

Уважаемые коллеги!

В последние десятилетия в мире в качестве альтернативы инсектицидам органического синтеза ведется активный поиск природных веществ, обладающих биологической активностью в отношении вредных членистоногих и безопасных для человека и окружающей среды.

В этой связи большой интерес исследователей вызывают кремнистые осадочные горные породы, сложенные ископаемыми останками простейших морских или пресноводных организмов (микроскопические водоросли диатомеи, низшие животные фораминиферы, радиолярии, губки и др.). В твердых частях тела этих организмов содержится аморфный кремний (SiO_2), благодаря которому их отложения обладают инсектицидными свойствами (Ross, 1981; Katz, 1991; Korunic, 1998; Sarwar, Salman, 2015; Galovic et al., 2017). В мире среди кремнистых осадочных горных пород признание в качестве природных инсектицидов получил диатомит, образованный, в основном, останками диатомовых водорослей и состоящий на 80-90% из аморфного кремния (Korunic et al., 2016).

Токсическое действие диатомита на членистоногих связано с нарушением целостности их покровов в результате адсорбции липидов из воскового слоя эпикутикулы, что приводит к превращению ее в «молекулярное сито», через которое испаряется вода и насекомые гибнут от иссушения (Katz, 1991; Mewis, Ulrichs, 1999; Prasantha et al., 2015). Этот уникальный физиологический механизм действия диатомита, называемый «эффект Цахера», позволяет использовать его препараты против резистентных к нейротоксическим инсектицидам (ФОС, карбаматы, пиретроиды и др.) популяций вредных членистоногих (Lilly et al., 2016).

В ряде стран мира препараты диатомита хорошо зарекомендовали себя в качестве средств борьбы с разными видами бытовых насекомых а также вредителей запасов и полевых культур (Athanassiou et al., 2005; Faulde et al., 2006; Akhtar, Isman, 2013; Korunic, 2013; Goddard, 2014; Shah, Khan, 2014; B. Singh, V. Singh, 2015; Galovic et al., 2017 и др.).

В России на основе диатомита разработано и успешно применяется препарат "ЭКОКИЛЛЕР" в борьбе с постельными клопами, рыжим тараканом, блохами и другими синантропными насекомыми. Известны многочисленные работы по применению диатомита путем смешивания его порошков, смачивающихся порошков или дустов с зерном в борьбе с вредителями запасов (точильщики, долгоносики, хрущаки, мукоеды и др.).

В Юго-Западной Индии в борьбе с комплексом тлей (5 видов) проводили опыливание пшеницы дустом диатомита по пику их численности в нормах от 75 до 600 кг /га. Наибольшее снижение численности тлей наблюдалось в варианте с нормой диатомита 450 кг дуста/га по сравнению с необработанным вариантом, но на 7 сутки после опыливания различия между всеми вариантами опыта нивелировалось. Недостатками такого способа применения диатомита в полевых условиях были кратковременность защитного действия его дуста, высокие нормы, а также угнетению роста и развития пшеницы в результате снижения содержания хлорофилла в листьях и, соответственно, нарушения в них процесса фотосинтеза.

По свойствам к диатомиту близок цеолитсодержащий трепел – алюмосиликатная, тонкопористая по структуре осадочная горная порода. Она состоит из комплекса следующих минералов: клиноптилолита (цеолит) – не менее 42%, монтмориллонита (глинистый минерал) – не менее 16%, опал-кристобалита (аморфный и кристаллический кремний) – до 27 %, кварца – до 10%, мусковита (калиевая слюда) и полевого шпата – до 5 %, а также рассеянного органического вещества (донные отложения фитопланктона и мелких морских животных) (Григорьева, 2002). Цеолитсодержащий трепел содержит также необходимые для роста и развития растений микроэлементы (кальций, магний, калий, фосфор, кобальт, бор и др.).

Месторождения цеолитсодержащего трепела встречается в разных странах, но наиболее крупные находятся в Южной Африке, США и России, в которой они расположены в верхнемеловых отложениях Русской платформы в пределах Орловской, Брянской, Воронежской и Курской областей. Самым

крупным его месторождение на Русской платформе считается Хотынецкое в Орловской области с содержанием аморфного кремния свыше 40%.

Благодаря наличию у клиноптилолита высоких адсорбционных, ионообменных и ряда других свойств в мире ежегодно используется свыше 3 млн. т трепела в разных сферах человеческой деятельности: строительство, нефтехимическая и пищевая промышленность, медицина, охрана окружающей среды (Аксененко, Хопахов, 1998; Белкин, 2003; Лобода и др., 2007; Абаев и др., 2008; Гришин, Кузина, 2008; Подольников и др., 2011).

В сельском хозяйстве цеолитсодержащий трепел применяется в качестве удобрений, субстратов для защищенного грунта, минеральных добавок в корма животных, а также при очистке почв от загрязнений тяжелыми металлами для снижения их содержания в сельскохозяйственной продукции. Учитывая достаточно высокое содержанием аморфного кремния в цеолитсодержащем трепеле, представляло интерес расширить сферу его применения в сельскохозяйственной практике в качестве средства борьбы с вредными членистоногими, особенно с видами, в популяциях которых развивается резистентность к применяемым химическим инсектицидам.

С этой целью был выполнена серия экспериментов в лабораторных и полевых условиях по оценке биологической активности цеолитсодержащего трепела Хотынецкого месторождения для ряда вредителей культур открытого и защищенного грунта. На первом этапе исследований определяли токсичность трепела в отношении следующих видов вредных членистоногих, разводимых в нашей лаборатории в качестве модельных тест-объектов:

– обыкновенная картофельная тля *Aulacorthum solani* Kalt. – сосущий вредитель различным овощных и цветочных культур открытого и защищенного грунта, особую опасность представляет как переносчик вирусной инфекции для посадок семенного картофеля как в поле, так и в теплицах, выращивающих его микрорастения, в лаборатории разводится на растениях картофеля. Опыты проводили с двумя популяциями вредителя,

отличающихся показателями резистентности к инсектицидам. Чувствительная популяция была собрана в семеноводческом хозяйстве «Октябрьское» Волосовского района Ленинградской области на картофеле, резистентная популяция – на хризантеме, купленной в магазине по продаже цветов в Пушкинском районе г. Санкт-Петербурга, обнаружила 105х показатель резистентности к актеллику и 20х – к пиретроиду талстару;

– колорадский жук *Leptinotarsa decemlineata* Say – листогрызущий вредитель картофеля и других пасленовых культур; в лаборатории разводится на растениях картофеля;

– обыкновенный паутинный клещ *Tetranychus urticae* Koch. – сосущий вредитель многих плодовых, овощных, цветочных и декоративных культур; разводится в лаборатории на фасоли штамбовых сортов;

– виноградный мучнистый червец *Planococcus citri* Risso – сосущий вредитель citrusовых, а также декоративных и цветочных культур, выращиваемых в теплицах, разводится в лаборатории на столонах картофеля.

В исследованиях была использована партия порошка цеолитсодержащего трепела производства ОАО «Промцеолит», желтовато-бежеватого цвета, тонкого помола (размер частиц – 100 микрон) и хорошей сыпучести с удельной поверхностью до 950000 см²/г. Содержание аморфного кремния в опал-кристобалите составляло 39 % или 10.53 % – в сырье.

Оценку токсичности трепела для подопытных членистоногих проводили согласно стандартным методикам (Методические указания ..., 2004) при разных способах их обработки:

– опыливание трепелом личинок и имаго виноградного мучнистого червеца, колорадского жука, бескрылых самок и личинок обыкновенной картофельной тли вместе с частями картофеля в чашках Петри или фасоли в фазе 2 настоящих листьев, содержащихся в 50 мл колбочках с водой, заселенных яйцами или самками обыкновенного паутинного клеща, либо посадка членистоногих на опыленный корм;

– окунание листьев кормового растения в суспензии или в супернатант (часовая водная вытяжка из порошка) трепела разной концентрации, приготовленных с добавлением в воду ОП-10 – 10% от навески препарата, с последующей посадкой на них тест-объектов или окунание в них частей кормового растения, заселенных тест-объектами.

После обработки членистоногих содержали в садках с регулируемой длиной дня, температурой и влажностью воздуха, что позволяло создавались благоприятные для их развития условия.

Помимо биологической активности цеолитсодержащего трепела в отношении членистоногих оценивали также его фитотоксические свойства путем опыливания растений препаратом в норме расхода из расчета 40 кг/га или их опрыскивания суспензиями препарата или супернатантом в концентрациях 0,5; 1,0, 2,0, 5,0 и 10,0 % из пульверизатора. Обработанные растения содержали в теплице, наблюдения за их состоянием проводили на 1, 3, 7 и 14 сутки после обработки.

Результаты этих исследований свидетельствуют о наличии контактных токсических свойств у цеолитсодержащего трепела, степень проявления которых зависит от вида, стадии развития и возраста тестируемых членистоногих. Так трепел оказался малотоксичным для имаго и личинок виноградного мучнистого червеца, так как их гибель в разных вариантах опыта не превышала 20-30%, что можно объяснить покрытием покровов насекомого значительным слоем восковой пыли. Смертность обыкновенной картофельной тли от действия трепела колебалась в пределах 70,4-83,0% в зависимости от способа обработки. При этом был получен равноценный токсический эффект при действии трепела на тлей R- и S- популяций.

Цеолитсодержащий трепел не действовал на яйца обыкновенного паутинного клеща, но в зависимости от способа обработки вызывал 63.2-80.4 % снижение численности рождающихся из обработанных яиц личинок и 46.6-73.3% имаго в течение пятисуточного их контакта с обработанной поверхностью. В целом полученные показатели токсичности трепела

недостаточно высоки для изученных сосущих вредителей, развивающихся в период вегетации в нескольких генерациях и образующих обширные популяции на различных культурах.

Оценка действия трепела на колорадского жука выявила убывающую с возрастом ларвицидную активность – наиболее высокую для личинок младших возрастов и ее отсутствие – для старших. Не токсичен цеолитсодержащий трепел для яиц и имаго этого вредителя.

Необходимо так же отметить, что более высокий токсический эффект был получен при непосредственном опыливанием тест-объектов трепелом или их посадке на опыленный корм в сравнение с другими способами обработки, что объясняется механизмом действия этого вещества на членистоногих. Но в настоящее время способ опыливания, как не экологичный, не используется в практике и пестициды применяются, в основном, способом опрыскивания растений. В этой связи значительное внимание в исследованиях было уделено таким способам обработки тест-объектов, как окунание заселенных ими листьев в суспензии или супернатант трепела в 0,5, 1,0 или 2,0% концентрациях и посадке разных фаз развития членистоногих на листья кормовых растений после их погружения в рабочие концентрации. Однако не было установлено существенных различий в токсичности трепела для подопытных объектов, но наблюдалось увеличение ее значений по мере увеличения концентрации.

В специально поставленных опытах при опрыскивании растений картофеля или фасоли концентрациями трепела от 0,5 до 10% не было выявлено фитотоксического эффекта. Учитывая этот факт, а также полученную умеренную и не продолжительную токсичность трепела для изученных видов вредителей, его концентрации и кратность обработок им растений в полевых условиях могут быть увеличены в 2 раза.

В полевых условиях проводили оценку биологической эффективности трепела на картофеле в борьбе с колорадским жуком и обыкновенной картофельной тлей. Она проводилась в деляночных опытах с использованием

стандартных методик, принятых при проведении регистрационных испытаний инсектицидов на картофеле в борьбе с вредителями (Долженко, Сухорученко, 2009; Васильева и др., 2009). Согласно этим методикам, были предусмотрены варианты: обработка делянок трепелом, эталонным препаратом карате Зеон и необрабатываемый контроль в 4 повторностях. Делянки опрыскивали 2 % и 4 % суспензиями трепела и эталоном дважды с недельным интервалом с помощью ранцевого опрыскивателя Solo. Учеты численности вредителей проводили до обработки и далее на 3 и 7 сутки после каждой обработки. Показателями биологической эффективности оцениваемых средств борьбы служили величины снижения численности насекомых в процентах к исходной с поправкой на контроль

Опыты с колорадским жуком закладывали в Белгородской области в фазу начало бутонизации картофеля на резистентной к пиретроидам и ФОС популяции вредителя (число резистентных особей в популяции к актеллику - 89.1%, к суми-альфа - 80.0 %). Возрастная структура популяции вредителя в день обработки (20 мая) была представлена личинками младших возрастов – 85 % и – личинками старших возрастов и имаго – 15 %. Средняя численность личинок на делянках опыта была выше ЭПВ (10 – 15 особей/куст при 10 – 15% заселенности кустов).

Изучение биологической эффективности трепела в борьбе с обыкновенной картофельной тлей проводили в теплице ВИЗР на посадках картофеля, выращиваемого на стеллажах в керамических горшках на фоне искусственного заселения растений в фазу 3 настоящих листьев. Для этого использовали тлю, собранную на посадках картофеля в семеноводческом хозяйстве ЗАО "Октябрьское" (Волосовский район, Ленинградская область. Обработку растений проводили при средней численности вредителя 5-15 особей на лист.

Наблюдения за развитием колорадского жука на фоне применения трепела выявили, что в используемых концентрациях по показателям биологической эффективности он уступает эталону карате Зеон. Так

численность личинок на 3 сутки после обработки 2 % суспензией снижалась на 70.1 % и при обработке 4 % – на 72,2 %. К 7 суткам после обработки эти показатели резко снижались, в связи с чем возникла необходимость в повторной обработке растений. После ее проведения были получены еще более низкие результаты, что можно объяснить увеличением в структуре популяции жука личинок среднего и старшего возрастов, для которых этот препарат мало или вообще не токсичен.

Анализ полученных данных по снижению численности личинок колорадского жука в отдельных вариантах применения трепела свидетельствуют о значительном ее варьировании по повторностям опыта, особенно сильном при обработке 2% суспензией. Отсутствовали существенные различия и в эффективности между концентрациями трепела, что подтвердилось статистической обработкой данных. Наряду с изменениями в возрастной структуре популяции жука этот факт можно объяснить нестабильностью применяемых суспензий и, соответственно, качеством покрытия ими поверхности листьев растений.

Несмотря на то, что трепел выявил умеренную токсичность для колорадского жука, обработки картофеля его суспензиями вызывали снижение его численности в 2.1-2.8 раза по сравнению с необрабатываемым вариантом и сдерживали развитие вредителя, резистентного к ФОС и пиретроидам, ниже ЭПВ в течение 14 суток. Эти данные, а также специфический механизм действия трепела на членистоногих, обусловленный входящим в его состав аморфным кремнием, свидетельствуют о перспективности изучения данного вещества в системах чередования инсектицидов разных классов химических соединений в борьбе с резистентными популяциями колорадского жука

При применении трепела в борьбе с обыкновенной картофельной тлей был получен высокий токсический эффект от обработки трепелом картофеля 4 % суспензией, особенно после второй обработки, когда показатели его биологической эффективности (95,7-94.5 % снижение численности)

приближались к эталону карате Зеон. При обработках заселенных тлей растений 2% суспензией биологическая эффективность двукратного применения трепела находилась на уровне 86.3- 86.8% в течение 14 суток. Различия между вариантами опыта подтвердила статистическая обработка данных. Установленная высокая эффективность трепела в борьбе с обыкновенной картофельной тлей – переносчиком вирусной инфекции позволяет заключить о возможности его использования в первичном семеноводстве картофеля.

Цеолитсодержащий трепел Хотынецкого месторождения безопасен для человека и теплокровных животных, и не требует регистрации в качестве инсектицида, о чем свидетельствует письмо Минсельхоза России № 19/52 от 5.01.2014г.). По данным ВНИИ рыбного хозяйства и океанографии цеолитсодержащий трепел не представляет опасности для окружающей среды, так как величины его среднелетальных концентраций для фито-и зоопланктона и для рыб более 1000 мг/л. Эти материалы, а также полученные нами данные его токсичности для ряда видов членистоногих свидетельствуют о перспективности применения цеолитсодержащего трепела в органическом земледелии.

Вместе с тем для использования трепела в решении обозначенных проблем возникает необходимость в разработке совместно с химиками формы его препарата в виде суспензии или пасты, обеспечивающей равномерное покрытие листовой поверхности растений и, соответственно, получение стабильной биологической эффективности обработок.