

ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА ПОСЕВНОЙ МАТЕРИАЛ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL PHYTOXICITY OF OIL-BEARING CROP SEEDS

Ключевые слова: биоиндикация, снежный покров, талые воды, фитотоксичность, грибная обсеменённость, микромицеты, антропогенная нагрузка, соя, подсолнечник.

В условиях урбанизированных территорий снежный покров аккумулирует атмосферные выпадения и служит интегральным индикатором загрязнения. В последние годы всё большее внимание уделяется использованию биологических методов оценки качества среды, в частности биоиндикации. Цель работы – оценка биологического эффекта талой воды из зон с различной антропогенной нагрузкой г. Усть-Каменогорска по показателям фитотоксичности и грибной обсеменённости. Объектами исследования служили семена масличных культур (соя, подсолнечник) и пробы талой воды, полученные из снежного покрова, отобранного на территории г. Усть-Каменогорска и его пригородной зоны. Отбор проб проводили в 4 зонах: районы УМЗ, Прохладная, территория лаборатории (условный центр) и п. Солнечное; контроль – дистиллированная вода. Фитотоксичность оценивали на семенах сои и подсолнечника по всхожести и длине корня. Грибную обсеменённость определяли методом капельного посева на средах Сабуро и Чапека-Докса. Установлено, что всхожесть подсолнечника в зоне УМЗ составила 10%, в зоне Прохладная – 30%, в п. Солнечное – 40%, в условном центре – 50% (контроль – 100%). Всхожесть сои варьировала от 70 до 100%. Максимальное угнетение роста корня (4 см) отмечено у подсолнечника в пробе из п. Солнечное. Во всех пробах зафиксирован рост микромицетов (3-5 морфотипов) с максимальным разнообразием в зонах повышенной антропогенной нагрузки. Наиболее выраженное фитотоксическое и микробиологическое воздействие установлено в районе УМЗ. Подсолнечник проявил более высокую чувствительность к воздействию талой воды по сравнению с соей, что позволяет рекомендовать его в качестве эффективной тест-культуры. Комплексное применение фитотестирования и микробиологического анализа является информативным методом экспресс-оценки экологиче-

ского состояния снежного покрова в условиях промышленных городов.

Keywords: bioindication, snow cover, melt water, phytotoxicity, fungal contamination, micromycetes, anthropogenic load, soybeans, sunflower.

In urban areas, snow cover accumulates atmospheric precipitation and serves as an integral indicator of pollution. In recent years, increasing attention has been paid to the use of biological methods for assessing environmental quality, in particular bioindication. The research goal was to evaluate the biological effect of meltwater from zones with varying anthropogenic loads in the City of Ust-Kamenogorsk based on phytotoxicity and fungal contamination. The research targets were oil-bearing crop seeds (soybean and sunflower seeds) and meltwater samples obtained from snow cover collected in the City of Ust-Kamenogorsk and its suburbs. The samples were taken in four zones: the area UMZ, Prokhladnaya, the laboratory area (the conventional center), and the village of Solnechnoye; distilled water served as the control. Phytotoxicity was assessed on soybean and sunflower seeds based on germination and root length. Fungal contamination was determined using the drop inoculation method on Sabouraud Dextrose Agar and Czapek-Dox agar. Sunflower germination was found to be 10% in the UMZ area, 30% in the Prokhladnaya area, 40% in the village of Solnechnoye, and 50% in the conditional center (control – 100%). Soybean germination ranged from 70 to 100%. Maximum root growth inhibition (4 cm) was observed in sunflower in the sample from the village of Solnechnoye. Micromycete growth (3–5 morphotypes) was recorded in all samples, with maximum diversity in areas of increased anthropogenic load. The most pronounced phytotoxic and microbiological impact was observed in the UMZ area. Sunflower demonstrated higher sensitivity to the effects of melt water compared to soybean which allowed recommending it as an effective test crop. The integrated use of phytotesting and microbiological analysis is an informative method for rapid assessment of the ecological state of snow cover in industrial cities.

Сабитов Оразалы Оразулы, мл. науч. сотр., магистрант, НАО «Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, e-mail: orazali2003@gmail.com.

Sabitov Orazaly Oraluly, Junior Researcher, master's degree student, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: orazali2003@gmail.com.

Гладышев Алексей Олегович, мл. науч. сотр., магистрант, НАО «Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова», г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, e-mail: aleksei.glagyshev.0300@gmail.com.

Жаркова Сталина Владимировна, д.с.-х.н., доцент, профессор кафедры, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: stalina_zharkova@mail.ru.

Gladyshev Aleksey Olegovich, Junior Researcher, master's degree student, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan, e-mail: aleksei.glagyshev.0300@gmail.com.

Zharkova Stalina Vladimirovna, Dr. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: stalina_zharkova@mail.ru.

Введение

В условиях индустриально развитых городов атмосферный воздух является одним из основных путей распространения загрязняющих веществ антропогенного происхождения. Промышленные выбросы, транспорт, процессы сжигания топлива и вторичное пылеобразование формируют аэрозольную нагрузку, частицы которой длительное время находятся в атмосфере и затем осаждаются на подстилающую поверхность. Особую роль в аккумуляции таких загрязнителей в холодный период года играет снежный покров [1]. Снег выступает в качестве эффективного природного сорбента, накапливая твердые частицы, растворённые вещества и микроорганизмы, поступающие из атмосферы в процессе сухой и влажной депозиции. В отличие от разовых проб воздуха, снежный покров отражает интегральный характер загрязнения за определённый временной период, что делает его удобным объектом для экологических исследований. При таянии снега накопленные вещества переходят в талую воду, которая может оказывать биологическое воздействие на компоненты экосистем, прежде всего на почву и растительность [2].

В последние годы всё большее внимание уделяется использованию биологических методов оценки качества среды, в частности биоиндикации. В отличие от исключительно химического анализа биоиндикация позволяет выявить не только присутствие загрязняющих веществ, но и их суммарный биологический эффект [3]. Одним из распространённых и информативных подходов является фитотестирование с использованием семян высших растений, чувствительных к изменению состава водной среды. Показатели всхожести и роста корневой системы позволяют оценить фитотоксичность исследуемых проб и выявить потенциально неблагоприятное воздействие [4]. Наряду с химическими и фитотоксическими факторами важной характеристикой талой воды является её микробиоло-

гическое состояние. Атмосферные аэрозоли и пылевые частицы являются носителями спор микромицетов, которые могут накапливаться в снежном покрове [5]. Таким образом, комплексное исследование талой воды снежного покрова с использованием биоиндикационных и микробиологических методов представляет собой информативный подход для оценки последствий зимней атмосферной депозиции в условиях урбанизированных территорий.

Цель работы – оценка биологического эффекта талой воды снежного покрова из зон с различной антропогенной нагрузкой города Усть-Каменогорска по показателям фитотоксичности (на семенах сои и подсолнечника) и грибной обсеменённости (посевы микромицетов на средах Сабуро и Чапека-Докса).

Задачи исследования:

- 1) провести отбор проб снежного покрова в зонах с различной антропогенной нагрузкой;
- 2) оценить фитотоксичность талой воды методом биоиндикации на семенах сои и подсолнечника;
- 3) определить грибную обсеменённость талой воды методом капельного посева на питательные среды;
- 4) сопоставить полученные данные и выявить зоны с наибольшим биологическим воздействием.

Условия, материал и методы исследований

Объектами исследования служили семена масличных культур и пробы талой воды, полученные из снежного покрова, отобранного на территории г. Усть-Каменогорска и его пригородной зоны. Выбор точек отбора обусловлен различной степенью антропогенной нагрузки: район Усть-Каменогорского металлургического завода (УМЗ) – зона интенсивного промышленного воздействия; район Прохладная – селитебная зона с влиянием автотранспорта; территория лаборатории (условный центр города) – зона смешанной антропогенной нагрузки; посёлок

Солнечное – условно фоновая зона (пригородная рекреационная территория). В качестве контрольного образца использовали дистиллированную воду (рН 6,8-7,0, удельная электропроводность < 5 мкСм/см). Тест-объектами фитотестирования служили семена сои (*Glycine max* L.) и подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) – стандартные тест-культуры, рекомендованные для биотестирования природных и сточных вод [3, 4].

Отбор проб снежного покрова проводили 27 января в период устойчивого снежного покрова, что обеспечивает репрезентативность накопленных атмосферных выпадений. В каждой точке отбирали поверхностный слой снега толщиной 10 см, исключая придорожные зоны для минимизации локальных выбросов. Объём пробы составлял $1,0 \pm 0,1$ л. Транспортировку проб осуществляли в термоконтейнерах при температуре $-5 \dots -10^\circ\text{C}$ для предотвращения преждевременного таяния и потери летучих компонентов. В лабораторных условиях снег растапливали при комнатной температуре ($20-22^\circ\text{C}$) в закрытых ёмкостях без дополнительного нагрева для исключения термодеструкции загрязнителей. Полученную талую воду фильтровали через бумажный фильтр («синяя лента», диаметр пор 2,5-4,0 мкм) для удаления механических примесей. Во всех пробах измеряли рН потенциометрическим методом (рН-метр «Эксперт-001», точность $\pm 0,05$ ед. рН).

Фитотоксичность талой воды оценивали в соответствии с общепринятыми методиками биотестирования природных и сточных вод с использованием высших растений [6-8]. Семена предварительно калибровали по размеру и массе, отбраковывая повреждённые экземпляры. Поверхностную стерилизацию проводили в 0,1%-ном растворе KMnO_4 в течение 10 мин. с последующим трёхкратным промыванием дистиллированной водой. Проращивание осуществляли в чашках Петри диаметром 90 мм по методу «сэндвича»: семена размещали между двумя слоями фильтровальной бумаги (марка ФС, ГОСТ 12026-76), увлажнённой 5 мл исследуемой воды. Контрольные образцы увлажняли дистиллированной водой. Для каждого варианта использовали по 100 семян каждой культуры в трёх повторностях ($n=3$). Чашки инкубировали в термостате при $28 \pm 1^\circ\text{C}$ (оптимальная температура для прорастания сои и подсолнечника) в

течение 7 сут. Увлажнение поддерживали путём добавления соответствующей жидкости по мере испарения. Регистрируемые показатели (энергия прорастания – на 3-и сут., %, лабораторная всхожесть – на 7-е сут., %, длина корня, мм и длина побега, мм) измеряли у 20 случайно выбранных проростков из каждой повторности с точностью ± 1 мм.

Оценку грибной обсеменённости талой воды проводили методом глубинного и поверхностного посева на плотные питательные среды. Использовали среды Сабуро (Sabouraud Dextrose Agar, рН 5,6) и Чапека-Докса (Czapek-Dox Agar, рН 7,2), стерилизованные автоклавированием при 121°C в течение 20 мин. Для выделения грибной микрофлоры из талой воды дополнительно готовили суспензию осадка, полученного после фильтрации, в стерильной дистиллированной воде с последующим десятикратным разведением до 10^{-2} . Посев проводили капельным методом: на поверхность агара в чашках Петри наносили 10 мкл суспензии каждого разведения в трёх повторностях. Инкубацию осуществляли при $27 \pm 1^\circ\text{C}$ в течение 5-7 сут. Учёт результатов проводили на 2-е, 5-е и 7-е сут. по следующим показателям: наличие роста (балльная оценка от 0 до 3: 0 – отсутствие роста, 1 – единичные колонии (1-5 КОЕ/чашка), 2 – умеренный рост (6-20 КОЕ/чашка), 3 – обильный рост (>20 КОЕ/чашка); количество морфотипов (визуально различимых типов колоний). Идентификацию морфотипов проводили по макроскопическим признакам (цвет, форма, структура колонии, наличие спороншения) с использованием определителей [9-11].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программного пакета Microsoft Excel 2019 и Statistica 12.0. Для каждого показателя вычисляли среднее арифметическое (M) и стандартное отклонение (SD). Достоверность различий между контрольной и опытными группами оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с последующим апостериорным критерием Тьюки (Tukey's HSD test). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Корреляционный анализ между показателями фитотоксичности и грибной обсеменённости проводили с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (ρ). Результаты представлены в виде $M \pm SD$.

Экспериментальная часть

Результаты фитотестирования представлены в таблице. Наиболее благоприятные условия для прорастания семян отмечены в варианте «лаборатория – соя», где всхожесть составила 100%. Однако уже в этом районе у подсолнечника наблюдалось снижение показателя до 50%, что свидетельствует о видовой чувствительности растений к составу талой воды. В пробах из п. Солнечное всхожесть сои снизилась до 70%, а подсолнечника – до 40%. Наиболее выраженное ингибирующее действие выявлено в районе УМЗ, особенно в варианте «УМЗ – подсолнечник», где всхожесть составила лишь 10%. В районе Прохладная всхожесть семян сои и подсолнечника составила 80 и 30% соответственно.

Интегральный показатель фитотоксичности для длины корня рассчитан по формуле:

$$I=1-(X_{\text{опыта}}/X_{\text{контроля}}),$$

где *I* – интегральный показатель фитотоксичности (от 0 до 1, где 0 – отсутствие токсичности, 1 – максимальная токсичность);

*X*_{опыта} – значение показателя в опытной пробе;

*X*_{контроля} – значение показателя в контроле (дистиллированная вода).

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена *r* рассчитан между интегральным показателем фитотоксичности и грибной обсеменённостью. Корреляция статистически значима при *p*<0,05.

Полученные значения *r* (0,65-0,74) свидетельствуют о сильной положительной корреля-

ции между степенью фитотоксичности талой воды и уровнем грибной обсеменённости, что подтверждает совместное накопление химических и микробиологических загрязнителей в снежном покрове антропогенно нагруженных зон.

Самое сильное угнетение роста корня (до 4 см) выявлено в пробе «Солнечное-подсолнечник». В варианте УМЗ отмечена ложная норма (15 см), связанная с гибелью слабых семян и выживанием только единичных устойчивых особей. В целом подсолнечник во всех исследованных зонах демонстрировал более низкие показатели всхожести по сравнению с соей.

Микробиологическое исследование талой воды показало, что во всех пробах зафиксирован рост микромицетов различной интенсивности. В большинстве вариантов наблюдался обильный (3 балла) или умеренный (2 балла) рост. В пробах выявлено от 3 до 5 морфологически различных типов колоний. Наиболее часто встречались тёмные (чёрные и оливково-чёрные) бархатистые колонии, предположительно относящиеся к родам *Aspergillus* или *Cladosporium*; зелёные и жёлто-зелёные порошковидные колонии, характерные для представителей рода *Penicillium*; белые быстрорастущие пушистые колонии, вероятно, относящиеся к родам *Mucor* или *Rhizopus*. Максимальное разнообразие морфотипов и наиболее интенсивный рост наблюдались в пробах, отобранных в районах с повышенной антропогенной нагрузкой.

Таблица

Результаты фитотестирования талой воды снежного покрова (*M*±*SD*, *n*=3) и корреляция с грибной обсеменённостью

Зона отбора проб	Тест-культура	Всхожесть, % (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	Длина корня, см (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	Интегральный показатель фитотоксичности	Грибная обсеменённость, баллы (<i>M</i> ± <i>SD</i>)	Коэффициент корреляции Спирмена (<i>r</i>)
Контроль (дист. вода)	Соя	100±0	18,0±1,2	0,00	0±0	–
Контроль (дист. вода)	Подсолнечник	100±0	20,0±1,5	0,00	0±0	–
Лаборатория	Соя	100±0	15,0±1,1	0,17	2,3±0,6	0,72*
Лаборатория	Подсолнечник	50±5,0	12,0±0,9	0,40	2,3±0,6	0,68*
Солнечное	Соя	70±4,2	12,0±1,0	0,33	2,0±0,5	0,65*
Солнечное	Подсолнечник	40±3,8	4,0±0,5	0,80	2,0±0,5	0,71*
УМЗ	Соя	80±3,5	15,0±1,2	0,17	2,7±0,6	0,74*
УМЗ	Подсолнечник	10±2,1	12,0±0,8	0,40	2,7±0,6	0,69*
Прохладная	Соя	80±4,0	12,0±1,0	0,33	2,5±0,5	0,70*
Прохладная	Подсолнечник	30±3,2	12,0±0,9	0,40	2,5±0,5	0,66*

Сравнительный анализ результатов фитотестирования и микробиологического исследования показал определённую корреляцию между степенью фитотоксичности талой воды и уровнем грибной обсеменённости. В зонах, где наблюдалось выраженное ингибирование прорастания семян (особенно подсолнечника), также отмечалась высокая интенсивность роста микромицетов.

На рисунке 1 представлен график корреляции, иллюстрирующий зависимость между интегральным показателем фитотоксичности и грибной обсеменённостью талой воды. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил $\rho = 0,71$ ($p < 0,05$), что свидетельствует о сильной положительной связи между данными показателями.



Рис. 1. Корреляция между интегральным показателем фитотоксичности и грибной обсеменённостью талой воды снежного покрова (коэффициент ранговой корреляции Спирмена $\rho = 0,71$; $p < 0,05$)

Подобная зависимость может объясняться несколькими факторами: накоплением в снежном покрове не только химических загрязнителей, но и микробных метаболитов; возможным синергетическим действием токсичных веществ и продуктов жизнедеятельности грибов; различной чувствительностью тест-культур к комплексу факторов среды.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты фитотестирования показали, что токсичность талой воды возрастает в ряду: лаборатория → Солнечное → Прохладная → УМЗ.

На рисунке 2 представлена диаграмма, иллюстрирующая различия во всхожести семян сои и подсолнечника в зависимости от зоны отбора проб. Установлено, что всхожесть подсолнечника снижалась в ряду: контроль (100%) → лаборатория (50%) → Солнечное (40%) → Прохладная (30%) → УМЗ (10%). Всхожесть сои также снижалась, однако в меньшей степени: от

100% в контроле до 70-80% в опытных пробах. Подсолнечник оказался более чувствительным индикатором, чем соя, что подтверждает его более высокую чувствительность к загрязнению. Общее угнетение роста подтверждает накопление токсикантов в снежном покрове антропогенных зон. Полученные данные согласуются с литературными сведениями о высокой чувствительности подсолнечника к химическому составу водной среды [12].

Наиболее выраженное ингибирующее действие выявлено в районе УМЗ, особенно в варианте «УМЗ – подсолнечник», где всхожесть составила лишь 10% ($p < 0,05$ по сравнению с контролем). В районе Прохладная всхожесть семян подсолнечника составила 30%, в п. Солнечное – 40%, в условном центре (лаборатория) – 50%. Всхожесть сои варьировала от 70% (Солнечное) до 100% (лаборатория). Полученные данные подтверждают более высокую чувствительность подсолнечника как тест-культуры для биоиндикации талой воды снежного покрова.

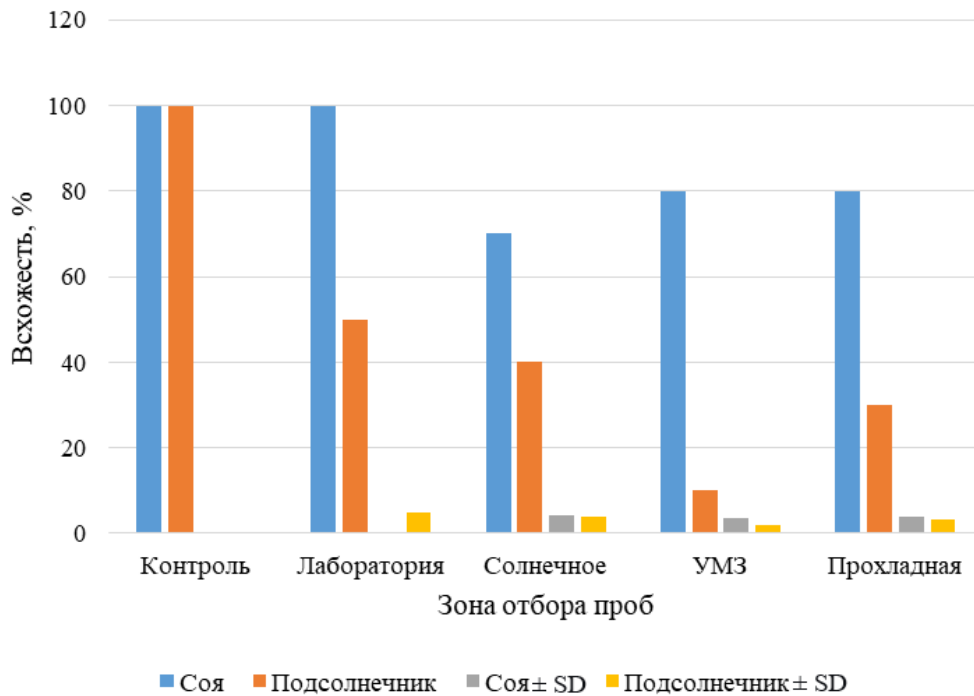


Рис. 2. Всхожесть семян сои (*Glycine max* L.) и подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) при проращивании на талой воде снежного покрова из зон с различной антропогенной нагрузкой г. Усть-Каменогорска ($M \pm SD$, $n=3$)

Микробиологическое исследование выявило присутствие в талой воде типичных представителей аэромикробиоты урбанизированных территорий – родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Rhizopus* [9]. Наличие указанных морфотипов соответствует данным литературы о составе аэромикробиоты городских экосистем. Представители родов *Aspergillus*, *Penicillium* и *Cladosporium* являются типичными компонентами городской аэромикробиоты и широко распространены в атмосферных аэрозолях [13]. Максимальное разнообразие морфотипов и наиболее интенсивный рост в зонах повышенной антропогенной нагрузки могут свидетельствовать о большей аккумуляции спор микробиоты в снежном покрове промышленных и транспортных зон.

Сравнительный анализ результатов фитотестирования и микробиологического исследования показал определённую корреляцию между степенью фитотоксичности талой воды и уровнем грибной обсеменённости. В зонах, где наблюдалось выраженное ингибирование прорастания семян (особенно подсолнечника), также отмечалась высокая интенсивность роста микробиоты. Подобная зависимость может объясняться накоплением в снежном покрове не только химических загрязнителей, но и микробных метаболитов, а также возможным синергическим

действием токсичных веществ и продуктов жизнедеятельности грибов.

Заключение

Талая вода снежного покрова урбанизированных территорий содержит комплекс факторов, оказывающих биологическое воздействие на высшие растения. Во всех исследованных пробах выявлена грибная обсеменённость, представленная несколькими морфотипами микробиоты, предположительно относящихся к родам *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Mucor* и *Rhizopus*. Наиболее выраженное фитотоксическое и микробиологическое воздействие установлено в зонах с повышенной антропогенной нагрузкой (район УМЗ). Подсолнечник показал более высокую чувствительность к воздействию талой воды по сравнению с соей, что позволяет рекомендовать его в качестве эффективной тест-культуры. Комплексное применение фитотестирования и микробиологического анализа является информативным методом экспресс-оценки экологического состояния снежного покрова в условиях промышленных городов.

Библиографический список

1. Васильева, Т. В. Мониторинг атмосферных загрязнений по состоянию снежного покрова в промышленных центрах / Т. В. Васильева,

Л. С. Глухов. – DOI 10.18412/1816-0395-2021-2-44-49. – Текст: непосредственный // Экология и промышленность. – 2021. – № 2. – С. 44-49.

2. Матвеева, Е. Н. Сорбционная способность снежного покрова в отношении тяжелых металлов и взвешенных частиц / Е. Н. Матвеева, С. В. Лебедев. – DOI 10.24412/1234-5678-2022-5-12-18. – Текст: непосредственный // Экологический мониторинг. – 2022. – № 5. – С. 12-18.

3. Wadhwa, S., Singh, R. (2022). Bioindicators: A cost-effective and efficient tool for assessing environmental health. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 194. Art. 120. DOI: 10.1007/s10661-021-09675-w.

4. Kalinova, S., Petrova, M. (2023). Seed germination and seedling growth as indicators of water toxicity. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 20. P. 1455-1468. DOI: 10.1007/s13762-022-04351-y.

5. Fröhlich-Nowoisky, J., Pöschl, U. (2021). Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. *Atmospheric Research*. Vol. 182. P. 346-376. DOI: 10.1016/j.atmosres.2020.112345.

6. ФР.1.39.2007.03221. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по всхожести и длине корней семян высших растений. – URL: https://www.rswtesting.ru/upload/medialibrary/9fb/metodika_fr_1_39_2007_03221.pdf (дата обращения: 20.04.2026). – Текст: электронный.

7. ГОСТ 33041-2014. Испытания химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение токсичности в отношении почвенных организмов. Рост растений. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200121520> (дата обращения: 20.04.2026). – Текст: электронный.

8. Заплатин, Б. П. Биотестирование атмосферных загрязнений по содержанию хлорофилла и активности полифенолоксидазы / Б. П. Заплатин. – Текст: непосредственный // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – 2008. – № 10 (14). – С. 82-87.

9. Литвинов, А. М. Методы изучения почвенных микроскопических грибов: учебное пособие / А. М. Литвинов. – Ленинград: Наука, 1969. – 123 с. – Текст: непосредственный.

10. Kirk P. M., Cannon P. F., Minter D. W., Stalpers J. A., et al. (2008). *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi*. CAB International, 771 p.

11. Samson, R. A., Houbraken, J., & Thrane, U. Food and Indoor Fungi // Westerdijk Fungal Biodiversity Institute. 2019. 480 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vbn.aau.dk/en/publications/food-and-indoor-fungi/> (дата обращения: 20.04.2026).

12. Ерофеева, Е. А. Зависимость «доза-эффект» при действии загрязняющих веществ на высшие растения: использование подсолнечника в фитотестировании / Е. А. Ерофеева. – DOI 10.31857/S036705972104004X. – Текст: непосредственный // Экология. – 2021. – № 4. – С. 265-272.

13. Антропова, А. Б. Микромицеты в составе атмосферного аэрозоля крупных промышленных центров / А. Б. Антропова, Е. Н. Биланенко. – DOI 10.31857/S002636482203002X. – Текст: непосредственный // Микология и фитопатология. – 2022. – Т. 56, № 3. – С. 175-184.

References

1. Vasileva T. V., Glukhov L. S. Monitoring atmosferykh zagryazneniy po sostoyaniyu snezhnogo pokrova v promyshlennykh tsentrakh // *Ekologiya i promyshlennost*. 2021. No. 2. S. 44–49. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-2-44-49.

2. Matveeva E. N., Lebedev S. V. Sorbtsionnaya sposobnost snezhnogo pokrova v otnoshenii tyazhelykh metallov i vzveshennykh chastits // *Ekologicheskii monitoring*. 2022. No. 5. S. 12–18. DOI: 10.24412/1234-5678-2022-5-12-18.

3. Wadhwa, S., Singh, R. (2022). Bioindicators: A cost-effective and efficient tool for assessing environmental health. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 194. Art. 120. DOI: 10.1007/s10661-021-09675-w.

4. Kalinova, S., Petrova, M. (2023). Seed germination and seedling growth as indicators of water toxicity. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 20. P. 1455-1468. DOI: 10.1007/s13762-022-04351-y.

5. Fröhlich-Nowoisky, J., Pöschl, U. (2021). Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. *Atmospheric Research*. Vol. 182. P. 346-376. DOI: 10.1016/j.atmosres.2020.112345.

6. FR.1.39.2007.03221. Metodika opredeleniya toksichnosti vody i vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov po vskhozhesti i dline korney semyan vysshikh rasteniy [Elektronnyy

resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.rswtesting.ru/upload/medialibrary/9fb/metodika_fr_1_39_2007_03221.pdf (data obrashcheniya: 20.04.2026).

7. GOST 33041-2014. Ispytaniya khimicheskoy produktsii, predstavlyayushchey opasnost dlya okruzhayushchey sredy. Opredelenie toksichnosti v otnoshenii pochvennykh organizmov. Rost rasteniy [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/1200121520> (data obrashcheniya: 20.04.2026).

8. Zaplatin B. P. Biotestirovanie atmosferynykh zagryazneniy po sodержaniyu khlorofilla i aktivnosti polifenoloksidazy // Izvestiya PGPU im. V. G. Belinskogo. – 2008. – No. 10 (14). – S. 82–87.

9. Litvinov, A.M. Metody izucheniya pochvennykh mikroskopicheskikh gribov: uchebnoe posobie / A.M. Litvinov. – Leningrad: Nauka, 1969. – 123 s.

10. Kirk P. M., Cannon P. F., Minter D. W., Stalpers J. A., et al. (2008). *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi*. CAB International, 771 p.

11. Samson, R. A., Houbraken, J., & Thrane, U. Food and Indoor Fungi // Westerdijk Fungal Biodiversity Institute. 2019. 480 p. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://vbn.aau.dk/en/publications/food-and-indoor-fungi> (data obrashcheniya: 20.04.2026).

12. Erofeeva E. A. Zavisimost “doza-effekt” pri deystvii zagryaznyayushchikh veshchestv na vysshie rasteniya: ispolzovanie podsolnechnika v fitotestirovanii // Ekologiya. 2021. No. 4. S. 265–272. DOI: 10.31857/S036705972104004X.

13. Antropova A. B., Bilanenko E. N. Mikro-mitsety v sostave atmosfernogo aerolya krupnykh promyshlennykh tsentrov // Mikologiya i fitopatologiya. 2022. T. 56, No. 3. S. 175–184. DOI: 10.31857/S002636482203002X.



УДК 633.854.54

DOI: 10.53083/1996-4277-2026-260-6-30-35

**И.А. Коломеец, С.В. Жаркова,
Л.В. Соколова, А.А. Казакова
I.A. Kolomeets, S.V. Zharkova,
L.V. Sokolova, A.A. Kazakova**

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ АГРОТЕХНОЛОГИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

INFLUENCE OF AGRICULTURAL TECHNOLOGY ELEMENTS ON LINSEED YIELD FORMATION

Ключевые слова: лён масличный, сорт, удобрения, стартовая доза, условия, урожайность, фосфор, калий, отзывчивость.

Лён масличный – это один из важнейших сырьевых продуктов для масложировой промышленности, фармацевтической и других отраслей народнохозяйственного комплекса России. По посевным площадям льна масличного Алтайский край занимает лидирующее положение в РФ, обеспечивая 13-14% продукции данной культуры в стране от всего объёма производства. Важнейшими факторами, детерминирующими уровень продуктивности культуры, являются правильный подбор адаптированных сортов, установление оптимальных сроков посева и разработка эффективных стартовых доз удобрений. Цель исследования – комплексная оценка влияния различных доз стартовых удобрений на развитие

растений, формирование генеративных органов и итоговую урожайность сортов льна масличного. Опыты по изучению влияния стартовой дозы удобрений на продуктивность сортов льна масличного были заложены в полевых условиях лесостепи Алтайского Приобья в 2024-2025 гг. В качестве объектов исследований были взяты 4 сорта льна масличного: Бирюза, Северный, Даник и Август. Предмет исследований – аммиачная селитра (N 34,4%), аммофос (N 12%, P 52%), диаммофоска (N 10%, P 26%, K 26%). Анализ полученных данных выявил значительную вариабельность семенной продуктивности как в зависимости от генотипа, так и от фона минерального питания. Наивысший потенциал продуктивности в рамках исследования продемонстрировал сорт Август. Средняя урожайность по всем вариантам опыта для данного сорта составила 16,56 ц/га, что превосходит показатели остальных сортов. Мак-