

Mozharova I.P., Mukhina M.T.

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova str., 31A, 127434, Moscow, Russia, elgen@mail.ru

This article presents an overview of the materials of the online conference held on March 31, 2021 at the Institute of Agrochemistry. The main purpose of the conference was to consider topical issues and problems arising during the procedure of state registration of pesticides and agrochemicals. The reports highlight the issues of legal and methodological support of registration tests in terms of biological efficacy and safety of pesticides and agrochemicals related to amendments to federal legislation. The conference participants were presented with reports on the methods of laying field experiments and the results of registration tests of new innovative plant growth regulators and fertilizer products on agricultural crops and ornamental plantings in various soil and climatic zones of the Russian Federation. Keywords: conference materials, pesticides, agrochemicals, registration tests, efficiency.

УДК:631.893.99

DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.23

УДОБРЕНИЯ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ: ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

М.Т. Мухина, Р.А. Боровик, А.А. Коришунов
ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

127550, Москва, ул. Прянишникова, 31А, Россия, elgen@mail.ru

Удобрения пролонгированного действия – перспективный и востребованный агрохимический продукт, развитие которого направлено на решение ряда важнейших практических задач сельского хозяйства: снижение потерь элементов питания и, как следствие, уменьшение стоимости и энергоёмкости мероприятий по транспортировке, хранению и внесению удобрений, повышение эффективности их действия и сохранение окружающей среды. В статье рассматриваются преимущества и недостатки удобрений пролонгированного действия, а также даётся детальный исторический обзор этапов и направлений развития основных групп этих удобрений.

Ключевые слова: пролонгированные удобрения, медленно действующие удобрения, удобрения контролируемого действия, история агрохимии.

Для цитирования: Мухина М.Т., Боровик Р.А., Коришунов А.А. Удобрения пролонгированного действия: основные этапы и направления развития // Плодородие. – 2021. – №4. – С. 77-82. DOI: 10.25680/S19948603.2021.121.23.

Интенсивное развитие сельского хозяйства в России и в мире требует разработки новых эффективных форм минеральных и органических удобрений, а также технологий, позволяющих минимизировать затраты и негативное влияние на окружающую среду при их производстве и применении. Одним из крупных направлений агрохимической промышленности с середины XX в. является производство удобрений пролонгированного действия. В отечественной литературе отсутствует чёткое определение этого вида удобрений. Под ним, а также синонимичными терминами – медленнодействующими, продлённого действия, длительно действующими, удобрениями с повышенным коэффициентом использования – понимают разнородные в химическом и физическом отношении продукты, в которых элементы питания, находящиеся в недоступной для растений форме, при попадании в почву с относительно низкой скоростью трансформируются в доступную. К этой группе удобрений нередко причисляют композиции, содержащие ингибиторы нитрификации [1,2]. Наиболее распространёнными удобрениями пролонгированного действия являются азотные, однако современный ассортимент включает также фосфорные, калийные, комплексные и микроудобрения [3, 4].

В зарубежной литературе сформулированы достаточно чёткие определения, позволяющие обособить удобрения пролонгированного действия в отдельную группу, отличающуюся от «быстродействующих удобрений» по характерному замедленному паттерну

трансформации питательных элементов в доступные растениям формы.

Американская ассоциация государственного контроля за продуктами питания даёт этой группе следующее определение [5]: медленнодействующие удобрения – это удобрения содержащие элементы минерального питания в форме, задерживающей их поглощение растениями после применения или увеличивающей их доступность на гораздо более продолжительное время по сравнению с быстродействующими формами, такими как нитрат аммония, мочевины, фосфат аммония или хлорид калия. Механизмы пролонгации действия удобрений могут достигаться разными путями: контроль растворимости, покрытие полупроницаемыми материалами и т.д.

Европейский комитет по стандартизации (CEN) приводит [6] более чёткие критерии, по которым удобрение можно рассматривать как медленнодействующее при температуре 25°C: не более 15% питательных элементов становятся доступными в течение 24 ч.; не более 75 % питательных элементов становятся доступными в течение 28 дней; по меньшей мере около 75 % питательных элементов становятся доступными в течение установленного периода.

Начиная с 90-х годов в зарубежной литературе возникла тенденция различать две группы удобрений пролонгированного действия – это медленнодействующие удобрения (slow release) и удобрения контролируемого действия (control release). К первой группе относят

удобрения, у которых скорость перехода элементов питания в доступную форму сильно зависит от естественных неконтролируемых факторов. Технологии производства удобрений последней группы позволяют контролировать влияние этих факторов на этапе разработки [4]. Международная Организация по Стандартизации (ISO) даёт следующие определения этим группам удобрений: медленнодействующие удобрения – удобрения, в которых путём гидролиза и/или биоразложения и/или ограничения растворимости достигается увеличение периода доступности питательных элементов по сравнению с аналогичным «растворимым» удобрением, таким как сульфат аммония, нитрат аммония или мочевины; удобрения контролируемого действия – удобрения, в которых элементы питания становятся доступными с заявленной скоростью за заявленное время при указанной температуре [7].

Преимущества и недостатки удобрений пролонгированного действия. Перспективность использования пролонгированных форм удобрений обусловлена целым рядом преимуществ, самое основное – значительно снижаются потери элементов питания [4, 8]. Особенно остро этот вопрос касается азота, потери которого из удобрений за счёт вымывания и денитрификации достигают значительных размеров. Так использование изотопных методов показывает, что газообразные потери азота из удобрений в среднем составляют 24%, однако при определённых условиях могут достигать 50% [9]. Потери питательных элементов – серьёзный фактор загрязнения окружающей среды. Совместное использование пролонгированных азотных удобрений с «быстродействующими» позволяет сократить потребление последних на 20-30% [8].

Использование в качестве удобрений минеральных солей повышает риск возникновения осмотического токсического эффекта, который может привести к гибели семян и молодых корней. Использование удобрений пролонгированного действия значительно снижает или полностью исключает этот эффект. Технологии производства пролонгированных форм позволяют включать в композицию несколько элементов питания, получая полные комплексные удобрения, что в сочетании со снижением вероятности возникновения токсического эффекта и потерь элементов питания позволяет сократить количество внесений, а следовательно расходы на применение этих удобрений. Более того, применение пролонгированных форм азотных удобрений улучшает качество растительной продукции, снижая в них содержание нитратов [4, 8, 10].

Применение удобрений пролонгированного действия позволяет снизить интенсивность деградации почв. Американский специалист R.D. Nauck [11] приводит концепцию «микросайта», согласно которой при попадании в почву вокруг гранул простых солей образуется область с экстремально высокой концентрацией ионов, осмотическим давлением и резко кислым либо резко щелочным pH. В таких условиях интенсифицируются процессы выветривания и разрушения почвенных минералов, а также замещение катионов кальция и магния на аммоний и калий, что в итоге ускоряет разрушение почвенной структуры.

Технологии производства удобрений контролируемого действия направлены на то, чтобы «синхронизировать» паттерн перехода элементов питания в доступные растениям формы с паттерном потребностей расте-

ний». Несмотря на то, что этот «идеал» в настоящее время не достижим в полевых условиях, некоторые форм удобрения контролируемого действия позволяют повышать содержание питательных элементов в почве в критические для растений периоды [4, 8].

Несмотря на множество преимуществ, удобрения пролонгированного действия всё ещё не получили достаточно широкого распространения в сельском хозяйстве. Этому препятствует ряд обстоятельств. Главное из них – высокая цена продукта, которая обусловлена сложным многоступенчатым процессом производства и дорогой маркетинговой политикой, требующей наличия квалифицированных консультантов и сопутствующего сервиса. Удорожанию способствует и то, что мощности заводов по производству пролонгированных удобрений зачастую не велики, а материалы, используемые в качестве покрытия нередко значительно дороже действующих компонентов [8].

В настоящее время отсутствуют стандартизированные методы определения паттерна трансформации питательных элементов в доступные формы. Лабораторные способы определения зачастую не согласуются с данными полевых исследований [8].

Применение капсулированных удобрений, где в качестве покрытия используют синтетические труднорастворяемые полимеры приводит к накоплению частиц пластика в почве. Интенсивность накопления может достигать 50 кг/га в год [8].

После внесения некоторых форм удобрений пролонгированного действия в почву может последовать «взрывной» эффект (“burst” effect) – резкий переход в почвенную среду питательных элементов в виде солей или ионов, что может оказать токсическое воздействие на семена и корни растений. Наиболее часто данный эффект возникает из-за присутствия в партии большого количества повреждённых гранул или гранул с некачественным покрытием, которое резко разрушается в определённых условиях [8, 10].

Применение удобрений, где в качестве покрытия используют серу, может привести к подкислению почвенной среды. При определённых условиях этот факт может рассматриваться как недостаток, но с другой стороны этот процесс способствует повышению подвижности фосфора и микроэлементов [8, 10].

Основные этапы развития индустрии удобрений пролонгированного действия. С начала XX в. с развитием химии полимеров появились первые в современном понимании медленнодействующие удобрения. Ими стали мочевино-формальдегидные удобрения, которые с 20-х годов начали постепенно внедряться в агрономическую практику. Однако промышленное производство мочевино-формальдегидных удобрений началось только в 50-х годах в США. Дальнейшее развитие технологии производства этой группы удобрений привело к появлению новых видов медленнодействующих азотных удобрений на основе мочевины и других альдегидов.

Качественно новым этапом в развитии индустрии пролонгированных удобрений стало появление форм в начале 60-х годов XX века капсулированных форм. Первый представитель новой группы – мочевины с серным покрытием. Сразу вслед за ней были изобретены капсулированные формы мочевины с покрытием на основе разнообразных синтетических полимеров. В период 70-80-х годов XX века технологии нанесения покрытий интенсивно развивались, многие из них позволяли получать не только

азотные, но и комплексные капсулированные формы удобрений. Однако в этот период наиболее популярной и востребованной формой оставались мочевино-формальдегидные удобрения [13, 14].

В 80-х годах накопилось достаточное количество исследований удобрений пролонгированного действия, которые позволили сделать первые попытки их классификации. J.J. Oertli [13] предложил выделять следующие группы удобрений: 1 – с покрытием, 2 – в которых трансформация питательных элементов в доступные формы происходит за счёт микробиологического разложения (мочевино-формальдегидные удобрения и др.), 3 – удобрения, в которых элементы питания физически или химически удерживаются на несущей матрице (насыщенный аммонием торф или уголь и т.п.). Труднорастворимые соединения, на подобие фосфатов аммония и металлов и традиционные органические удобрения (навоз, костяная, кровяная мука и т.п.) Oertli тоже рассматривает как медленнодействующие.

Аналогичную классификацию предложил Hauck R.D. [15], разделив медленнодействующие удобрения на четыре группы: растворимые в воде, имеющие физический барьер (удобрения с покрытием); труднорастворимые неорганические соединения; нерастворимые в воде органические соединения, подверженные химическому или микробиологическому разложению (мочевино-формальдегидные удобрения); относительно растворимые в воде разлагаемые органические соединения (соли гуанилмочевины и др.).

Наиболее востребованную классификацию предложил израильский специалист A. Shaviv [4, 17]. Он разделил удобрения пролонгированного действия на следующие группы: азотсодержащие органические соединения с низкой растворимостью (мочевино-альдегидные удобрения и др.); удобрения, в которых контролируемое действие обеспечивается за счёт наличия физического барьера (удобрения с покрытием и матричные удобрения); слабо растворимые неорганические соединения.

Накопившиеся данные полевых и лабораторных исследований привели к появлению на рубеже 70-80-х годов первых математических моделей, описывающих динамику трансформации элементов питания в доступные растениям формы. В последующие десятилетия эти модели бурно развивались и стали основой для проектирования покрытий удобрений с заданным паттерном высвобождения элементов питания [4, 16].

Высокая цена на удобрения пролонгированного действия по сравнению с традиционным долгое время ограничивала их использование. Первоначально они занимали крайне специализированные ниши в агрономическом секторе рынка (газоны, стадионы, питомники). Только начиная с 90-х годов спектр применения медленнодействующих удобрений стал расширяться и постепенно начал включать в себя основные полевые культуры (озимую пшеницу, рис, кукурузу), картофель, овощные и плодовые культуры [8]. Общемировое потребление удобрений пролонгированного действия в середине 90-х оставалось низким и составляло 0,15% всего рынка. Около 550 тыс. т удобрений производились ежегодно, а основными потребителями были страны Северной Америки (~70%), Европа (~15%) и Япония (~15%). Удобрения с покрытием в это время становятся всё более востребованными в сельском хозяйстве и потеснив мочевино-формальдегидные удобрения они ста-

ли занимать 75% рынка. Преимущественным спросом пользовалась мочевины с серным покрытием, но также интенсивно рос интерес к удобрениям с полимерным покрытием [4].

Современным направлением в разработке удобрений пролонгированного действия является создание композиций на основе нанотехнологий.

Медленнодействующие удобрения на основе мочевины и альдегидов. В период с 1918 по 1924 г. в США, Германии и Австрии был получен ряд патентов на различные технологии каталитического синтеза мочевиноформальдегидных смол, которые нашли широкое применение в химической промышленности при производстве пластиков [18, 19].

Первые попытки оценить возможность использования мочевино-формальдегидных смол в качестве азотных удобрений были сделаны в 1923 г. [20]. А уже в 1924 г. немецкая компания BASF получила первый патент на использование продукта полимеризации мочевины и формальдегида как азотного удобрения. В последующие десятилетия технологии синтеза стали совершенствоваться, а продукты его постепенно внедрялись в агрономическую практику [10, 21].

Реакция полимеризации мочевины и формальдегида протекает в условиях контролируемого соотношения исходных продуктов реакции, температуры и pH. Продукт представляет собой смесь непрореагировавшей мочевины, димеров, олигомеров, таких как монометилмочевина или диметилмочевина, а также цепочек метилмочевины различной длины. Добавление катализатора позволяло получать продукты с большей растворимостью в воде, а подкисление реакционной смеси приводило к образованию длинных цепочек полимеров. Увеличение соотношения мочевины и формальдегида позволяет получать удобрения с большей долей растворимого в воде азота. Типичное содержание азота в мочевино-формальдегидных продуктах – около 40% азота [4, 14, 21].

Систематические и обстоятельные исследования мочевино-формальдегидных удобрений начались в конце первой половины XX в. на базе Бюро Растениеводства в городе Белтсвилль в США. Сотрудники бюро Йи, Лов, Кларк и Бойд (Yee, Love, Clark & Boyd) с 1946 по 1951 г. опубликовали ряд работ, в которых была установлена связь скорости минерализации мочевиноформальдегидных удобрений в почве с условиями синтеза продукта, соотношением мочевины и формальдегида в исходной реакционной смеси, а также с условиями внешней среды – температурой и кислотностью почвы. Именно в этих работах впервые были продемонстрированы пролонгированные свойства данных удобрений. Были предложены первые способы оценки скорости разложения и перехода азота в доступные формы основанные на растворимости мочевиноформальдегидных удобрений в воде при различной температуре [20].

Эти методы оценки претерпели ряд изменений и в настоящее время распространение получил индекс активности (AI), который определяется как $(CWIN - HWIN)/CWIN \cdot 100$, где CWIN – доля азота нерастворимого в холодной воде, HWIN – доля азота, нерастворимого в горячей воде. Значение CWIN получают путём вычитания доли азота растворимого в холодной воде при 25°C (CWSN) из доли азота растворимого в горячей воде при 100°C (HWSN). Индекс активности

показывает долю фракции с относительно долгим периодом минерализации (около 6 месяцев) [4].

С 1955 г. началось промышленное производство мочевино-формальдегидных удобрений и почти до 90-х годов XX в. они остаются самыми популярными и востребованными медленнодействующими удобрениями. Совершенствование технологий синтеза позволило повысить индекс активности этих удобрений с 40 до 55-60% и получать продукты большей чистоты. Основное количество исследований впоследствии посвящено влиянию факторов внешней среды, таких как биологическая активность почв, влажность, содержание глинистых минералов и др., на скорость минерализации мочевиноформальдегидных удобрений при различном соотношении исходных реагентов [4, 12, 21].

Среди других азотных удобрений на основе мочевины и альдегидов наибольшее распространение получили следующие формы.

Изобутилидендимочевина, разработанная в Японии в 1962 г., занимает второе место среди мочевиноформальдегидных удобрений по уровню потребления. Она содержит около 31% азота и является самой труднорастворимой формой (90% азота не растворимо в воде). В отличие от мочевиноформальдегидных удобрений, минерализация которых происходит в основном благодаря деятельности микроорганизмов, изобутилидендимочевина в почве разлагается путём гидролиза. Таким образом, скорость её разложения в первую очередь зависит от размера гранул и влажности [4, 14, 22].

На основе уксусного альдегида и мочевины в 1956 г. немецкой компанией BASF разработана кротонилидендимочевина под торговой маркой Floranid®. В 1962 г. она вышла на рынок. Эта форма содержит 32% азота, а разложение её в почве осуществляется как микроорганизмами, так и путём гидролиза [4, 22].

Мочевина-Триазон – разработан в середине 80-х годов и основан на реакции мочевины, аммония и формальдегида. Удобрение содержит 28% азота и выпускается в жидкой форме преимущественно для газонов [4, 23].

Удобрения с серным покрытием. Развитие индустрии производства капсулированных форм удобрений началось с разработки мочевины с серным покрытием в 1961 году на базе лабораторий Управления Долины Теннесси (далее TVA – Tennessee Valley Authority) в США. Первый патент на процесс производства этого удобрения был получен в 1967 г., а с 1972 г. компания Imperial Chemical Industries, Ltd начала промышленное производство мочевины с серным покрытием и к 1975 г. объём производства достиг 30000 тон в год. С 1976 г. японская компания Mitsui Toatsu Chemicals начала производство комплексных удобрений с серным покрытием под торговой маркой SC KASEI® [15, 24].

Промышленный процесс производства удобрений с серным покрытием основан на технологии разработанной в TVA, при которой в крутящемся барабане расплавленная сера распыляется на гранулы удобрений. Элементарная сера, которая в то же время является питательным элементом для растений, является дешёвым сырьём и её удобно использовать в качестве покрытия так как температура плавления невысока – 156°C. После нанесения покрытия его укрепляют с помощью воска, чтобы предотвратить крошение и замедлить разложение микроорганизмами. Получившийся продукт в типичном случае содержит 31-38% азота, 16 серы и 5% воска [4, 15, 24].

Пролонгированное действие удобрений с серным покрытием основано на том, что в одной партии присутствуют гранулы разной степени прочности: имеющие трещины на поверхности; у которых трещины запечатаны воском, и с полностью неповреждённым покрытием. Покрытие гранул первой группы разрушается сразу после контакта с водой, что обуславливает характерный для удобрений с серным покрытием «взрывной» эффект. Другие гранулы разрушаются постепенно, по мере разложения воска микроорганизмами. Часть гранул с толстым и неповреждённым покрытием может сохраняться в почве дольше, чем необходимо. Это явление называется эффект «запечатывания» (“lock-off” effect) [4, 8].

Механизм пролонгации удобрений с серным покрытием малоэффективен. В попытке преодолеть недостатки впоследствии была разработана технология, позволяющая наносить тонкий слой органического полимера, как правило термопластика или смолы, поверх гранулы. Этот слой предохраняет поверхность от истирания и улучшает паттерн высвобождения питательных элементов. Однако, степени «взрывного» эффекта и эффекта «запечатывания» у гибридных форм удобрений остаются такими же, как при обычном серном покрытии [4, 8].

Исследования удобрений с серным покрытием активно проводились в 70-80-х годах. Их эффективность по сравнению с простыми растворимыми формами доказана на кукурузе, пшенице, рисе, плодовых и овощных культурах. Было установлено влияние возрастания температуры, влажности на увеличение скорости разрушения покрытия гранул. Выявлено, что почвенная кислотности (в интервале pH от 5 до 8) и микробиологическая активность почв слабо влияют на скорость высвобождения элементов питания [15, 24].

Удобрения с покрытием на основе органических полимеров. Новым витком развития технологии получения капсулированных удобрений пролонгированного действия стало появление полимерных покрытий. Первым представителем этой группы был Осмокот. Технология его получения разработана компанией Archer Daniels Midland (Калифорния, США) в 1965-1966 г., а в 1967 г. она куплена компанией Sierra Chemical Company, которая стала выпускать на рынок азотные, калийные и полные минеральные удобрения пролонгированного действия под марками Osmocote® и Sierrablen® [4, 15, 25].

Осмोकот имеет многослойное пористое покрытие на основе алкидных смол. При попадании в почву, влага под действием осмотического давления проникает через поры внутрь гранулы, в результате чего она растягивается, и через расширенные поры питательные элементы в растворённом виде выходят наружу [4, 15].

В 70-х годах начинается бурное развитие индустрии удобрений с полимерным покрытием. В Японии в это время Showa Denko K.K. выпускает удобрения под торговой маркой CSR® с покрытием на основе фенолформальдегидных смол. Под торговыми марками Polyon® (Koch Agronomic Services, США), Multicote® (Haifa, Израиль) и Plantacote® (Aglucon, Германия) выпускаются удобрения с покрытием на основе полиуретана. Meister®, Nutricote® (Chissoasahi, Япония) и Ficote® (Fisons, Британия) – удобрения с покрытием на основе полиэтилена [8, 15].

Сейчас разнообразие используемых полимерных материалов довольно велико – существуют технологии, позволяющие создавать покрытия на основе термопла-

стика, метакриловой кислоты, полистирена, поливинилхлорида, винилацетата, полиакриламида, ацетилцеллюлозы, мочевиноальдегидных смол, парафинов и т.д. [4, 26]. Разнообразие материалов обуславливает разные механизмы выхода питательных веществ из гранул – осмотическое набухание с последующим растворением, микробиологическое разложение покрытия, фотодеградация и т.д. Изменение состава, толщины и комбинации слоёв покрытия позволяет добиться достаточно тонкой регуляции паттерна выхода элементов питания из гранул [8].

Несмотря на своё разнообразие, удобрения с полимерным покрытием имеют ряд общих черт. Стоимость материала покрытия зачастую значительно выше стоимости действующего вещества, при этом невозможно получить концентрированные удобрения, так как покрытие даже при небольшой толщине занимает до 40% объёма гранулы. С другой стороны, свойства многих полимерных покрытий почти не изменяются под действием почвенных факторов и скорость выхода питательных веществ из гранулы зависит главным образом от толщины и состава слоёв [8, 15].

Удобрения с покрытиями на основе суперабсорбентных и биоразлагаемых материалов. Во второй половине 90-х г. появляются новые типы удобрений с покрытием из суперабсорбентных полимерных материалов. Это трёхмерные поперечно-сшитые гидрофильные полимеры, способные впитывать объём воды в сотни раз превышающий их вес, при этом впитанная влага прочно удерживается внутри гранул даже при иссушении почв. Такие материалы, помимо пролонгации действия удобрений, обладают рядом сопутствующих положительных эффектов – они позволяют снизить потребление воды и их применение целесообразно в засушливых районах. Удобрения на основе суперабсорбентных материалов уменьшают испарение влаги с почвы, улучшают её аэрацию и снижают загрязнение, связанное с газообразными потерями азота или вымыванием. В качестве материалов наиболее часто используют поперечно-сшитые полиакрилаты и полиакриламиды, гидролизованные целлюлозные-полиакрилонитрилы, крахмал-полиакрилонитрил сшитые сополимеры, аттапулгит (глинистый минерал), альгинат натрия и каррагинан (полисахарид, выделенный из красных водорослей) [26–28].

Проблема накопления пластика в почвах при использовании удобрений с полимерным покрытием, подтолкнула в начале XXI в. к развитию технологий производства биоразлагаемых покрытий. Первым и наиболее популярным в этой группе удобрений стал крахмал – дешёвый, доступный и возобновляемый материал. Однако свойства крахмала не позволяют использовать его в качестве покрытия в чистом виде. Крахмал используют в композиционных составах с изобутилендимочевинной, воском, акриловой кислотой и др. Получили распространение и другие композиции на основе дешёвых и возобновляемых материалов – лигнина и фосфогипса [26–28].

Матричные медленнодействующие удобрения. Это группа удобрений, в которых питательные вещества химически или физически удерживаются внутри матрицы-носителя. Спектр материалов, используемых в качестве матрицы, довольно широк – синтетические полимеры, стекло, природные органические соединения (полисахариды, лигнин и т.п.). Характер действия и паттерн трансфор-

мации элементов питания в доступные формы определяются природой матричного материала, т.е. трансформация может осуществляться путём растворения, биологического, химического разложения или иным способом. Матричные удобрения выпускаются в виде таблеток, спайков, брикетов, гранул [15, 17].

Несмотря на разнообразие форм и материалов матричные удобрения не нашли широкого применения и используются главным образом в личных подсобных хозяйствах. Причина, по которой их применение столь ограничено, заключается в низкой эффективности и в том, что эффект пролонгации достигается лишь при объёме матричного материала более 40% объёма удобрения, из-за чего не удаётся добиться высокой концентрации действующего вещества. Тем не менее матричные удобрения развиваются вместе с другими группами и основной исторический тренд их развития заключается в переходе от использования синтетических полимеров к дешёвым возобновляемым биоразлагаемым материалам [4, 8].

Другие типы удобрений пролонгированного действия. Одна их распространённых групп пролонгированных удобрений – неорганические соединения с низкой растворимостью. Наиболее распространённый тип удобрений в этой группе имеет общую формулу $MeNH_4PO_4 \cdot H_2O$, где Me – двухвалентный металл (магний, железо, цинк или марганец). Аналогично применяются фосфат-калийные соли металлов. Пролонгированный эффект достигается за счёт постепенного растворения и зависит от размера частиц, влажности, кислотности почвы и температуры. Фосфаты с низкой растворимостью, в частности подкислённые фосфориты, тоже рассматриваются как медленнодействующие неорганические удобрения [4, 12].

Супергранулы – группа удобрений, в которой пролонгированное действие достигается за счёт уменьшения соотношения площади поверхности к объёму. Супергранулы применяют для удобрения деревьев, кустарников и горшечных растений. В тропических регионах их используют при выращивании риса [8].

Нанокompозиты контролируемого действия. Нанотехнологии – современный тренд в развитии индустрии удобрений. Эти технологии позволяют разрабатывать «умные удобрения» с контролируемым пролонгированным механизмом действия, способным синхронизировать высвобождение элементов питания с потребностями растений. В наноудобрениях контролируемого действия используют физический барьер, регулирующий скорость выхода элементов питания. Действующие вещество покрывают специфической мембраной или гидрофобным полимером, либо включают в поры матричного материала. В производстве таких удобрений используют гидрогели и биополимеры [26, 29].

Заключение. Индустрия удобрений пролонгированного действия существует на протяжении почти ста лет. Всё это время она решает три задачи, возникавшие последовательно по мере развития агрохимической науки: повышение коэффициента использования удобрений, синхронизация во времени высвобождения питательных элементов с потребностями растений, и создание экологических ресурсосберегающих технологий производства. Наиболее успешными в решении этих задач оказались удобрения с покрытием, благодаря гибкости и конструктивности технологии их производства, а также возможности использовать большое разнообра-

зие материалов. Вероятно, развитие именно этой группы будет интенсивно продолжаться в будущем, а внедрение современных технологий позволит создать принципиально новые формы «умных» удобрений пролонгированного действия.

Литература

1. Минеев В.Г. Агрохимия. Учебник. / В.Г. Минеев, В.Г. Сычёв, Г.П. Гамзиков. – М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
2. Пироговская Г.В. Медленнодействующие удобрения / Г.В. Пироговская. – Минск: Академия Аграрных Наук Республики Беларусь, 2000. – 287 с.
3. Science of the Total Environment / K. Mikula [et al.] // Controlled release micronutrient fertilizers for precision agriculture – a review. – 2020. – Vol. 712.
4. Shaviv A. Advances in Agronomy / A. Shaviv // Advances in Controlled-Release Fertilizers. – 2001. – Vol. 71. – P. 2-51.
5. Association of American Plant Food Control Officials: Official Publication No. 50, Inc. West Lafayette, Indiana, USA. Official Publication No. 50. – AAPFCO, 1997.
6. Kloth B. Reply to the request on controlled release fertilizers. Personal communication. / B. Kloth. – Aglukon Spezialdünger GmbH, 1996.
7. ISO 8157:2015(en) Fertilizers and soil conditioners — Vocabulary. ISO 8157:2015. – 2015.
8. Trenkel M.E. Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture / M.E. Trenkel. – 2nd. – Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010. – 163 p.
9. Изотопы: свойства, получение, применение. : in 2 т. Т. 2 / Под ред. В.Ю. Баранова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 728 с.
10. Shaviv A. Fertilizer Research / A. Shaviv, R.L. Mikkelsen // Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation- A review. – 1993. – Vol. 35. – P. 1-12.
11. Hauck R.D. Significance of nitrogen fertilizer microsite reactions in soil / R.D. Hauck // Nitrogen in Crop Production. – Madison, WI: ASA, 1984. – P. 507-533.
12. Sazzad M.H. A Review & Outlook of Slow-Release Fertilizer. A breakthrough product for agronomy & horticulture / M.H. Sazzad, T. Islam, F. Chowdhury. – Saarbrücken: Lambert Academic Publisher, 2013. – 158 p.
13. Oertli J.J. Fertilizer research / J.J. Oertli // Controlled-release fertilizers. – 1980. – № 1. – P. 103-123.
14. Hauck R.D. Slow-Release Nitrogen Fertilizers / R.D. Hauck // Nitrogen in Crop Production. – Madison, WI: ASA, 1984. – P. 195-206.
15. Hauck R.D. Slow release and bio-inhibitor-amended nitrogen fertilizers / R.D. Hauck // Fertiliser Technology and Use. – Madison: SSSA, 1985. – P. 293-322.
16. Advances in Chemistry / S.I. Sempeho [et al.] // Meticulous Overview on the Controlled Release Fertilizers. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1-16.
17. Communications in Soil Science and Plant Analysis / J. Fu [et al.] // Classification research and types of slow controlled release fertilizers (SRFs) used – a review. – 2018. – Vol. 49. – № 17. – P. 2219-2230.
18. Carraher C.E.Jr. Giant Molecules. Essential Materials for Everyday Living and Problem Solving / C.E.Jr. Carraher. – 2nd. – Hoboken: John Wiley & Son, 2003. – 483 p.
19. Brydson J.A. Plastics materials / J.A. Brydson. – 6th. – Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1995. – 896 p.
20. Winsor G.W. The Journal of the Science of Food and Agriculture / G.W. Winsor, M.I.E. Long // Development of Urea-Formaldehyde Compounds as Nitrogenous Fertilizers. – 1958. – № 9. – P. 185-194.
21. Tandon H.L.S. Indian Journal of Fertilisers / H.L.S. Tandon // A Short History of Fertilizers. – 2010.
22. Hayase T. Japan Agricultural Research Quarterly / T. Hayase // Slowly Available Nitrogen Fertilizers. – 1968. – Vol. 3. – № 4. – P. 1-4.
23. Clapp J.G. The Scientific World / J.G. Clapp // Urea-Triazone N Characteristics and Uses. – 2001. – Vol. 1. – № 2. – P. 103-107.
24. Guertal E.A. HortTechnology / E.A. Guertal // Slow-release Nitrogen Fertilizers in Vegetable Production: A Review. – 2009. – Vol. 19. – № 1. – P. 16-19.
25. 50 years of Osmocote [Электронный ресурс]: Режим доступа <https://icl-sf.com/global-en/osmocote50/> – 25.05.2020.
26. Sharma N. International Journal of Agricultural Science and Research / N. Sharma, A. Singh // A review on changes in fertilizers: from coated controlled release fertilizers (CRFs) to nanocomposites of CRFs. – 2019. – Vol. 9. – № 2. – P. 53-74.
27. Ni B. Chemical Engineering Journal / B. Ni, M. Liu, S. Lu // Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations. – 2009. – № 155. – P. 892-898.
28. Journal of Controlled Release / A. Babar [et al.] // Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. – 2014. – № 181. – P. 11-24.
29. Novel nanocomposite-based controlled-release fertilizer and pesticide formulations: Prospects and challenges / A. Kalia [et al.] // Multifunctional Hybrid Nanomaterials for Sustainable Agri-Food and Ecosystems : Micro and Nano Technologies / ed. K.A. Abd-Elsalam. – Elsevier, 2020. – P. 99-134.

SLOW- AND CONTROL-RELEASE FERTILIZERS: BRIEF HISTORY AND MODERN TRENDS

M.T. Mukhina, R.A. Borovik, A.A. Korshunov

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova str., 31A, 127434, Moscow, Russia, elgen@mail.ru

Slow- and control release fertilizers are promising and demanded product of agricultural chemical industry which can solve a numerous problem of modern agriculture. The problems are loss of nutrients, high cost and low energy efficiency of transporting, storing and application of fertilizers, environmental problems. This paper provides an overview on advantages and disadvantages of slow- and control release fertilizers. Brief history and modern trends in development of numerous groups of fertilizers are demonstrated.

Key words: slow-release fertilizers, control-release fertilizers, fertilizers history, modern fertilizers.