

**Жеребин П.М.**, ст. научн. сотр., **Крутяков Ю.А.**, ст. научн. сотр., к.х.н.  
Лаборатория функциональных материалов для АПК, химического факультета МГУ  
имени М.В. Ломоносова, г. Москва, РФ;  
pmzher@gmail.com

**СТИМУЛЯТОРЫ РОСТА, ЭЛИСИТОРЫ, ФУНГИБАКТЕРИЦИДЫ НА ОСНОВЕ  
КОЛЛОИДНОГО СЕРЕБРА**  
тезисы пленарного доклада

*Стимулятор роста с фунгицидным и бактерицидным эффектом «Зеребра Агро» и фунгибактерицид «Зерокс» - первые в мире вышедшие на рынок средства защиты растений на основе серебра. Представлена история создания, механизм действия, основные характеристики и ключевые преимущества этих препаратов.*

*The plant growth stimulator "Zerebra Agro" with fungicidal and bactericidal effect, and fungibactericide "Zerokh" are the first in the world marketed plant protection products based on silver. The history of creation, the mechanism of action, the main characteristics and key advantages of these preparations are presented.*

*Ключевые слова:* «Зеребра Агро»; «Зерокс»; коллоидное серебро; элиситор; стимулятор роста растений; фунгицид; бактерицид; фитоалексин; иммунитет растений; этилен; ауксин; активные формы кислорода; фитопатоген.

*Keywords:* "Zerebra Agro"; "Zerokh"; colloidal silver; elicitor; plant growth stimulator; fungicide; bactericide; phytoalexin; plant immunity; ethylene; auxin; active oxygen specie; phytopathogen.

История использования специфических противопатогенных свойств серебра насчитывает несколько тысяч лет, еще в древности использовали серебряную посуду для хранения воды, в Средневековье в медицине стали использовать нитрат серебра, в конце 19 века начали применять стабилизированные белками коллоидные растворы, в середине 20 века для лечения ожогов стали применять сульфодиазин серебра, а в конце XX – начале XXI века, в связи как с быстрым развитием нанотехнологий, так и с распространением устойчивых к антибиотикам штаммов, интерес к коллоидному серебру (стабилизированным дисперсиям наночастиц серебра) существенно вырос.

И, конечно, многие ученые исследовали активность коллоидного серебра против патогенных для растений бактерий и грибов, а также влияние серебра на метаболизм растений. Однако все эти исследования, давшие очень перспективные результаты, остались в пределах лабораторий, так как на пути создания коммерчески успешного и массового препарата на основе серебра стояли технологические трудности. Такой препарат должен быть прост в применении, дешев, стабилен в течение длительного времени, он должен иметь высокую концентрацию и быть совместимым в баковых смесях с любыми другими компонентами и с водой любого качества. Именно нашей научной группе с химического факультета МГУ, долгое время работавшей над технологиями химической модификации поверхностей раздела фаз, удалось успешно решить эти технологические проблемы и впервые в мире вывести серебро на рынок пестицидов и агрохимикатов.

«Зеребра Агро» - стимулятор роста с фунгицидным, бактерицидным, и элиситорным эффектом. Действующим веществом является 500 мг/л коллоидного серебра в водном растворе, поверхность частиц коллоидного серебра модифицирована водорастворимым полимером полигексаметиленбигуанида гидрохлоридом в концентрации 100 мг/л. Применяется как для foliarных обработок, так и для обработок посадочного материала – клубней и семян. Механизм фунгицидного и бактерицидного действия «Зеребра Агро» является комплексным, и реализуется по двум направлениям – прямому биоцидному воздействию серебра на патогены, и косвенному (элиситорному, иммунизирующему)

воздействию серебра на растение. При обработках посадочного материала, где используется 1 % раствор препарата, микробицидная активность, проявляемая Зереброй, в основном обусловлена непосредственным воздействием наночастиц серебра на клетки патогенов; а при фолиарных обработках, где используются в 10-30 раз меньшие концентрации, противopatогенное действие «Зеребры Агро» связано с иммунизирующей, элиситорной активностью серебра, которая вызывает увеличение содержания в тканях растения активных форм кислорода и увеличение образования фитоалексинов. Мощная противopatогенная активность «Зеребры Агро», позволяющая в ряде случаев не просто снизить дозировки используемых фунгицидов, но и вообще заменить обработки фунгицидами, является уникальным свойством этого продукта и выделяет его из всех других хороших регуляторов роста.

Механизм ростостимулирующего действия серебра также является сложным и многофакторным, и требует дальнейшего изучения. Однако известно, что совершенно определено, одним из главных факторов ростостимулирующего действия серебра является его селективное ингибирующее действие на Cu(I)-зависимые этиленовые рецепторы на поверхности клеток растения. Клетки перестают принимать сигнал от этилена – гормона старения, что способствует дополнительному продлению периода вегетации и увеличению урожайности. Также было обнаружено увеличение концентрации эндогенных ауксинов в тканях растения под воздействием обработок серебром, что вероятнее всего связано с также показанным в некоторых экспериментах ингибирующим действием серебра на некоторые ферменты, участвующие в окислительном метаболизме ауксинов. И характерная для ауксинов стимуляция развития корневой системы, и выраженное продление периода вегетации (при обработках «Зереброй Агро» на достаточно поздних сроках развития растения) постоянно наблюдаются в обширной практике коммерческого применения «Зеребры Агро» в разных регионах и на разных культурах. Механизм действия препарата является универсальным для всех высших растений, и поэтому для максимально раскрытия потенциала этого препарата в наших планах расширять уже весьма обширный список сельскохозяйственных культур, на которых зарегистрирован этот препарат. Ростостимулирующее действие «Зеребры Агро» включает в себя не только увеличение урожайности, и что сейчас особенно актуально, качества урожая, но и прекрасно проявляется на промежуточных стадиях развития растения, и обуславливающих, в итоге, хороший урожай. Увеличение всхожести, энергии прорастания, дружности всходов. Активное развитие листостеблевого аппарата, и особенно, корневой системы. Развитая вторичная система обуславливают отличную устойчивость обработанных «Зереброй Агро» растений к засухе, а в случае применения «Зеребры Агро» на бобовых развитая вторичная корневая система радикально увеличивает количество клубеньков с азотфиксирующими бактериями. Увеличивается фотосинтетическая активность листьев. Растения, обработанные «Зереброй» намного быстрее, в среднем – на неделю, выходят из «гербицидной ямы», стресса, вызванного гербицидными обработками.

Немаловажным преимуществом препарата «Зеребра Агро» является его безопасность для работников, потребителей сельскохозяйственной продукции, и окружающей среды. Препарат является водным раствором, относится к 4-ому классу опасности, LD определить не удалось по причине очень высокого значения, но 10000 мг/кг массы тела не привели к гибели ни одного животного. Также при проведении регистрационных токсикологических испытаний не было обнаружено раздражающего, сенсibiliзирующего, аллергенного, канцерогенного действия. Препарат безопасен для птиц, пчел, дождевых червей. Вносимое за одну обработку количество серебра – 50 мг/гектар в сотни раз меньше среднего фонового содержания серебра в плодородном слое почвы. Препарат может представлять некоторую опасность для водных организмов, но попадание его в водоемы при штатном использовании полностью исключено, так как положительно заряженные частицы модифицированного

коллоидного серебра очень активно адсорбируются на отрицательно заряженных компонентах почвы – частицы глины, песка, гуминовых веществ, и не фильтруются через почву в водоемы. Стоит отметить, что химические препараты, которые за счет воздействия на метаболизм растения, эффективно обеспечивают защиту от патогенов и стимуляцию роста в крайне малых и безопасных для окружающей среды применяемых дозах, одним из которых является «Зеребра Агро», являются, наряду с биологическими средствами защиты растений, перспективнейшим направлением для научного поиска и инструментом растениеводства будущего.

Фунгицид и бактерицид «Зерокс» - еще один препарат, разработанный нашей научной группой, разработанный не столько для профилактики, сколько для лечения тяжелых форм болезней растений, не для дополнения и усиления действия химических фунгицидов, а для их замены. Представляет собой водный раствор, коллоидную дисперсию отрицательно заряженных частиц серебра, с поверхностью, модифицированной биоразлагаемым аминокислотным поверхностно-активным веществом. Действующим веществом является коллоидное серебро в концентрации 3000 мг/л. Предназначен для обработки клубней картофеля, замачивания семян овощей, и для foliarных обработок различных культур. Механизм действия препарата аналогичен механизму действия препарата «Зеребра Агро», но по причине значительно больших применяемых концентраций серебра (0,5 % - 1 % - для foliarных обработок, 3 % - 5 % - для обработок посадочного материала), основной вклад в биологическую эффективность этого препарата вносит не элиситорное, иммунизирующее действие (как у «Зеребры Агро»), и именно прямое биоцидное воздействие частиц коллоидного серебра на клетки бактерий и грибов. Однако и элиситорное, и ростостимулирующее действие, обусловленные уникальными свойствами серебра, также присутствуют у этого препарата.

Главным преимуществом серебра, как фунгицида, является его универсальность по отношению к различным видам и к различным штаммам патогенов, и крайняя сложность возникновения резистентности, обусловленная неспецифичностью механизма фунгицидного действия – серебро может атаковать сразу несколько клеточных систем гриба или бактерии. Таким образом, серебро можно считать аналогом старых медьсодержащих препаратов, или, например, манкоцеба, но гораздо более эффективным, прогрессивным и безопасным аналогом – ведь самая максимальная вносимая доза коллоидного серебра, вносимая с препаратом «Зерокс», составляет 12 граммов на гектар, что на два порядка меньше, чем вносимые дозы тяжелых металлов вместе с медьсодержащими препаратами или манкоцебом. Из грибковых болезней, против которых препарат особенно эффективен, можно отметить ризоктониоз картофеля, серебристую паршу картофеля, антракноз, альтернариоз картофеля и томата, фитофтороз картофеля и томата, паршу яблони, фузариоз колоса, серую гниль земляники, фомоз, фомопсис, ржавчина, склеротиниоз подсолнечника и др.

Но действительно уникальным качеством «Зерокса» является его высокая бактерицидная активность, особенно актуальная на фоне распространения бактериозов растений, запрета применения антибиотиков в растениеводстве, и почти полного отсутствия эффективных и мощных средств защиты растений от бактериозов. Медь и ТМТД требуют больших и небезопасных для окружающей среды дозировок, но при этом демонстрируют биологическую эффективность ниже среднего, а некоторые препараты, представляющие собой культуральную жидкость различных, вырабатывающих антибиотики, микроорганизмов, несут с собой все минусы антибиотиков, из которых главный – специфичность действия и быстрое развитие резистентности.

«Зерокс» в тестах *in vitro* продемонстрировал высокую активность против таких бактерий, как *Pectobacterium carotovorum* (мягкая гниль картофеля и овощей), *Dickeya dianthicola* (черная ножка и мягкая гниль картофеля), *Agrobacterium tumefaciens* (корневой рак

плодовых, декоративных культур и винограда), *Xanthomonas vesicatoria* (черная бактериальная пятнистость томата), *Clavibacter michiganensis* (бактериальный рак томата и картофеля), *Xanthomonas campestris* (сосудистый бактериоз капусты и рапса), *Erwinia amylovora* (бактериальный ожог плодовых культур). В полевых условиях была показана высокая эффективность против комплекса бактериальных патогенов, вызывающих бактериальную пятнистость свеклы, и уникально высокая, не имеющая аналогов, эффективность против бактериального ожога яблони. В рамках борьбы с бактериальным ожогом препарат уже активно применяется, особенно в странах Средней Азии, где бактериальный ожог уже получил эпифитотийное распространение. Эффективность препарата «Зерокс» против бактериального ожога исследовалась во Всероссийском научно-исследовательском институте карантина растений, в международном центре по борьбе с бактериальным ожогом в университете г. Жироны (Испания), в Казахском НИИ защиты и карантина растений (г. Алматы). Биологическая эффективность препарата в борьбе с бактериальным ожогом составляет от 70 % (достаточно тяжелая форма развития болезни, массовое распространение, особо чувствительные сорта яблони или груша) до 95 % (легкая форма развития болезни, слабая распространенность, малочувствительные сорта яблони).

Безусловно, «Зерокс» в сравнении с «Зереброй Агро» создает большую нагрузку на окружающую среду, но она не идет ни в какое сравнение с тем воздействием, которое на окружающую среду, почву, и продукцию оказывают другие фунгициды и бактерициды неспецифического действия. Накопление действующего вещества в готовой продукции также контролировалось – для клубней картофеля оно оказалось ниже предела обнаружения ICP-MS, для яблок составило 10 мкг/кг, что в 5 раз меньше ПДК серебра для питьевой воды. Самой перспективной нишей, в которой препарат «Зерокс» может оказаться незаменим, является борьба с бактериозами, с карантинными, трудноискоренимыми болезнями, и со штаммами грибковых патогенов, выработавших резистентность к массово применяемым системным фунгицидам. Также препарат прекрасно проявит себя как антибактериальный компонент и как элемент антирезистентной программы в составе комплексной схемы фунгицидных обработок в сочетании с другими фунгицидами.