

УДК 504.054:579.6:581.1

## ВЛИЯНИЕ МИКРОБНОГО ПРЕПАРАТА НА ЛИПИДНО-ПИГМЕНТНЫЙ КОМПЛЕКС *TRITICUM AESTIVUM* L. ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Овсиенко О. Л., Чайковская Л. А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», Симферополь, Республика Крым, Россия  
E-mail: olovsiem@mail.ru

В условиях вегетационных опытов изучен количественный состав липидно-пигментного комплекса молодых растений озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при загрязнении почвы (чернозем южный) солями тяжелых металлов (ТМ) на уровнях 1 ПДК и 5 ПДК. Установлено негативное воздействие ТМ (Cu, Cr, Pb) на содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов и сульфолипидов в листьях пшеницы. Отмечено увеличение содержания малонового диальдегида (МДА) в фитомассе *T. aestivum* L. при повышении уровня загрязнения почвы ТМ. Применение микробного препарата Фосфостим (основа – фосфатмобилизующая бактерия *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3) для предпосевной инокуляции семян способствовало увеличению количества фотосинтетических пигментов и сульфолипидов в листьях, а также накоплению фитомассы озимой пшеницы, при этом снижалось количество МДА, что свидетельствует о повышении адаптивного потенциала растений к стрессу, вызванному действием ТМ. **Ключевые слова:** озимая пшеница, микробный препарат Фосфостим-Агро, тяжелые металлы, малоновый диальдегид, хлорофиллы, каротиноиды, сульфолипиды.

### ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение окружающей среды является одной из главных экологических проблем современного мира. Среди техногенных поллютантов выделяют особо токсичную группу – тяжелые металлы (ТМ). В природные и агроэкосистемы ТМ попадают различными путями: с выбросами промышленных предприятий и автотранспорта, минеральными удобрениями, сточными водами, осадками, илами, бытовым мусором и т.д. Основным акцептором ТМ является педосфера, которая при взаимодействии с другими компонентами окружающей среды, становится источником поступления токсикантов в организм животных и человека [1–3].

Попадая в почву, ТМ в основном накапливаются в верхнем слое и мигрируют в растения. При поступлении в растение, ТМ индуцируют образование активных форм кислорода, что сопровождается повышением перекисного окисления липидов (ПОЛ) и приводит к окислительному стрессу организма. В свою очередь растения обладают антиоксидантной системой защиты, благодаря которой в клетках поддерживается определенный уровень ПОЛ. Однако, при избытке свободных кислородных радикалов происходят нарушения протоплазмы и клеточных мембран, что приводит к нарушению барьерной функции последних [4–8].

Известно также, что водорастворимые формы ТМ, проникая через корни, вызывают ингибирование роста растений и снижают их продуктивность вследствие инактивации ферментов фотосинтеза, нарушения транспорта питательных веществ, изменения водного и гормонального статуса организма. Исследование физиологических и биохимических показателей растений, в частности структурных компонентов липидно-пигментного комплекса растительных клеток, является интегральным показателем физиологического состояния растений и ресурсов реализации их адаптивного потенциала [9–11].

Доказано, что почвенные бактерии могут служить биопротекторами, а предпосевная инокуляция семян биопрепаратами на их основе способна положительно влиять на рост и развитие растений при стрессовом воздействии ТМ [12–14]. Раскрытие механизмов действия симбиотрофных бактерий на адаптивный потенциал растений в условиях стресса является одной из актуальных задач изучения растительно-микробного взаимодействия.

**Цель нашей работы** заключалась в исследовании влияния микробного препарата Фосфостим-Агро на содержание компонентов липидно-пигментного комплекса (хлорофиллы, каротиноиды, сульфолипиды) и малонового диальдегида (МДА) в листьях озимой пшеницы при стрессе, вызванном ТМ (Pb, Cu, Cr) на ранних стадиях развития растений.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вегетационные опыты проводили в летней теплице. Культура – озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.). Растения выращивали в полиэтиленовых сосудах объемом 500 мл в течение 6 недель, повторность – 6-кратная. Агрохимическая характеристика почвы (чернозем южный карбонатный тяжелосуглинистый): содержание гумуса – 2,5 %; подвижных форм N и P – 5,3 и 2,6 мг/100 г почвы соответственно; pH водной вытяжки – 7,0–7,2. В каждый сосуд перед посевом семян вносили и тщательно перемешивали с почвой растворы солей ТМ: Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, CuSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, соответствующие загрязнению на уровнях 1 ПДК и 5 ПДК; в контрольном варианте ТМ не вносили. Для предпосевной инокуляции семян использовали микробный препарат Фосфостим-Агро (основа – эффективный штамм фосфатмобилизующей бактерии *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3), разработанный в отделе сельскохозяйственной микробиологии НИИСХ Крыма [15]. В контроле семена обрабатывали водой.

Каждые две недели отбирали растительные образцы для анализа на количественное содержание МДА и сульфолипидов.

Количество МДА определяли с помощью спектрофотометра, используя методику, основанную на образовании окрашенного комплекса между МДА и тиобарбитуровой кислотой при нагревании [16].

Содержание сульфолипидов в листьях определяли по методике Зилла и Хармона в модификации Яковенко и Михно [17, 18].

Определение концентрации фотосинтезирующих пигментов в листьях, а также учет биометрических показателей озимой пшеницы проводили у 6-недельных растений.

Экстракцию растительных пигментов проводили при помощи ацетона, а определение количества хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов производили по методу Н. К. Lichtenthaler и R. R. Welburn [19].

Биометрические и статистические исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками [20] и с использованием программы Statistica 7.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из конечных продуктов окисления липидов и показателем интенсивности окислительного стресса, вызванного воздействием ТМ на растительный организм, является малоновый диальдегид [21]. Наши исследования показали, что на ранних этапах развития озимой пшеницы (2-недельные растения) содержание МДА увеличивалось по мере возрастания уровня загрязнения почвы ТМ. Так, в контроле количество МДА составило 45,7 мкмоль/г сырой массы, а на фоне 1 ПДК и 5 ПДК ТМ содержание МДА увеличивалось до 53,2 мкмоль/г (на 16 %) и 57,0 (25 %) мкмоль/г сырой массы соответственно, что свидетельствует о повышении уровня стресса, испытываемого опытными растениями (рис. 1).

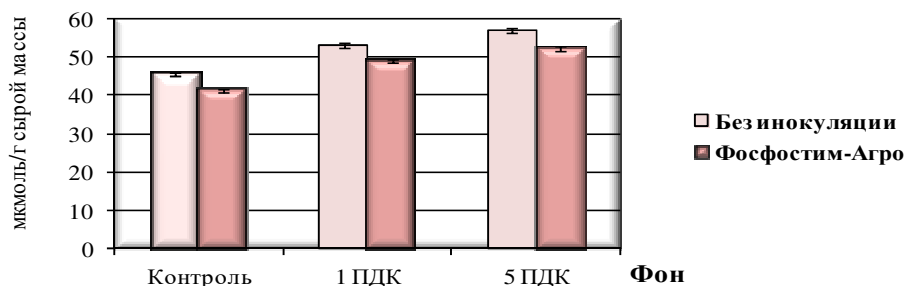


Рис. 1. Содержание МДА в листьях *Triticum aestivum* L., мкмоль/г сырой массы (возраст растений – 2 недели).

На более поздних этапах развития растений содержание МДА в фитомассе при различных уровнях ПДК ТМ снижалось. Так, у 4-недельных растений этот показатель составил 43,8 мкмоль/г сырой массы, а у пшеницы, выращенной на загрязненной ТМ почве, количество МДА увеличилось на 10 % (при 1 ПДК) и на 18 % (при 5 ПДК). Это свидетельствует о том, что процесс ПОЛ при воздействии ТМ наиболее интенсивен на самых ранних этапах развития растений. При анализе 6-недельных растений не выявлено достоверных отличий в содержании МДА у контрольных образцов и у пшеницы, выращенной на фоне внесения ТМ.

В ходе проведенных исследований выявлено, что применение Фосфостима-Агро для предпосевной инокуляции семян пшеницы способствовало снижению содержания МДА в листьях молодых растений, как в контроле без внесения ТМ, так и при загрязнении почвы. Установлено, что в фитомассе инокулированной пшеницы количество МДА снизилось на 10 % (до 41,5 мкмоль/г) в сравнении с не

бактеризованными растениями (45,7 мкмоль/г). При загрязнении почвы ТМ инокуляция семян Фосфостимом-Агро способствовала снижению содержания МДА в листьях пшеницы на 9 % в сравнении с вариантом без бактеризации. Так, на фоне 1 ПДК и 5 ПДК количество МДА у контрольных растений составляло 53,2 мкмоль/г и 57,0 мкмоль/г сырой массы, а в фитомассе инокулированной пшеницы – 49,0 мкмоль/г и 52,4 мкмоль/г сырой массы соответственно (рис. 1). Не выявлено достоверных различий в содержании МДА в листьях бактеризованных и не бактеризованных растений пшеницы в возрасте 4 и 6 недель.

В ходе проведенных исследований нами изучено влияние ТМ и Фосфостима-Агро на компоненты липидно-пигментного комплекса (сульфолипиды, хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды) в листьях молодых растений озимой пшеницы.

Известно, что сульфолипиды являются структурной составляющей пластид и поддерживают оптимальный уровень протекания фотосинтетических процессов в хлоропластах [10]. Наши исследования не выявили влияния ТМ на содержание этого компонента липидного комплекса в листьях 2-недельных растений пшеницы в сравнении с контролем. Однако негативное действие ТМ на количественное содержание сульфолипидов в листьях пшеницы обнаружено у растений в возрасте 4 недель на уровне 5 ПДК, что составило 9 мкмоль/г против 11,5 мкмоль/г сырой фитомассы в контрольном варианте. У 6-недельных растений загрязнение почвы ТМ на уровне 1 ПДК привело к снижению содержания сульфолипидов в листьях на 16 % (до 11,0 мкмоль/г), а на уровне 5 ПДК – на 31 % (до 9,1 мкмоль/г) в сравнении с контролем (рис. 2).

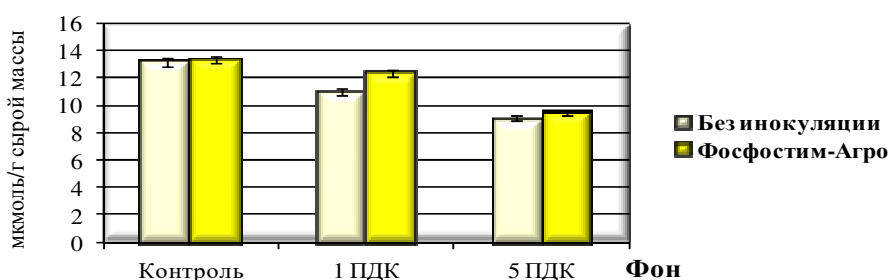


Рис. 2. Содержание сульфолипидов в листьях *Triticum aestivum* L., мкмоль/г сырой массы (возраст растений – 6 недель).

Применение биопрепарата Фосфостим-Агро для предпосевной бактеризации семян не повлияло на содержание сульфолипидов в листьях растений контрольного варианта (без внесения ТМ), но способствовало увеличению данного показателя у пшеницы, выросшей на почве, загрязненной ТМ. Так, у 2-х и 4-х недельных бактеризованных растений мы наблюдали тенденцию к увеличению количества сульфолипидов в листьях. По истечении 6 недель опыта отмечены достоверные различия: содержание сульфолипидов в листьях инокулированных растений возросло на 12 % (1 ПДК ТМ) и на 5 % (5 ПДК ТМ) в сравнении с вариантами без бактеризации, количество сульфолипидов в которых составило 11,0 мкмоль/г и 9,1 мкмоль/г соответственно (рис. 2). В литературных источниках также отмечено

положительное влияние фосфатмобилизирующих бактерий на липидный комплекс озимой пшеницы [22, 23].

Поскольку количество фотосинтезирующих пигментов определяет интенсивность процесса фотосинтеза, важно использовать этот диагностический показатель для определения степени влияния стресс-фактора на растения [24–26]. Результаты наших экспериментов показали, что загрязнение почвы ТМ способствовало значительному снижению количества фотосинтезирующих пигментов у молодых растений. Так, если в листьях пшеницы, выращенной на незагрязненной почве, содержание хлорофиллов *a* и *b* достигало 18,2 и 5,7 мг/100г сырой массы, то при загрязнении на уровне 1 ПДК эти показатели снизились в 2,5 и 1,4 раза и составили 7,2 и 4,1 мг/100г соответственно (рис. 3 и 4). Повышение уровня загрязнения почвы ТМ до 5 ПДК еще в большей мере снизило количество хлорофиллов *a* и *b* – в 3,9 и 2,7 раза против контроля, что составило 4,7 и 2,05 мг/100г сырой массы соответственно.

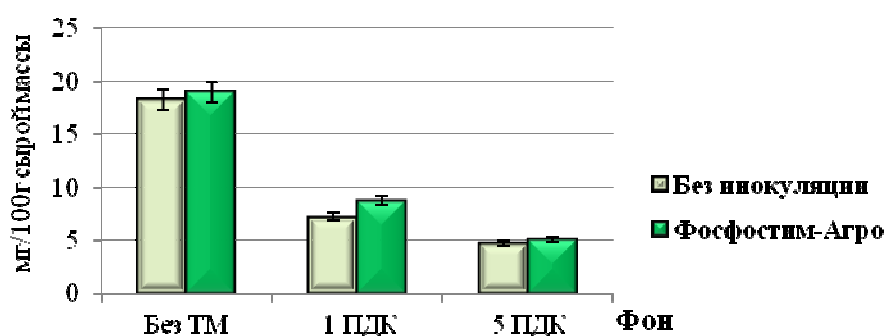


Рис. 3. Содержание хлорофилла *a* в листьях *Triticum aestivum* L., мг/ 100г сырой массы (возраст растений – 6 недель).

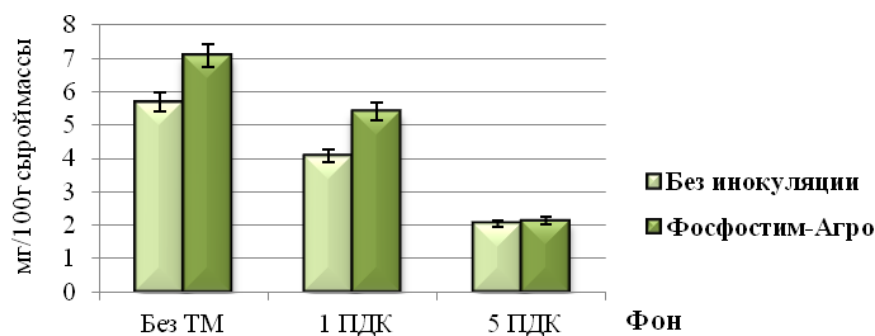


Рис. 4. Содержание хлорофилла *b* в листьях *Triticum aestivum* L., мг/100г сырой массы (возраст растений – 6 недель).

В ходе проведенных исследований также установлено негативное действие ТМ на синтез каротиноидов в листьях пшеницы. Так, их содержание снизилось более чем в 2 раза в сравнении с контрольным вариантом (5,9 мг) и составило 2,5 мг/100г сырой массы на фоне 1 ПДК и 2,75 мг/100г сырой массы на фоне 5 ПДК (рис. 5).

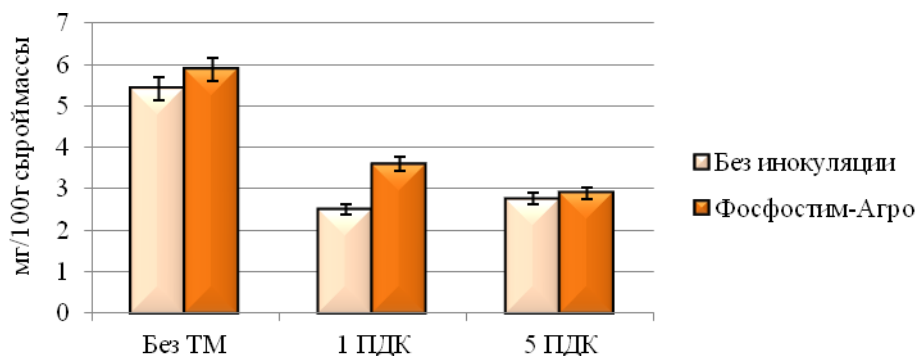


Рис. 5. Содержание каротиноидов в листьях *Triticum aestivum* L., мг/100г сырой массы (возраст растений – 6 недель).

Применение биопрепарата Фосфостим-Агро для инокуляции семян оказало положительное влияние на содержание пигментов в листьях растений пшеницы, как в контрольных вариантах, так и при загрязнении почвы солями ТМ. Так, содержание хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов в листьях бактеризованных растений на 4 %, 25 % и 8 % соответственно превышало аналогичные показатели растений без инокуляции (рис. 3–5).

В ходе исследований отмечено протекторное действие Фосфостима-Агро при стрессовом воздействии ТМ на растения пшеницы, что выражалось в повышении содержания фотосинтезирующих пигментов и каротиноидов в листьях растений. Так, на уровне 1 ПДК ТМ количество хлорофилла *a* в листьях инокулированных растений (8,7 мг/100г сырой массы) на 17 % превысило данный показатель у не бактеризованной пшеницы (7,2 мг/100г сырой массы). В этих же условиях содержание хлорофилла *b* в листьях инокулированных растений составило 5,4 мг/100г сырой массы, что на 32 % превысило данный показатель варианта без инокуляции (4,1 мг/100г сырой массы). У бактеризованных растений также возросло количество каротиноидов – на 44 %, что составило 3,6 мг против 2,5 мг/100г сырой массы в контроле.

При загрязнении почвы ТМ на уровне 5 ПДК не выявлено достоверного влияния предпосевной инокуляции семян на содержание хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов в листьях озимой пшеницы в сравнении с вариантом без инокуляции. Можно отметить положительную тенденцию к увеличению вышеназванных показателей при использовании бактеризации растений (рис. 3–5).

Известно, что содержание хлорофиллов находится в прямой зависимости с продуктивностью озимой пшеницы [26–28]. Наши исследования показали, что загрязнение почвы ТМ привело к нарушению функционирования липидно-

пигментного комплекса молодых растений пшеницы и снижению их продуктивности. Так, фитомасса 6-недельных растений, выросших на фоне 1 и 5 ПДК ТМ, снизилась против контроля на 10 % и 51 % соответственно. При загрязнении почвы ТМ на уровне 5 ПДК отмечено также снижение высоты озимой пшеницы – на 30 % в сравнении с контролем (табл. 1).

**Таблица 1**  
**Влияние Фосфостима-Агро и ТМ на биометрические показатели 6-недельных растений *Triticum aestivum* L. (вегетационный опыт, чернозем южный)**

Вариант	Сырая фитомасса	Высота растения
	г	см
<i>Фон: без ТМ</i>		
Без инокуляции	0,56	27,5
Фосфостим	0,64	29,1
<i>Фон: 1 ПДК: Cu+Cr+Pb</i>		
Без инокуляции	0,50	28,1
Фосфостим	0,58	30,0
<i>Фон: 5 ПДК: Cu+Cr+Pb</i>		
Без инокуляции	0,27	19,2
Фосфостим	0,40	24,5
НСР <sub>05</sub>	0,06	1,50

Применение Фосфостима-Агро для предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы снижало стрессовое воздействие ТМ, что способствовало увеличению биометрических показателей растений. Так, фитомасса и высота бактеризованных растений на 14 % и 6 % соответственно превышала показатели контроля без инокуляции. При загрязнении почвы на уровне 1 ПДК масса инокулированных растений на 16 % превышала контрольный вариант, а высота – на 7 %. На уровне 5 ПДК масса и высота бактеризованной пшеницы увеличилась на 48 % и 28 % соответственно по отношению к показателям контроля (см. табл. 1).

Таким образом, в ходе проведенных исследований выявлено, что загрязнение почвы ТМ (Cu+Cr+Pb) на уровне 1 ПДК и 5 ПДК оказывает негативное влияние на молодые растения *T. aestivum* L. Так, отмечено снижение количества хлорофиллов (*a* и *b*), каротиноидов и сульфолипидов, что повлияло на рост и продуктивность растений. Применение экологически безопасного микробного препарата Фосфостим-Агро на основе фосфатмобилизующей бактерии способствовало увеличению содержания вышеназванных компонентов липидно-пигментного комплекса в листьях растений и повышало биометрические показатели озимой пшеницы (высота, фитомасса). Кроме того, в листьях бактеризованных растений снижалось содержание МДА, что свидетельствует о повышении адаптивного потенциала молодых растений *T. aestivum* L. к ПОЛ, возникающему при стрессовом воздействии ТМ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Внесение в почву солей ТМ (Cu+Cr+Pb) оказывает негативное влияние на рост и развитие молодых растений *Triticum aestivum* L. вследствие повышения уровня перекисного окисления липидов (ПОЛ) и снижения содержания компонентов липидно-пигментного комплекса. При загрязнении почвы ТМ на уровне 1 и 5 ПДК в листьях опытных растений содержание хлорофилла уменьшилось в 2,5–3,9 раза, каротиноидов – в 2 раза и сульфолипидов – на 16–31 % в сравнении с контролем. С повышением ПДК негативное воздействие ТМ усиливалось.
2. Применение биопрепарата Фосфостим-Агро (основа – фосфатмобилизующая бактерия *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3) для предпосевной инокуляции семян снижало стрессовое воздействие ТМ на растения озимой пшеницы. Количество малонового диальдегида – показателя уровня ПОЛ – в листьях 2-х недельных бактеризованных растений при выращивании на загрязненной ТМ почве (1 ПДК и 5 ПДК) уменьшалось на 9 % в сравнении с контролем.
3. Предпосевная обработка семян Фосфостимом-Агро заметно ослабляет индуцированное ТМ (на уровне 1 ПДК) ингибирование роста и накопления фитомассы у молодых растений *T. aestivum* L. за счет увеличения содержания компонентов липидно-пигментного комплекса: хлорофиллов *a* и *b* (до 17 % и 32 % соответственно), каротиноидов (до 44 %) и сульфолипидов (до 12 %) в сравнении с контролем.
4. Проведенные исследования позволяют рекомендовать экологически безопасный микробный препарат Фосфостим-Агро для предпосевной инокуляции семян озимой пшеницы с целью повышения адаптивного потенциала растений к негативному воздействию загрязнения почвы ТМ.

### Список литературы

1. Тёплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) / Г. А. Тёплая // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1 (23). – С. 182–192.
2. Водяницкий Ю. Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2013. – № 9. – С. 88–96.
3. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю. В. Алексеев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. – 215 с.
4. Пищик В. Н. Механизмы адаптации растений к тяжелым металлам (обзорная статья) / В. Н. Пищик, Н. И. Воробьев, Н. А. Проворов, Ю. В. Хомяков // Агрофизика. – 2015. – № 2. – С. 38–49.
5. Рахматуллина Н. Ш. Показатели антиоксидантной системы *Artemisia annua* L., *Matricaria chamomilla* L. и *Tanacetum vulgare* L. в естественных условиях произрастания и в городской среде / Н. Ш. Рахматуллина, Н. Г. Акиншина, А. А. Азизов, Г. Г. Раджабова // Научное обозрение. Биологические науки. – 2020. – № 4. – С. 28–32.
6. Джафарова С. А. Влияние тяжелых металлов на перекисное окисление липидов в вегетативных органах и семенах овса посевного (*Avena sativa* L.) / С. А. Джафарова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – № 4. – С. 36–42.
7. Титов А. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина, Г. Ф. Лайдинен. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 172 с.
8. Цандекова О. Л. Оценка устойчивости травянистых многолетников по уровню малонового диальдегида в условиях урбанизированной среды / О. Л. Цандекова, Л. Л. Седельникова // Известия вузов. Северокавказский регион. – 2017. – № 3–1. – С. 56–61.



9. Серегин И. В. Распределение тяжелых металлов в растениях и их действие на рост: дис.... доктор биологических наук: 03.00.12 – Физиология и биохимия растений. / Серегин И. В. – М., 2009. – 424 с.
10. Розенцвет О. А. Липидный состав растений как показатель их адаптивных возможностей к различным экологическим условиям: автореф. дис. ... доктор биологических наук: 03.00.16. – Экология, 03.00.12. – Физиология и биохимия растений. / Розенцвет О. А. – Тольятти, 2006. – 36 с.
11. Зуев Е. А. Влияние солей тяжелых металлов на биологические показатели злаков: дис. ... кандидата биологических наук : 03.00.16. – Экология. / Зуев Е. А. – Ставрополь, 2002. – 133 с.
12. Белимов А. А. Микробиологические аспекты устойчивости и аккумуляции тяжелых металлов у растений / А. А. Белимов, И. А. Тихонович // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – № 3. – С. 17–22.
13. Курамшина З. М. Повышение толерантности культурных растений, инокулированных эндофитными штаммами *Bacillus subtilis*, к действию тяжелых металлов / З. М. Курамшина, Ю. В. Смирнова, Р. М. Хайруллин // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 6. [https://science-education.ru/ru/article/view?id=25779]
14. Chengjiao Duan. *Rhizobium* Inoculation Enhances the Resistance of Alfalfa and Microbial Characteristics in Copper-Contaminated Soil / Chengjiao Duan, Yuxia Mei, Qiang Wang, Yuhuan Wang, Qi Li, Maojun Hong, Sheng Hu, Shiqing Li and Linchuan Fang. // Front. Microbiol. – 2022. – 12. – 781831. [https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35095795/]
15. Чайковская Л. А. Патент РФ No. 2676926 “Фосфатмобилизующий штамм почвенных бактерий *Lelliottia nimipressuralis* ССМ 32-3 и биопрепарат на его основе для оптимизации минерального питания растений, стимуляции их роста и повышения урожайности” / Л. А. Чайковская, Т. Н. Мельничук, И. А. Каменева, М. И. Баранская, О. Л. Овсиенко. – 2019. – Бюл. No. 2. – 12 с.
16. Uchiyama M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test / M. Uchiyama, M. Mihara // Analytical Biochemistry. – 1978. – Vol. 86. – P. 271–278.
17. Zill L. Lipids of photosynthetic tissue. I. Salicylic acid chromatography of the lipids from whole leaves and chloroplasts / L. Zill, E. Harmond // Biochem. Biophys. Acta. – 1962. – Vol. 57. – P. 573–575.
18. Яковенко Г. М. Метод выделения и разделения по классам липидов листьев и хлоропластов растений / Г. М. Яковенко, А. И. Михно // Физиология и биохимия культурных растений. – 1971. – Т.3, №6. – С. 651–656.
19. Lichtenthaler N. K. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes / N. K. Lichtenthaler // Methods in enzymology / Eds. S. P. Colowick, N. O. Kaplan. – San Diego: Acad. Press, 1987. – Vol. 148. – P. 350–382.
20. Лакин Г. Ф. Биометрия. / Г. Ф. Лакин – М.: Высшая школа, 1978. – 343 с.
21. Норкулов Н. Х. Содержание малонового диальдегида и активность супероксид дисмутазы у хлопчатника при стрессе / Н. Х. Норкулов, З. Х. Норкулова, А. Б. Солиева, И. С. Каспарова, Н. Х. Ойзода, Н. С. Диловарова, Р. Ш. Хакимова, К. А. Алиев, Х. А. Абдуллаев // Доклады Академии наук республики Таджикистан. – 2019. – Т. 62, №. 3–4. – P. 242–246.
22. Трепач А. О. Особливості фосфорного живлення пшениці озимої за використання *Rhizobium radiobacter*: дис. ... кандидата с.-г. наук : 03.00.07. – Мікробіологія. / Трепач А. О. – Чернівці, 2012. – 174 с.
23. Светлова Н. Б. Роль бактеризації насіння пшениці мікроорганізмами з фосфат мобілізуючою здатністю / Н. Б. Светлова, А. В. Калініченко, О. І. Серга, В. О. Стороженко, В. З. Улинець, Л. М. Токмакова, А. О. Трепач, Н. Ю. Таран // Посібник українського хлібороба. – К.: ТОВ Академпрес, 2011. – С. 155–157.
24. Полевой В. В. Физиология растений: Учеб. для биол. спец. вузов. / Полевой В. В. – М.: Высшая школа, 1989. – 464 с.
25. Коротченко И. С. Влияние тяжелых металлов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях моркови / И. С. Коротченко // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 4. – С. 86–91.
26. Андрианова Ю. Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю. Е. Андрианова, И. А. Тарчевский. – М.: Наука, 2000. – 135 с.
27. Прядкина Г. А. Связь между показателями мощности развития фотосинтетического аппарата и зерновой продуктивностью озимой пшеницы в разные по погодным условиям годы /

- Г. А. Прядкина, Т. М. Шадчина // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – Т. 41, №1. – С. 59–68.
28. Шадчина Т. М. Зв'язок між характеристиками фотосинтетичного апарату та зерновою продуктивністю у різних сортів озимої пшениці / Т. М. Шадчина, Г. О. Прядкіна, В. В. Моргул // Досягнення і проблеми генетики, селекції і біотехнології. Зб. наук. праць. – Т.2. – К.: Логос, 2007. – С. 410–415.

**THE EFFECT OF A MICROBIAL PREPARATION ON THE LIPID-PIGMENT COMPLEX OF *TRITICUM AESTIVUM* L. WHEN SOIL IS CONTAMINATED BY HEAVY METALS**

*Ovsienko O. L., Chaikovskaya L. A.*

*Federal State Budgetary Institution of Science "Scientific Research Institute of Agriculture of the Crimea", Simferopol, Crimea, Russian Federation  
E-mail: olovsien@mail.ru*

Environmental pollution is one of the main ecological problems of the modern world. Among technogenic pollutants, particularly toxic groups are heavy metals (HM). Getting into the soil, HM mainly accumulates in the upper layer and migrate to plants, where they induce the formation of reactive oxygen forms, which is accompanied by an increase in lipid peroxidation (LP) and leads to oxidative stress of the plant organism.

It is known that soil bacteria can act as bioprotectors, and pre-sowing inoculation of seeds with biopreparations based on them can positively affect to growth and development of plants under the stress of HM. The disclosure of the mechanisms of symbiotrophic bacteria action on the plants adaptive potential under stress is one of the actual tasks of studying plant-microbial interaction, and the study of physiological and biochemical parameters of plants, in particular the structural components of the lipid-pigment complex of plant cells, is an integral indicator of the physiological state of plants and the resources for realizing their adaptive potential.

The aim of this work was to study the effect of the microbial preparation Phosphostim-Agro on the content of lipid-pigment complex components (chlorophylls, carotenoids, sulfolipids) and malondialdehyde (MDA) in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves under stress caused by HM (Pb, Cu, Cr) at the early stages of plant development.

Winter wheat plants were grown in a greenhouse in 500 ml pots for 6 weeks. Solutions of HM salts:  $Pb(CH_3COO)_2$ ,  $CuSO_4$ ,  $K_2Cr_2O_7$ , matching to pollution at the level of 1 MPC and 5 MPC, were contributed into each pot before sowing seeds and thoroughly mixed with soil (southern chernozem); in the control variant, HM was not introduced.

For seeds presowing inoculation, the microbial preparation Phosphostim-Agro was used, which basis is an effective strain of the phosphate-mobilizing bacterium *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3. This biopreparation was developed in the Department of Agricultural Microbiology of the Crimean Agricultural Research Institute. In the control variants, the seeds were treated with water.

Plant samples were taken every two weeks for analysis for the quantitative content of MDA and sulfolipids. Determination of the photosynthetic pigments concentration in the leaves and accounting for winter wheat biometric indicators was carried out in 6-week-old plants.

During the researches, it was found that the introduction of HM salts into the soil has a negative effect on the growth and development of young *Triticum aestivum* L. plants due to an increase in the level of LP and a decrease in the content of the components of lipid-pigment complex. So, when the soil was contaminated with HM at the level of 1 MPC and 5 MPC, the chlorophylls content in the leaves of experimental plants decreased by 2.5–3.9 times, carotenoids – by 2 times and sulfolipids – by 16–31 % compared to the control. With the increase in MPC, the negative influence of HM intensified.

The use of Phosphostim-Agro for seeds pre-sowing inoculation reduced the stress effect of HM on winter wheat plants. The amount of MDA – an indicator of the level of LP – in the leaves of bacterized 2-week plants which growing on HM-contaminated soil (1 MPC and 5 MPC) decreased by 9 % compared to the control.

It was revealed that pre-sowing inoculation by Phosphostim-Agro significantly weakens the TM-induced (at the level of 1 MPC) inhibition of growth and phytomass accumulation in young *T. aestivum* L. plants by increasing the content of components of the lipid-pigment complex: chlorophylls *a* and *b* (up to 17 % and 32 %, respectively), carotenoids (up to 44 %) and sulfolipids (up to 12 %) in comparison with the control.

The conducted studies allow us to recommend an microbial preparation Phosphostim for pre-sowing inoculation of winter wheat seeds in aim to increase the adaptive potential of plants to the negative effects of soil contamination with HM.

**Keywords:** winter wheat, microbial preparation Phosphostim-Agro, heavy metals, malondialdehyde, chlorophylls, carotenoids, sulfolipids.

## References

1. Teplaya G. A. Heavy metals as a factor of environmental pollution (a review), *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*, **1(23)**, 182 (2013).
2. Vodyanitsky Yu. N. Modern trends in soil pollution with heavy metals, *Agrochemistry*, **9**, 88 (2013).
3. Alekseev Yu. V. *Heavy metals in the agricultural landscape*, 215 (St. Petersburg: Publishing House of the RAS, 2008).
4. Pishik V. N., Vorobyov N. I., Provorov N. A., Khomyakov Yu. V. Mechanisms of adaptation of plants to heavy metals (a review), *Agrophysics*, **2**, 38 (2015).
5. Rakhmatullina N. S., Akinshina N. G., Azizov A. A., Radzhabova G. G. Indicators of the antioxidant system *Artemisia annua* L., *Matricaria chamomilla* L. and *Tanacetum vulgare* L. in natural conditions of growth and in the urban environment, *Scientific review. Biological sciences*, **4**, 28 (2020).
6. Jafarova S. A. Influence of heavy metals on lipid peroxidation in vegetative organs and seeds of oats (*Avena sativa* L.), *International Journal of Applied and Fundamental Research*, **4**, 36 (2020).
7. Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. M., Laidinen G. F. *Plant resistance to heavy*, 172 (Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the RAS, 2007).
8. Tsandekova O. L., Sedelnikova L. L. Assessment of the stability of herbaceous perennials by the level of malondialdehyde in an urbanized environment, *Bulletin of Higher Education Institutes North Caucasus region*, **3**, 56 (2017).
9. Seregin I. V. *Distribution of heavy metals in plants and their effect on growth: dis....* Doctor of Biological Sciences, 424 (Moscow, 2009).

10. Rosentsvet O. A. *Lipid composition of plants as an indicator of their adaptive capabilities to various environmental conditions*: autoref. dis. ... Doctor of Biological Sciences, 36 (Tolyatti, 2006).
11. Zuev E. A. *The influence of heavy metal salts on the biological indicators of cereals*: dis. ... Candidate of Biological Sciences, 133 (Stavropol, 2002).
12. Belimov A. A., Tikhonovich I. A. Microbiological aspects of stability and accumulation of heavy metals in plants, *Agricultural biology*, **3**, 17 (2011).
13. Kuramshina Z. M., Smirnova Yu. V., Khairullin R. M. Increasing tolerance of cultivated plants inoculated with endophytic strains of *Bacillus subtilis* to the action of heavy metals, *Modern problems of science and education*, **6** (2016).
14. Chengjiao Duan, Yuxia Mei, Qiang Wang, Yuhan Wang, Qi Li, Maojun Hong, Sheng Hu, Shiqing Li and Linchuan Fang. Rhizobium Inoculation Enhances the Resistance of Alfalfa and Microbial Characteristics in Copper-Contaminated Soil, *Front. Microbiol.*, **12**, 781831 (2022).
15. Chaikovskaya L. A., Kameneva I. A., Baranskaya M. I., Ovsienko O. L. Patent RF No. 2676926 "Phosphate-mobilizing strains of soil bacteria *Lelliottia nimipressuralis* CCM 32-3 and biopreparation on its basis for the optimization of mineral nutrition of plants, stimulates their growth and increase yields application", *Bul.*, **2**, 12 (2019).
16. Uchiyama M. Determination of malonaldehyde precursor in tissues by thiobarbituric acid test, *Analytical Biochemistry*, **86**, 271 (1978).
17. Zill L. Lipids of photosynthetic tissue. I. Salicylic acid chromatography of the lipids from whole leaves and chloroplasts, *Biochem. Biophys. Acta*, **57**, 573 (1962).
18. Yakovenko G. M., Mikhno A. I. Method of isolation and separation by classes of lipids of leaves and chloroplasts of plants, *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, **3**, 651 (1971).
19. Lichtenthaler N. K. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods in enzymology*, **148**, 350 (San Diego: Acad. Press, 1987).
20. Lakin G. F. *Biometrics*, 343 (Higher School, 1978).
21. Norkulov N. H., Norkulova Z. H., Solieva A. B., Kasparova I. S., Oizoda N. H., Dilovarova N. S., Khakimova R. S., Aliyev K. A., Abdullaev H. A. Malondialdehyde content and superoxide dismutase activity in cotton under stress, *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*, **3-4**, 242 (2019).
22. Trepach A. A. *Features of phosphorous nutrition of winter wheat using Rhizobium radiobacter*: dis. ... candidate of Agricultural Sciences, 174 (Chernihov, 2012).
23. Svetlova N. B., Kalinichenko A. V., Serga O. I., Storozhenko V. O., Ulinets V. Z., Tokmakova L. M., Trepach A. A., Taran N. Yu. The role of wheat seed bacterization by microorganisms with phosphate mobilizing ability, *Manual of the Ukrainian farmer*, 155 (Kiev: Akadempres LLC, 2011).
24. Polevoy V. V. *Plant physiology: Textbook for biol. spec. Universities*, 464 (M.: Higher School, 1989).
25. Korotchenko I. S. The influence of heavy metals on the content of photosynthetic pigments in carrot leaves, *Bulletin of Kras SAU*, **4**, 86 (2011).
26. Andrianova Yu. E., Tarchevsky I. A. *Chlorophyll and plant productivity*, 135 (M.: Nauka, 2000).
27. Pryadkina G. A., Shadchina T. M. The relationship between the power indicators of the photosynthetic apparatus and the grain productivity of winter wheat in different weather, *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, **41(1)**, 59 (2009).
28. Shadchina T. M. Relationship between photosynthetic apparatus characteristics and grain productivity in different winter wheat varieties, *Achievements and problems of genetics, breeding and biotechnology*, **2**, 410 (Kiev: Logos, 2007).