

СТАТЬЯ

УДК 502.5:631.8:631.45

DOI 10.17513/use.38401

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УДОБРЕНИЙ, УСИЛИТЕЛЕЙ РОСТА И БИОДЕСТРУКТОРОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ В НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ**Тавадзе Б.Д., Михай В.С., Масленников Д.А.***ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Нижневартровский филиал, Нижневартовск, e-mail: babo.tavadze@yandex.ru*

Загрязнение почвы нефтью в совокупности с природными катаклизмами может стать долгосрочным риском для окружающей природной среды. Особенность нефти как загрязнителя заключается в следующем: нефть – высокомолекулярное соединение, в ней присутствуют фракции разной температуры кипения, что усложняет прохождение естественных самовозобновительных процессов и снижает самоочищающиеся способности почвы. Цель данного исследования заключалась в выявлении комплексного и индивидуального влияния удобрений, усилителей роста и биодеструкторов на рост и развитие растений в нефтезагрязненных почвах. Для исследования авторы использовали почву, нефть, биодеструктор Экойл, сидерат овес (*Avéna*), микоризные грибы Profi, суспензию хлореллы (биостимулятор), комплексное удобрение и специальные контейнеры. Для определения процентного содержания нефти использовали «Концентратомер КН-3». Наблюдения проводили в лабораторных условиях. Для исследования авторы искусственно загрязнили почву и выселили семена овса в следующей последовательности: нефть + биодеструктор, нефть + биодеструктор + грибы, нефть + удобрение, нефть + грибы + удобрение и т.д. Исследования доказали преимущество в сочетании нефть + биодеструктор. Хотя нефть + биодеструктор + удобрение, нефть + биодеструктор + хлорелла, нефть + биодеструктор + грибы тоже имеют неплохие результаты. Показатели проб без применения биодеструкторов выше, чем проба почва + нефть. Поэтому авторы считают, что в случае небольших разливов нефти можно будет применять только удобрения и усилители роста растений, что будет экономически выгодно для предприятий. Результаты исследования могут быть применены нефтяными компаниями на время проведения рекультивационных мероприятий на территориях, загрязненных нефтью.

Ключевые слова: биодеструкторы, удобрения, биостимуляторы, почва, нефть, биоремедиация, фитомелиорация**ASSESSMENT OF THE EFFECT OF FERTILIZERS, GROWTH ENHANCERS AND BIODESTRUCTORS ON PLANT GROWTH AND DEVELOPMENT IN OIL-CONTAMINATED SOILS****Tavadze B.D., Mikhay V.S., Maslennikov D.A.***Industrial University of Tyumen, Nizhnevartovsk branch, Nizhnevartovsk, e-mail: babo.tavadze@yandex.ru*

Oil pollution of the soil combined with natural disasters can become a long-term risk to the environment. The peculiarity of oil as a pollutant is as follows: oil is a high-molecular compound, it contains fractions of different boiling points, which complicates the passage of natural self-renewing processes and reduces the self-cleaning abilities of the soil. The purpose of this study was to identify the complex and individual effects of fertilizers, growth enhancers, and biodestructors on plant growth and development in oil-contaminated soils. For the study, the authors used soil, oil, biodestructor oil, oat siderate (*Avéna*), growth enhancer – mycorrhizal fungi “Profi”, chlorella suspension (biostimulator), complex fertilizer and special containers. A “KH-3 concentrator” was used to determine the percentage of oil. The observations were carried out in laboratory conditions. For the study, the authors artificially polluted the soil and sowed. Studies have proven the advantage of combining oil + biodestructor. Although oil + biodestructor + fertilizer, oil + biodestructor + chlorella, oil + biodestructor + mushrooms also have good results. The values of samples without the use of biodestructors are also higher than the soil + oil sample. Therefore, the authors believe that in the case of small oil spills, it will be possible to use only fertilizers and plant growth enhancers, which will be economically beneficial for manufacturers. The results of the study can be applied by oil companies during reclamation activities in oil-contaminated areas.

Keywords: biodestructors, fertilizers, biostimulants, soil, oil, bioremediation, phytomelioration**Введение**

Нефть, как и все загрязнители, негативно влияет на почвенную среду. Во-первых, нефть – высокомолекулярное соединение, в состав которого входят смолисто-асфальтеновые вещества, которые очень долго

не поддаются разложению [1]. Во-вторых, при разливе нефти, из-за присутствия в ней фракций разной температуры кипения, она может достигнуть грунтовых вод, тогда происходит двойное загрязнение и почвенного профиля, и подземных вод. В-третьих,

нефть как токсичное вещество уничтожает все живое при попадании в верхние слои литосферы, что препятствует самовозобновительным процессам, то есть снижает самоочищающуюся способность почвы [1–3]. В-четвертых, при разливе нефти почва затапливается, при этом нарушаются обменные процессы, газообмен, тепловой обмен, нарушается структура почвы и т.д. Поэтому с самого начала добычи, эксплуатации, реализации данного ресурса применяются разные методы рекультивации загрязняющих нефтью земель [3]. Одним из методов рекультивации загрязненных земель является биоремедиация. Биоремедиация – лечение жизнью (*bios* – жизнь, *remediatio* – лечение) [3].

Биодеструкторы или, можно сказать, редуценты – сообщества микроорганизмов, которые разрушают мертвое органическое вещество. Такие микроорганизмы и грибы чаще присутствуют в почвенной среде естественным путем. Но в настоящее время их культивируют искусственно. Выведенные таким путем микроорганизмы (биодеструкторы) обычно используют по целевому назначению. Одних используют для рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, других для быстрого разложения мертвой растительной ткани, для разложения отходов бытового и промышленного происхождения и т.д. Биодеструкторы не только перерабатывают органические вещества, присутствующие в загрязнителях, но и обогащают почву собственными продуктами диссимилиации (жизнедеятельности) [3–5]. Нефтеоокисляющие микроорганизмы (биодеструкторы) распространены в природе очень широко и могут усваивать разнообразные органические соединения: углеводы, белки, жиры и т.д. [6].

В настоящее время существует множество микроорганизмов, которые культивируются искусственным путем и применяются не только для почвенной среды, но и для водной среды.

Удобрения чаще всего применяют в сельском хозяйстве, а также при рекультивации земель. С помощью удобрений происходит увеличение количества макро- (N, P, K) и микроэлементов (Fe, Mn, Zn, Cu) в почве, что необходимо для роста и развития растений. Удобрения обычно делят на три группы: органические, минеральные и бактериальные [7; 8, с. 69–77; 9]. Органические удобрения имеют живое происхождение (навоз, гуано, перегной, торф и т.д.).

Минеральные удобрения имеют химическое происхождение и бывают двух типов: 1) простые, которые содержат только один макроэлемент (азот, фосфор, калий) и важные микроэлементы (медь, бор, марганец и др.) [9–11]; 2) комплексные удобрения – это двойные по составу, например азотно-фосфорные, азотно-калийные или тройные азотно-фосфорно-калийные.

Биостимуляторы, или стимуляторы роста растений, тоже имеют органическое происхождение. Их можно условно разделить на две группы: биостимуляторы, в состав которых входят природные соединения (гуминовые и фульвовые кислоты, аминокислоты, экстракты морских водорослей, пептиды) и микроорганизмы (бактерии, грибки), которые взаимодействуют с растениями [12–14]. Основная функция биодеструкторов – это активизация их внутренних механизмов и ускорение процесса метаболизма.

В связи с тем, что после загрязнения нефтью, из-за увеличения количества аборигенных микроорганизмов, участвующих в самоочищающем процессе почвенной среды, уменьшается количество присутствующих в ней макро- и микроэлементов [4]. Поэтому необходимо при рекультивации обязательно вносить минеральные удобрения и усилители роста растений, чтобы восстановительные процессы шли быстро и растения, применяемые для дальнейшего этапа рекультивации, этапа фитомелиорации развивались в комфортных условиях.

Научная новизна работы заключается в том, что авторы определили роль удобрений, усилителей роста и микроорганизмов, совместно и по отдельности, на рост и развитие растений на загрязненных нефтью почвах в лабораторных условиях.

Цель исследования – выявление комплексного и индивидуального влияния удобрений, усилителей роста и биодеструкторов на рост, развитие растений в нефтезагрязненных почвах.

Задачи:

1. Изучение теоретического материала и научной литературы. Определение методов исследования.
2. Изучить токсическое воздействие нефтезагрязненной почвы на рост и развитие растений.
3. Оценить антистрессовый эффект биопрепаратов, удобрений и усилителей роста для растений на нефтезагрязненных почвах в лабораторных условиях.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследования авторы использовали почву, биодеструктор Экойл, сидерат овес (*Аvéна*), усилители роста – микоризные грибы Profi, суспензию хлореллы (биостимулятор), удобрение смесовое комплексное для травянистых растений, нефть и пластмассовые контейнеры. Исследования проводили в лаборатории химии и экологии филиала Тюменского индустриального университета в г. Нижневартовске, где были созданы условия для проведения опыта. Температура среды варьировалась в пределах 19–22°C, влажность 40–60%, что соответствует стандарту микроклимата производственной среды в зимний период. Для определения кислотности почвенной вытяжки авторы использовали SmartSensorPH 818.

Процентное содержание нефти в анализируемых пробах определяли методом ИК-спектрометрии на анализаторе «Концентрамер КН-3». Результат определения содержания нефтепродуктов в почве $X_{изм}$ (мг/кг) рассчитывали по формуле

$$X_{изм} = \frac{C_{изм} \cdot V \cdot V_2 \cdot V_{элюат}}{M \cdot V_1 \cdot V_{ал}},$$

где $C_{изм}$ – показания прибора, мг/дм³;

M – масса навески образца для анализа, мг;

V – суммарный объем экстракта, см³;

V_1 – объем экстракта, взятый для разбавления, см³;

V_2 – объем экстракта, полученный после разбавления, см³;

$V_{ал}$ – объем аликвоты экстракта, введенной в хроматографическую колонку, см³;

$V_{элюат}$ – объем элюата, полученного после пропускания экстракта через колонку, см³.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования авторы проводили в несколько этапов. На первом этапе, по истечении двух дней, почву искусственно насытили нефтью. Через три дня в искусственно загрязненную нефтью почву внесли удобрения, микроорганизмы и стимуляторы роста. Через две недели авторы выселили сидерат (овес) и дальше вели наблюдения. В первую очередь определили химизм почвы, результаты в табл. 1. Всходы появились через три дня (рис. 1). Количество всходов разнилось, например, самое большое количество всходов наблюдали в пробах, где присутствовали нефть

+ биодеструктор, самое меньшее в пробе нефть + почва, результаты представлены в табл. 3.

До наступления фазы третьего листа авторы брали по 5 растений и, используя метод морфометрии [15], измеряли вегетативные органы (корень, листья, стебель) растений (рис. 2).

После наступления фазы кушения опять повторили данные исследования, результаты представлены в табл. 2.

В начальных этапах растения развивались хорошо до фазы третьего листа (рис. 3).

После фазы третьего листа растения уже развивались по-разному. Почти каждый день в пробах растения погибали и до фазы кушения их количество в некоторых пробах сократилось почти на половину (табл. 3). Единственная проба, где почти не пострадали растения, – проба нефть + биодеструктор (табл. 3).



Рис. 1. Первые всходы растений (фото авторов)



Рис. 2. Вегетативные органы овса в фазе третьего листа (фото авторов)



Рис. 3. Растения в фазе третьего листа
(фото авторов)

Таблица 1

Показатели кислотности исследуемой почвы

№ пробы	Содержание pH в загрязненной пробе до высевания растений	Содержание pH после роста и развития растений
1. Нефть + биодеструктор	6,2	6,66
2. Нефть + удобрение	6,0	6,65
3. Нефть + хлорелла	6,0	6,71
4. Нефть + грибы	6,0	6,70
5. Нефть + биодеструктор + грибы	6,0	6,66
6. Нефть + биодеструктор + хлорелла	6,0	6,46
7. Нефть + биодеструктор + удобрение	6,0	6,8
8. Нефть + грибы + удобрение	6,0	6,7
9. Нефть + хлорелла + удобрение	6,0	6,46
10. Нефть + биодеструктор + грибы + удобрение	6,0	6,45
11. Нефть + биодеструктор + хлорелла + удобрение	6,0	6,8
12. Нефть + почва	6,0	5,8

Источник: составлено авторами на основе полученных в ходе исследования данных.

Таблица 2

Средние показатели размера вегетативных органов при росте и развитии растений

№ пробы	Средние показатели вегетативных органов овса до появления третьего листа			Средние показатели вегетативных органов овса в фазе кущения		
	Корень (см)	Стебель (см)	Лист (см)	Корень (см)	Стебель (см)	Лист (см)
1. Нефть + биодеструктор	8,3	18,4	5,5	14,4	19,5	8,7
2. Нефть + удобрение	5,4	16,3	4,5	12,3	16,7	6,3
3. Нефть + хлорелла	4,3	15,9	3,5	12,1	16,5	6,6
4. Нефть + грибы	5,5	16,5	3,4	12,0	16,9	6,7
5. Нефть + биодеструктор + грибы	7,4	17,6	5,9	12,8	17,8	8,8
6. Нефть + биодеструктор + хлорелла	6,3	16,6	5,7	12,6	17,2	7,9
7. Нефть + биодеструктор + удобрение	7,6	17,2	5,3	12,8	17,7	7,8
8. Нефть + грибы + удобрение	7,9	18,2	5,6	13,5	19,0	6,5
9. Нефть + хлорелла + удобрение	7,7	18,4	5,4	12,9	18,6	6,9
10. Нефть + биодеструктор + грибы + удобрение	3,9	16,2	3,2	12,3	16,7	6,0
11. Нефть + биодеструктор + хлорелла + удобрение	3,8	15,9	3,3	12,2	16,4	6,2
12. Нефть + почва	3,2	5,6	2,5	-	-	-

Источник: составлено авторами на основе полученных в ходе исследования данных.

Таблица 3

Количество всходов и оставшихся в живых растений
после роста и развития

№ пробы	Количество первых всходов растений	Количество растений в фазе третьего листа	Количество растений в фазе кущения	Количество оставшихся в живых растений
1. Нефть + биодеструктор	39	38	32	28
2. Нефть + удобрение	30	18	18	12
3. Нефть + хлорелла	30	28	23	12
4. Нефть + грибы	36	28	22	13
5. Нефть + биодеструктор + грибы	36	33	20	14
6. Нефть + биодеструктор + хлорелла	32	30	18	14
7. Нефть + биодеструктор + удобрение	33	30	18	12
8. Нефть + грибы + удобрение	36	23	15	5
9. Нефть + хлорелла + удобрение	33	25	17	7
10. Нефть + биодеструктор + грибы + удобрение	36	16	12	10
11. Нефть + биодеструктор + хлорелла + удобрение	35	23	18	10
12. Нефть + почва	23	10	-	-

Источник: составлено авторами на основе полученных в ходе исследования данных.

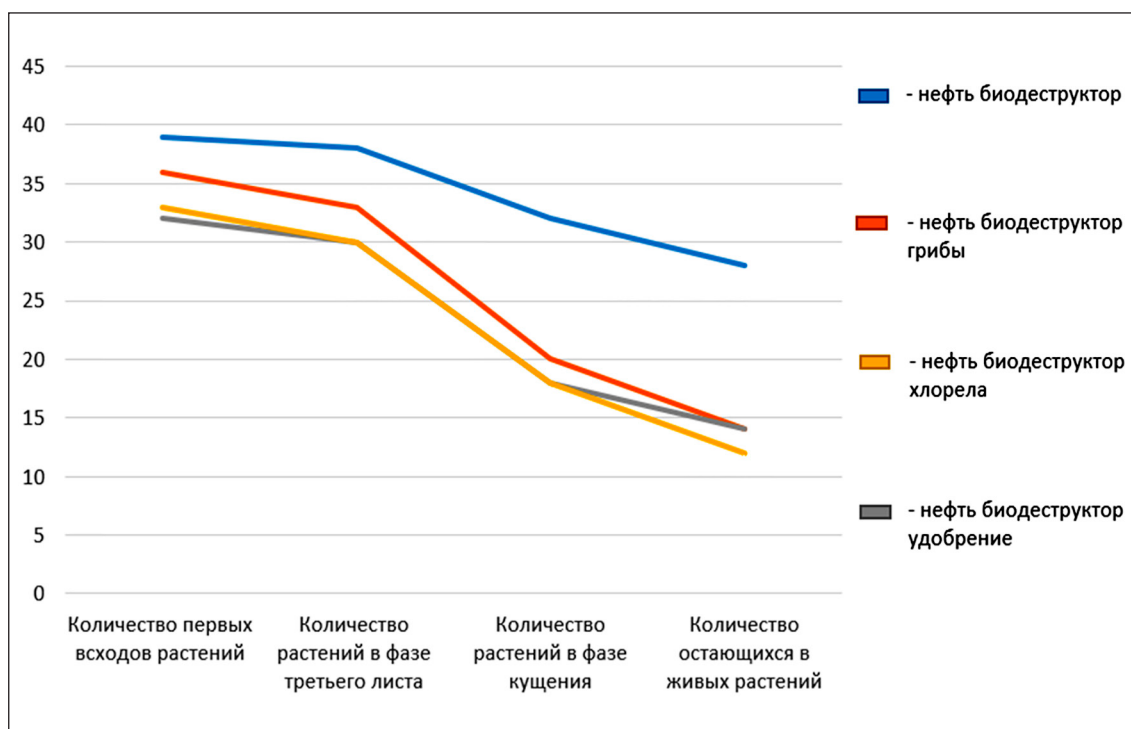


Рис. 4. Сравнительный анализ проб: нефть + биодеструктор, нефть + биодеструктор + грибы, нефть + биодеструкторы + хлорелла, нефть + биодеструктор + удобрение
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

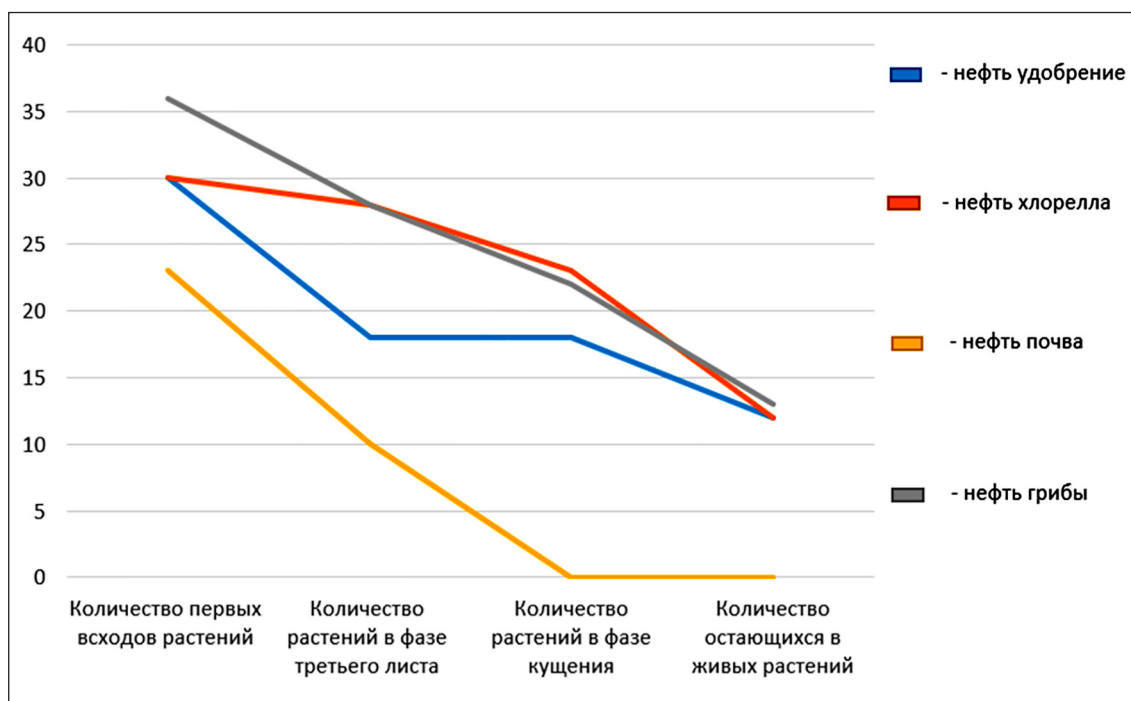


Рис. 5. Сравнительный анализ проб:
нефть + почва, нефть + грибы, нефть + хлорелла, нефть + удобрение
Источник: составлено авторами по результатам данного исследования

Заключение

Как показали исследования, для рекультивации земель, загрязненных нефтью, самый лучший показатель имеет проба нефть + биодеструктор. По результатам исследования также получены неплохие показатели по пробам, где вместе с биодеструкторами одновременно участвовали усилители роста растений и удобрение. В пробах без присутствия биодеструктора: нефть + грибы, нефть + хлорелла, нефть + удобрение, по сравнению с пробой нефть + почва, результаты также оказались выше, лучше и требуют внимания для дальнейшего исследования (рис. 4, 5). Последний показатель имеет особое значение в связи большими затратами в приобретении и в применении биодеструкторов. Авторы считают, что в случае небольших разливов нефти можно будет применять только удобрения и усилители роста растений, что будет экономически выгодно для предприятий. Поэтому в этом направлении необходимо проводить более серьезные исследования, но уже в полевых условиях. Результаты исследования могут быть применены нефтяными компаниями на время проведения рекультивационных мероприятий на территориях загрязненных нефтью.

Список литературы

1. Колесникова Д.С., Петухова В.С. Воздействие нефти и нефтепродуктов на свойства почв и растений // Вестник науки. 2024. № 12 (81). Т. 3. С. 2112–2116. URL: <https://www.vestnik-nauki.rf/article/19999> (дата обращения: 05.05.2025).
2. Трофимов С.Я., Ковалева Е.И., Аветов Н.А., Толпешта И.И. Исследования нефтезагрязненных почв и перспективные подходы к их ремедиации // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2023. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-neftezagryaznennyh-pochv-i-perspektivnye-podhody-k-ih-remediatsii> (дата обращения: 05.05.2025).
3. Руденко Е.Ю. Исследование влияния нефти на биологическую активность черноземной почвы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. № 10 (4). С. 719–727. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-719-727 (дата обращения: 04.05.2025).
4. Тавадзе Б.Д. Влияние биодеструкторов в процессе детоксикации поллютантов на загрязненных почвах // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2023. № 4. С. 29–35. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=13527> (дата обращения: 05.05.2025).
5. Тавадзе Б.Д., Белокурова Е.В. Применение биоремедиации в лабораторных условиях для очистки почв, загрязненных нефтепродуктами, и ее экономическая эффективность // Успехи современного естествознания. 2024. № 5. С. 84–89. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=38270> (дата обращения: 03.05.2025).
6. Tavadze B.D., Valieva A.F. Comparative analysis of biodestructors used in bioremediation at land reclamation contaminated with. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1010 (1). № 012008. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/360053041_Comparative_analysis_of_biodestructors_used_in_bioremediation_at_land_reclamation_contaminated_with (дата обращения: 03.05.2025). DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012008.

7. Быкова М.В., Пашкевич М.А. Оценка нефтезагрязненности почв производственных объектов различных почвенно-климатических зон Российской Федерации // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. Вып. 1. С. 46–59. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-neftezagryaznennosti-pochv-proizvodstvennyh-obektov-razlichnyh-pochvenno-klimaticheskikh-zon-rossiyskoy-federatsii> (дата обращения: 05.05.2025).
8. Самсонова Н.Е. Основы минерального питания растений и технологий применения удобрений: учебное пособие. Смоленск: ФГБОУ ВО «Смоленская ГСХА», 2021. 256 с.
9. Осипов А.И., Якушев В.П., Якушев В.В. История научных исследований в агрохимии и перспективы применения удобрений // Агрохимический вестник. 2020. № 2. С. 73–80. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/istoriya-nauchnyh-issledovaniy-v-agrohimii-i-perspektivy-primeneniya-udobreniy-v-rossii> (дата обращения: 03.05.2025).
10. Долгополова Н.В., Малышева Е.В., Нагорных А.В., Воронина А.А., Ковынев Б.М. Об агрофизических свойствах почвенного слоя // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 7. С. 18–25. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ob-agrofizicheskikh-svoystvah-pochvennogo-sloya> (дата обращения: 05.05.2025).
11. Носова М.В., Середина В.П., Стобунник С.А. Изменения почв под влиянием загрязнения сырой нефтью и минерализованными жидкостями в условиях Среднего Приобья Западной Сибири // Трансформация экосистем. 2023. № 2 (20). С. 64–73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-pochv-pod-vliyaniem-zagryazneniya-syroy-neftyu-i-mineralizovannymi-zhidkostyami-v-usloviyah-srednego-priobya-zapadnoy> (дата обращения: 03.05.2025).
12. Макаров М.Р., Макаров В.М. Влияние минеральных удобрений на содержание азота, фосфора и калия в растениях подсолнечника // Современные научные исследования и инновации. 2025. № 2. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2025/02/103071> (дата обращения: 03.05.2025).
13. Дмитриева И.Г., Сидак П.В., Нитименко Д.О., Нитименко А.А. Изучение влияния новых регуляторов роста на продуктивность озимой пшеницы в условиях Краснодарского края // Земледелие. 2025. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-vliyaniya-novyh-regulyatorov-rosta-na-produktivnost-ozimoy-pshenitsy-v-usloviyah-krasnodarskogo-kraja> (дата обращения: 03.05.2025).
14. Закирова Р.П., Рахимова Ш.Х., Халикова М.Б., Маматкулова Н.М., Калацкая Ж.Н., Ламан Н.А., Мусаев Х.А., Кутлиева У.Г. Влияние регуляторов роста на основе полипреолов на биохимические показатели проростков пшеницы (*triticum aestivum* L.) // Universum: химия и биология: электронный научный журнал. 2024. № 1 (115). URL: <https://universum.com/ru/nature/archive/item/16417> (дата обращения: 04.05.2025).
15. Баранов С.Г. Апробация метода геометрической морфометрии на примере листовых пластин пшеницы // Успехи современного естествознания. 2023. № 6. С. 14–20. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=38047> (дата обращения: 03.05.2025).