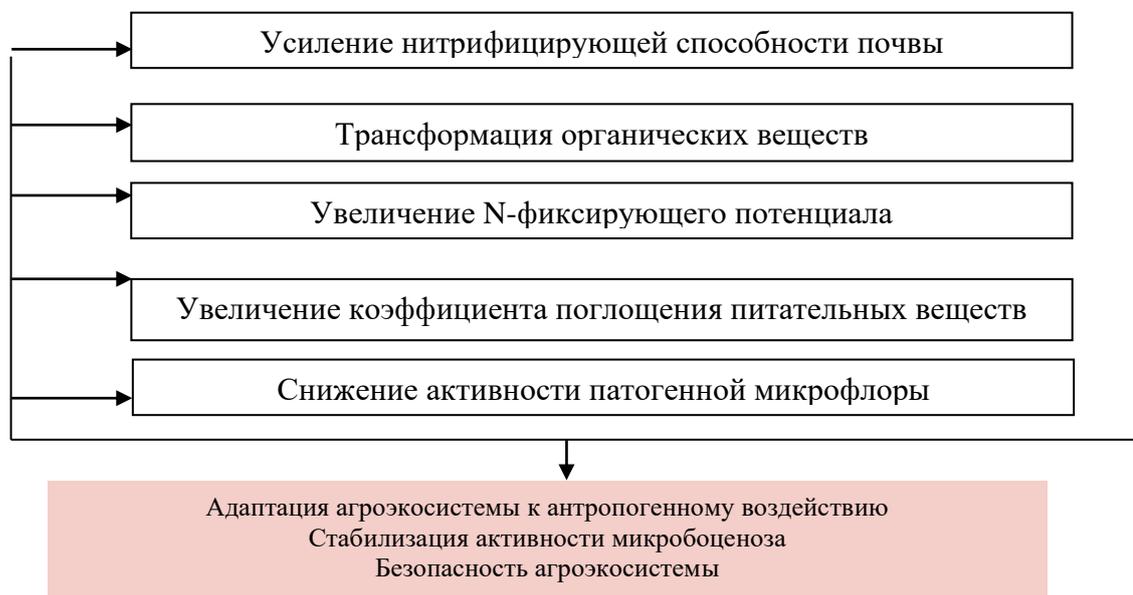


Рисунок 3 – Действие комплекса эффективных микроорганизмов на почву  
Figure 3 – Effect of the complex of effective microorganisms on the soil

Коэффициент фильтрации уменьшился с 0,53 до 0,22 м/сут. Объем пор уменьшился, и инфильтрация ухудшилась. При регулярном орошении в почву поступало большое количество взвешенных частиц, ила, наносов, а также возрастало содержание натрия, что повлияло на структуру почвы, вызвав ее уплотнение и изменив водно-воздушный режим почвы, из-за чего корни трав испытывали недостаток воздуха при избытке влаги. Основным негативным последствием регулярного орошения сточными водами явилось, конечно, накопление в почве азота, его формы нитратный, нитритный и аммиачный увеличились в 58...68 раз [3].

Внедрение циклического орошения способствовало улучшению структурного и агрохимического состояния почвы. Снизилась концентрация разных форм азота в почве, являющихся основными загрязняющими веществами: общего азота уменьшилось на 2,40 мг, нитратного - на 1,10 и аммиачного - на 0,25 мг, обменного калия - на 7,35 мг/100 г почвы по сравнению с участками регулярного орошения. Биологическая активность составила в среднем 78%.

Без орошения активность разложения льняного полотна почвенными микроорганизмами на вариантах 3 и 4 составила в среднем 56%, на варианте 5 на 13% и варианте 6 – на 17% выше. Общее микробное число в почве в конце вегетации составило на вариантах 3 и 4 в среднем  $1,08 \cdot 10^6$  кл/г, на вариантах 5 и 6 –  $1,25 \cdot 10^6$  кл/г.

После прекращения орошения сточными водами прошло более 20 лет, но содержание в почве питательных веществ соответствовало среднему уровню, за счет чего урожайность трав была выше средней по области (рисунок 3).

Вследствие улучшения условий произрастания многолетние травы сформировали полноценных три укоса во все годы исследований.

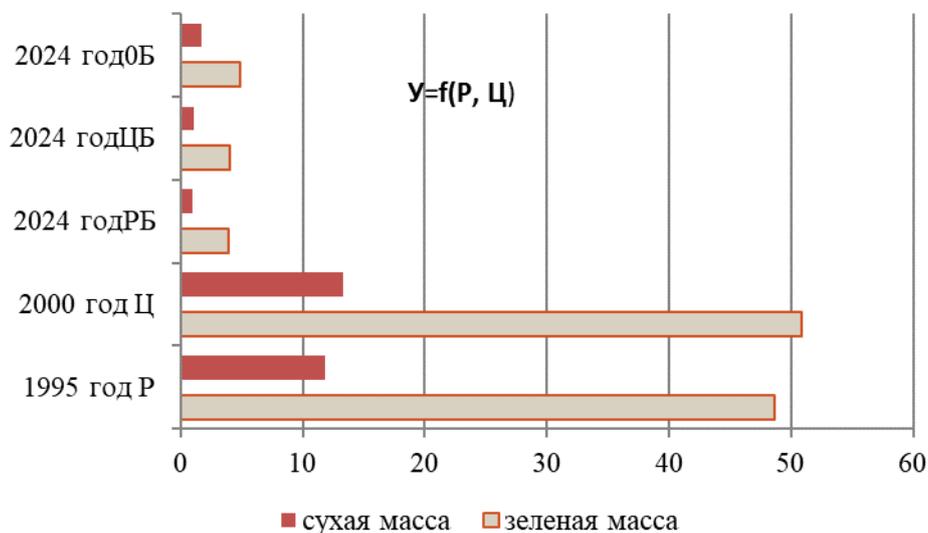


Рисунок 4 – Средняя урожайность трав за вегетацию, т/га  
 Figure 4 – Average yield of grasses during the growing season, t/ha

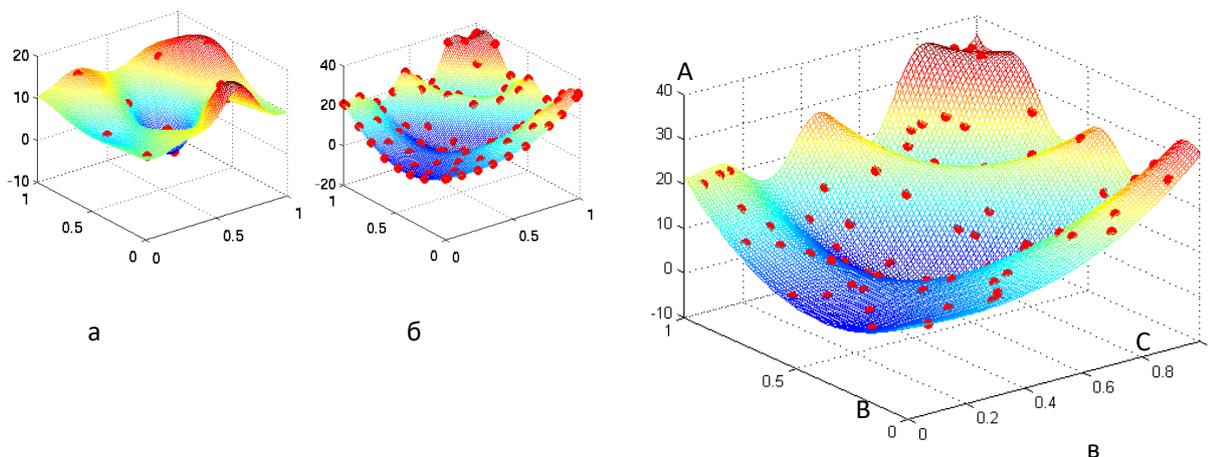
Конечно, из-за восполнения дефицита питания и влаги в почве продуктивность трав была максимальной в годы орошения сточными водами – более 48 и 52 т зеленой массы на га соответственно.

Средняя урожайность зеленой массы многолетних трав по Рязанской области без орошения составляет до 2,5 т/га. Несмотря на прекращение поливов, урожайность травосмеси была выше средней по области на варианте 3 на 55%, варианте 4 – на 56% и вариантах 5 и 6 – почти в два раза (рисунок 4) при НСР<sub>05</sub>=1,22; 1,37; 1,05; 1,15 и 2,48, 2,42 т/га соответственно вариантам. Разница в урожайности трав между вариантами 5 и 6 была несущественной.

И еще одно наблюдение: из срока пользования трав в три года максимальные показатели урожайности на вариантах 5 и 6 наблюдались во 2-ой год жизни; а по укосам – в первый укос. Так, доля первого укоса на варианте 6 составила 48%, второго – 36% и третьего – 16%. Лучше на орошение сочными водами реагировали растения *Festuca pratensis*, высота которых в среднем составляла 110 см.

Нами проведено математическое моделирование с целью выявления основных факторов (влажность, температура почвы, содержание в ней азота, рН, гумус и др.), воздействующих на урожайность. В результате отобраны из всего многообразия два показателя – содержание азота (В) и влажность почвы (С). На рисунке 4 показана зависимость урожайности трав (А) от данных факторов на варианте 5 в обработке на программе Statistika 10 адаптивной DOE, что

позволило добавить точки, минимизируя неопределённость модели аппроксимации гауссовских процессов (GP).



а – внесение исходных данных и построение матрицы,  
 б – построение аппроксимации на основе исходной выборки,  
 в – поверхность отклика на выходе

Рисунок 5 – Последовательное построение графика продуктивность трав в зависимости от содержания азот и влажности почвы по трем укосам  
 Figure 5 – Sequential plotting of the grass productivity graph depending on the nitrogen content and soil moisture for three cuts

На рисунке 5 прослеживается изменение урожайности по укосам: максимальное значение – в первый укос 2,3 т/га (синий цвет), чуть меньше – во второй 2,1 т/га (переход от синего к желтому цвету) и минимальное – в третий 0,6 т/га (красный цвет). В сумме травосмесь за 3 года исследований дала около 20 т/га, на варианте 6 – на 7% больше.

Статистическая обработка данных урожайности многолетних трав в условиях орошения сточными водами (варианты 1 и 2) и без орошения (варианты 3, 4 и 5) по коэффициенту Стьюдента.

Таблица 2 - Проверка достоверности различий по коэффициенту Стьюдента

Вариант	Стандартное отклонение	Повторн.	Разность между средними	Стандартное отклонение различий (Sx <sub>1</sub> -x <sub>2</sub> )	Коэфф. Стьюдент та t	Уровень значимости р
1	3	4	5	6	7	8
1	1,522	5	0,0	0,000	0,0	1,000
2	2,006	5	-11,3	2,897	-8,7	0,001
4	2,006	5				
6	2,004	5	1,2	1,889	0,9	0,001
5	1,364	5	1,1	3,096	0,8	0,471
1	1,522	5				

3	1,766	5	0,7	2,372	0,7	0,545
4	1,364	5	-10,2	1,812	-12,6	0,000
2	2,006	5				
3	1,522	5	11,3	2,897	8,7	0,001
6	1,995	5	0,9	1,990	0,8	0,568
2	2,006	5				
3	2,006	5	0,0	0,000	0,0	1,000
4	2,006	5				
6	1,987	5	0,9	0,945	0,9	0,994
4	1,766	5	12,0	0,949	28,3	0,000
1	1,522	5				
5	1,766	5				
5	1,522	5	-0,7	2,372	-0,7	0,545

### Заключение

Сравнительная оценка продуктивности многолетних трав за многолетний период показала высокий эффект от орошения сточными водами свиного комплекса – более 48 т/га при регулярных поливах и 52 т/га – при внедрении циклического орошения. Однако и после прекращения поливов, при возделывании сельскохозяйственных культур на ранее орошаемых полях при внесении ЭМ урожайность была выше по сравнению со средней по Рязанской области на 100%.

Наибольшее значение урожайности трав установлено во второй год исследований на варианте б, к примеру, по сравнению с первым и третьим на 22 и 48% соответственно. Так, доля первого укоса на варианте б составила 48%, второго – 36% и третьего – 16%.

Лучше на орошение сточными водами реагировали растения *Festuca pratensis*. Более высокие значения продуктивности трав на варианте б. Проведение дальнейших исследований позволит разработать рекомендации по повышению продуктивности трав в зоне экологического напряжения из-за влияния на окружающую среду свиного комплекса и пруда-накопителя сточных вод.

### Библиографический список

1. Газизов, Р.Р. Воздействие осадков сточных вод на урожайность и качество зерна яровой пшеницы /Р.Р. Газизов, А.Х. Яппаров, Ш.А. Алиев, М.М. Ильясов, Л.М.Х. Биккинина, И.М. Суханова, Д.В. Ежкова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана, 2015. - №223. – С. 32 – 35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-osadkov-stochnyh-vod-na-urozhaynost-i-kachestvo-zerna-yarovoy-pshenitsy>
2. Завалин А.А. Азот в агросистеме на черноземных почвах / А.А.Завалин, О.А. Соколов, Н.Я. Шмырева. – М.: РАН, 2018 – 180 с. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1742265654&tld=ru>
3. Захарова, О.А. Микробиологическая оценка грунтовых вод в зоне влияния свиного комплекса и прогнозирование их самоочищения/ О.А. Захарова,

О.В. Евдокимова, Бакаева Н.П. // Вестник РГАУ, 2023 – То 15. - №3. – С. 26-37. URL: [https://vestnik.rgatu.ru/archive/2023\\_4.pdf](https://vestnik.rgatu.ru/archive/2023_4.pdf)

4. Карашаева, А.С. Влияние удобрений и средств химизации на плодородие почвы и питание растений / А.С. Карашаева, А. А. Завалин, Г.А. Ивашенков, Е.Н. Старостина // Агроэкоинженерия, 2023. - № 4(117). – С. 4-14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59998390>

5. Черкасов, О.В. Динамика разных форм азота в почве в зоне влияния свиного комплекса и пруда-накопителя / О.В. Черкасов, О.А. Захарова // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2024. - №1(3). – С.32-42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65076534>

### References

1. *Gazizov, R.R. Vozdejstvie osadkov stochnyh vod na urozhajnost' i kachestvo zerna yarovoj pshenicy /R.R. Gazizov, A.H. Yapparov, Sh.A. Aliev, M.M. Il'yasov, L.M.H. Bikkinina, I.M. Suhanova, D.V. Ezhkova // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.E. Baumana, 2015. - №223. – S. 32 – 35. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-osadkov-stochnyh-vod-na-urozhajnost-i-kachestvo-zerna-yarovoy-pshenitsy>*

2. *Zavalin A.A. Azot v agrosisteme na chernozemnyh pochvah / A.A.Zavalin, O.A. Sokolov, N.Ya. Shmyreva. – M.: RAN, 2018 – 180 s. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1742265654&tld=ru>*

3. *Zaharova, O.A. Mikrobiologicheskaya ocenka gruntovyh vod v zone vliyaniya svinokompleksa i prognozirovaniye ih samoochishcheniya/ O.A. Zaharova, O.V. Evdokimova, Bakaeva N.P. // Vestnik RGAU, 2023 – То 15. - №3. – S. 26-37. URL: [https://vestnik.rgatu.ru/archive/2023\\_4.pdf](https://vestnik.rgatu.ru/archive/2023_4.pdf)*

4. *Karashaeva, A.S. Vliyanie udobrenij i sredstv himizacii na plodorodie pochvy i pitaniye rastenij / A.S. Karashaeva, A. A. Zavalin, G.A. Ivashenkov, E.N. Starostina // Agroekoinzheneriya, 2023. - № 4(117). – S. 4-14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59998390>*

5. *Cherkasov, O.V. Dinamika raznyh form azota v pochve v zone vliyaniya svinokompleksa i pruda-nakopitelya / O.V. Cherkasov, O.A. Zaharova // Setevoy nauchnyj zhurnal RGATU, 2024. - №1(3). – S.32-42. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65076534>*