

RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF FERTILIZERS FOR FEED BEANS FOR GRAIN ON SOD-PODZOLIC SOILS

T. M. Seraya, E. N. Bogatyreva, T. M. Kirdun, Yu. A. Simankova

Summary

Agronomically justified doses and terms of application of fertilizers for forage beans have been developed, depending on the method of basic processing and the degree of cultivation of sod-podzolic soils, standards for the specific removal of nutrients by the crop of corn beans and standards for the accumulation of crop and root residues by forage beans are presented and the contents of the batteries in them.

УДК 632.954:63

ФОРМИРОВАНИЕ АССОРТИМЕНТА ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ В XX–XXI ВЕКАХ

Е. А. Якимович

*Институт защиты растений,
аг. Прилуки, Минский район, Минская область*

Сельскохозяйственные культуры характеризуются достаточно низкой конкурентоспособностью. По данным РУП «Институт защиты растений» общий вклад гербицидов в суммарный сохраненный урожай интегрированной системы защиты в посевах сахарной свеклы составляет – 81 %, кукурузы на зерно – 70 %, озимых и яровых зерновых культур – 39–45 %, картофеля – 25 %, озимого рапса – 24 %.

Проблемы культивирования растений занимали древних аграриев со времен неолитической революции, когда охотники и собиратели превратились в земледельцев и скотоводов. Борьба с сорняками велась всеми доступными способами: прополкой, скашиванием и вырыванием с корнем. Известно, что одним из первых в мире неселективных гербицидов стала смесь соли и золы. Применять ее начали еще в XII в. до н. э. Так, например, Библия упоминает, что после победы над врагами на Ближнем Востоке ее часто разбрасывали на полях, чтобы поверженные народы не смогли вновь использовать эти земли. Точно так же поступали и римские legionеры [1].

Вплоть до середины XX века использовались лишь механические и агротехнические методы борьбы с сорняками, основанные на различных приемах обработки почвы (лушение, культивация, полупар), севооборотах и очистке семенного материала.

Без использования гербицидов было бы невозможно полностью механизировать производство зерновых, кукурузы, рапса, сахарной свеклы, картофеля и других сельскохозяйственных культур.

Формирование ассортимента гербицидов. Планомерные исследования по созданию и совершенствованию ассортимента гербицидов в СССР следует отнести к периоду введения системы регистрации пестицидов, агрохимикатов и организации Госкомиссии по химическим средствам борьбы с вредителями, болезнями и сорняками (1960 г.) и создания географической сети регистрационных испытаний пестицидов, включавшей токсикологические лаборатории ВИЗР и сотрудничающие с ними научно-исследовательские учреждения [2].

Среди первых органических гербицидов, появившихся в начале 1940 г. и включенных в каталог «Химические средства защиты растений» в 1962 г. и в 1977 г. [2, 3] был 4,6-динитро-о-крезол (ДНОК) (динитрофенолы). Действие препарата основывалось на разобщении окислительного фосфорилирования не только в растениях, но и в теплокровных животных, включая человека.

Доминирующими гербицидами из группы «феноксигербицидов», «производных феноксиксусной кислоты» или «гормональных» гербицидов был 2,4-Д, синтезированный в 1942 г., 2М-4Х (МЦПА) – в 1945 г. [4]. К феноксикарбоксилатам также относятся 2,4,5-Т, 2,4-ДБ, 2,4,5-ТП, 2М-4ХП и пр. Гербициды обладают сложными механизмами действия, напоминающими механизмы действия ауксинов (гормонов роста). Они влияют на деление клеток, активируют метаболизм фосфатов и изменяют метаболизм нуклеиновых кислот. В современном ассортименте гербицидов остались препараты только на основе 2,4-Д и МЦПА.

Триазины являются сильными ингибиторами фотосинтетического переноса электронов. Их избирательность зависит от способности толерантных растений разлагать или метаболизировать исходное соединение (восприимчивые растения этого не делают). Первый триазин под названием «Атразин» был изобретен в 1958 г. Перечень гербицидов из данной группы достаточно широк: симазин, атразин, пропазин, прометрин и пр.

В 60-х годах на мировом рынке появилось много гербицидов из разных химических классов:

- хлоротолурон, разработанный в 1969 г., и линурон (производные мочевины) [4], которые достаточно сильно поглощались почвой, а затем и корнями сорных растений. Механизм их действия заключается в ингибировании фотосинтеза – производства растительных сахаров – и, косвенно, в ингибировании реакции Хилла. Несмотря на многочисленность и давность этой группы, постоянно появляются новые соединения, например изопротурон (изобретен в 1971 г.);

- пропанил (анилиды), известен на рынке с 1962 г. Подавлял сорные растения за счет влияния на процесс фотосинтеза;

- алахлор был зарегистрирован в 1969 г., ацетохлор – в 1976 г. Особенностью группы хлорацетамиды (алахлор, пропахлор, ацетохлор, метолахлор его более новая форма (С-метолахлор) является то, что они все рекомендованы для защиты кукурузы от сорняков и обладают почвенным действием. Эффект данных гербицидов основан на подавлении синтеза длинноцепочечных жирных кислот в сорном растении путем ингибирования ферментов элонгазы и геранилгеранилпирофосфатазы, опосредованно влияя таким образом на синтез гиббереллинов;

- хлоридозон (пиридазины) и фенмедифам (фенилкарбаматы) были открыты в 60-х годах. Гербициды действуют на сорные растения путем ингибирования

фотосинтеза и реакции Хилла. Всасываются через корни. Данные гербициды используются для химпрополки свеклы.

- дикамба (бензойная кислота), благодаря своему влиянию на рост растений, была открыта Циммерманом и Хитчкоком в 1942 г., а как гербицид была зарегистрирована в 1967 г. Считается, что механизм действия данной группы препаратов, заключается в нарушении синтеза белка с последующим нарушением формирования клеток в сорных растениях.

В 70-х годах появляются гербициды, содержащие такие популярные действующие вещества как глифосат, пендиметалин, изопротурон, метамитрон, клопиралид и метазахлор.

Глифосат (глицины) является неселективным послевсходовым препаратом. Механизм его действия заключается в блокировании синтеза ароматических аминокислот, что приводит к ингибированию метаболизма нуклеиновых кислот и синтеза белка. Для глифосата зарегистрировано несколько солевых форм.

Трифлуралин и пендиметалин являются примерами динитроанилинов. Трифлуралин был разработан в 1960-х годах; пендиметалин на мировом рынке появился в 1972 г. Динитроанилины ингибируют рост как корней, так и побегов при поглощении корнями сорняков. Имеют сложный механизм действия: ингибируют ряд ферментативных систем, блокируют деление клеток и нарушают энергетический обмен. Это вызывает быструю остановку роста проростков и их последующую гибель.

Следует учитывать, что регистрация и применение гербицидов в мире (на территории США и Европы) не обеспечивает их регистрацию на территории Республики Беларусь, что видно из таблицы.

Таблица

**Регистрация гербицидов в мире и в Республике Беларусь
(составлено автором на основе [5])**

Действующее вещество	Регистрация	
	в мире, г.	в СССР (до 1991 г.) и РБ
2,4-Д	1942	Спустя 20 лет (1962)
МЦПА	1945	Спустя 17 лет (1962)
Атразин	1957	Нет данных
Хлоридазон	1962	Спустя 33 года (1995)
Фенмедифам	1967	Спустя 21 год (1988)
Хлортолурун	1969	Спустя 29 лет (1988)
Изопротурон	1974	Спустя 21 год (1995)
Глифосат	1974	Спустя 15 лет (1989)
Хлорсульфурон	1979	Спустя 16 лет (1995)
Флузиафоп-П-бутил	1980	Спустя 23 год (2003)
Феноксапроп-П-этил	1989	Спустя 6 лет (1995)
Йодосульфурон-метил	1999	Через год (2000)
Форамсульфурон	2002	Спустя 3 года (2005)

В начале 80-х на рынке появились новые действующие вещества – **изопротурон** из класса производных мочевины и метамитрон из класса триазины.

Изопротурон поглощается корнями сорных растений и блокирует процесс фотосинтеза; метамитрон функционирует как ингибитор PSII, связываясь с серином 264 на белке D1.

Гербициды пиклорам и клопиралид (пиридинкарбоксильная группа) – относятся к гормональным гербицидам и перемещаются как по флоэме, так и по ксилеме сорных растений. Их механизм действия аналогичен механизму действия синтетических ауксинов, действующих подобно природному растительному гормону индолилуксусной кислоте, а также подобно родственным фенокси- и бензойным гербицидам.

С 80-х годов XX века начинаются три десятилетия инноваций в области разработки гербицидов, давших сельскому хозяйству более 130 новых действующих веществ, значительно повысивших эффективность борьбы с сорняками.

Значимым этапом стало появление класса арилоксифеноксипропионатов (FOPs) – **семейства высокоактивных послевсходовых гербицидов, высокоэффективных** против широкого спектра злаковых сорняков. Ранний этап этого класса представлен такими химическими соединениями, как диклофоп-метил, феноксапроп-П-этил, флуазифоп-П-бутил, хизалофоп-этил, позднее появились галоксифоп-метил, хизалофоп-тефурил, пропаквизафоп.

Бентазон – единственный представитель группы гетероциклических соединений с тремя и более гетероатомами в цикле, который уничтожает широколистные сорняки, подавляя фотосинтез. Он отличается от других ингибиторов фотосинтеза, таких как триазины и фенилмочевины, тем, что его транслокация очень ограничена. Он применяется в послевсходовый период и требует тщательного покрытия листьев сорных растений рабочим раствором для достижения высокой эффективности прополки.

За последние 40 лет ни одна из групп гербицидов не оказала более широкого влияния в плане химического разнообразия и применения при выращивании культур, как ингибиторы ацетолактатсинтазы (ALS). **Этот фермент является ответственным за разветвленную цепь биосинтеза аминокислот.** К данному классу относятся: сульфонилмочевины, имидазолиноны, триазолиноны, триазолопириидины:

- сульфонилмочевины – это меристематические ингибиторы, обладающие как листовым, так и почвенным действием. Характеризуются низкими нормами расхода (10–40 г/га). Их стойкость варьируется от очень длительной до умеренной, и они обладают очень низкой токсичностью для млекопитающих. Это достаточно большая группа действующих веществ: хлорсульфурон, метсульфурон-метил, сульфометурон-метил, тифенсульфурон-метил, никоссульфурон, триасульфурон, амидосульфурон, этаметсульфурон-метил, форамсульфурон, йодосульфурон-метил, мезосульфурон-метил, римсульфурон, трибенурон-метил. На протяжении четырех десятилетий группа сульфонилмочевин остается одной из самых перспективных для открытия новых препаратов среди всех классов гербицидов;

- имидазолиноны – относительно новый класс препаратов, впервые появившийся в 1981 г. Одним из последних соединений этой группы стал имазамокс, представленный в 1998 г. [6]. Данные действующие вещества являются меристематическими ингибиторами, которые подавляют биосинтез разветвленных аминокислот. Они обладают как листовым, так и почвенным действием.

Стойкость в почве варьируется от умеренной до длительной. Имазапир используется в качестве неселективного гербицида широкого спектра действия; имазетапир – для сои и имазамокс – для озимого рапса, а также для других бобовых культур;

- триазолопиримидины были представлены на рынке в 1990 г. Первыми представителями класса стали такие действующие вещества как флуметсулам, метосулам, хлорансулам и диклосулам. В настоящее время флуметсулам применяется в Республике Беларусь в составе комбинированных препаратов. К современным разработкам данного класса относятся пенексулам и флорасулам. Механизм их действия аналогичен сульфонилмочевинам и имидазолинонам [6];

- пиноксаден – представитель нового химического класса фенилпиразолинов, механизм действия которого основан на ингибировании фермента ацетил-СоА-карбоксилазы. Изучение пиноксадена началось в 1990 годах; после успешных полевых испытаний в Европе и США (2000–2004 г.) препарат получил разрешение на применение в этих странах в 2006 г. [7];

- мезотрион – действующее вещество из класса трикетонов, входящее в состав современных гербицидов (бензоилциклогександионы). Является ингибитором 4-гидроксифенилпируватдиоксигеназы (4-HPPD). Применяется чаще всего в смеси с сульфонилмочевинными гербицидами на кукурузе.

Классификация гербицидов по механизму действия хорошо изложена в различных книгах и интернет-источниках [8, 9], по химической структуре и механизмам влияния – [6, 10]. Формирование ассортимента гербицидов во временном ракурсе в зависимости от их механизма действия отображено на рисунке.

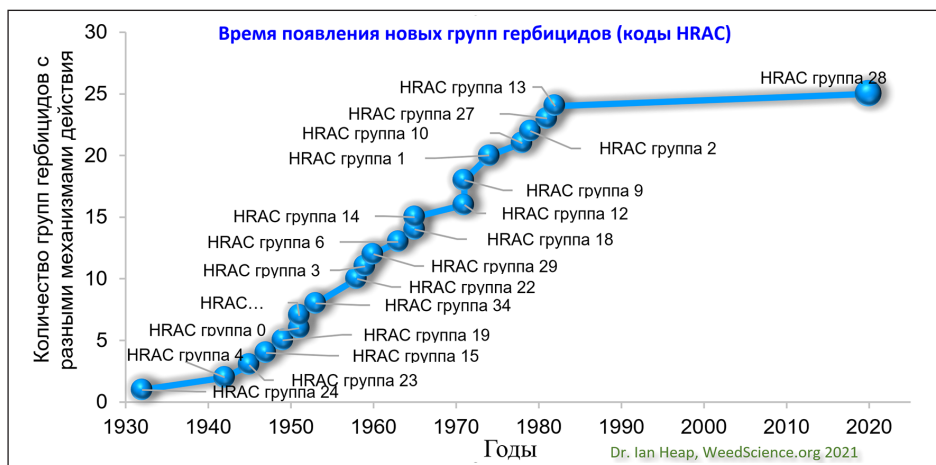


Рис. Хронология появления гербицидов с разным механизмом действия [11]

Эффективное применение современных гербицидов часто связано с включением антидотов или специальных защитных добавок. К наиболее распространенным относятся: феноксапроп-П-этил; клодинафоп-пропаргил, галаксифен-метил для защиты посевов зерновых культур от злаковых сорняков; мефенпир-диэтил защищает применение сульфонилмочевин в посевах зерновых культур; изоксадифен-этил и ципросульфамид – современные антидоты в посевах кукурузы.

Ряд инновационных гербицидов с новыми механизмами действия находятся на стадии активной коммерциализации. К ним относят:

- циклопириморат (Mitsui chemicals), который обесцвечивает и в конечном итоге уничтожает сорняки на рисовых полях. Механизм его действия основан на ингибировании ферментативного пути, в результате которого образуется пластохинон, молекула, необходимая для фотосинтеза. Относится к химическому классу фенилпиридазин-4-илформиаатов и активно внедряется в Азии;

- тетрафлупиролимет (FMC) – это инновационное действующее вещество гербицидов (компания FMC), представляющее первый за 40 лет новый класс гербицидов. Механизм его действия заключается в ингибировании фермента, который является частью образования пиримидина, предшественника нуклеотида. Препарат используется как почвенный гербицид для подавления злаковых сорняков в посевах риса;

- цинметилин – инновационное соединение (компания BASF), предназначено для борьбы с устойчивыми злаковыми сорняками в посевах озимой пшеницы и ячменя. Механизм действия препарата заключается в ингибировании биосинтеза жирных кислот в растениях. Цинметилин часто применяется в комбинациях с другими веществами, такими как металохлор или метазахлор [12].

Совершенствование ассортимента осуществляется путем создания более безопасных для использования форм препаратов. В 1960–1970 гг. препаративными формами гербицидов в основном были растворимые и смачивающиеся порошки, концентраты эмульсии и водорастворимые концентраты, водные растворы. В конце 1980–1990 гг. наряду с этими формами препаратов начинали появляться вододиспергируемые гранулы, сухая текучая суспензия, концентраты суспензии, водно-гликолиевые растворы. В настоящее время появлялись и новые препаративные формы: масляная дисперсия, суспензионная эмульсия, масляно-водная эмульсия, микрокапсулированная суспензия, концентрат коллоидного раствора и пр.

Применение гербицидов регулируется строгими санитарно-экологическими нормами. В период СССР были запрещены к применению крайне опасные гербициды с высокой токсичностью для теплокровных животных (ДНОК, диносеб, пентахлорфенол и пентахлорфенолят натрия). В конце XX века из «Государственного реестра средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» был исключен ряд препаратов на основе феноксимасляных (2,4-ДМ, 2М-4ХМ) и феноксипропионовых кислот (2,4-ДП; 2М-4ХП), ароматических аминов – трефлан, хлорацетанилидов – рамрод, бензойной кислоты – банвел, трисбен, амибен, из производных карбаминовой кислоты – карбин и бетанал, тиокарбаминовой – эптам, тиллам, триаллат, ордрам, фенилмочевины – афалон, аресин, диурон, фенурон и др., пиридазина – пирамин, пиримидина – вензар, большая группа триазинов – атразин, пропазин, семерон. Сокращение числа разрешенных к применению препаратов было обусловлено рядом причин, в том числе ограничениями, связанными с токсичностью некоторых гербицидов для теплокровных животных и экологической опасностью для окружающей среды.

В 2008 г. ассортимент гербицидов в Республике Беларусь был представлен 214 гербицидами [13], к 2017 г. их число возросло до 319 [14], в настоящий момент (апрель 2026 г.) – 413 препаратов [15]. Для основных сельскохозяйственных

культур он практически сформирован и соответствует современным мировым тенденциям.

Совершенствование ассортимента гербицидов как в мире, так и в Республике Беларусь идет по пути поиска более эффективных препаратов, обладающих широким спектром действия и высокой избирательностью для культурных растений, применяющихся в небольших нормах расхода и разрушающихся в почве в течение одного вегетационного периода; экологически безопасных – не обладающих последствием и малотоксичных для человека, живых объектов окружающей среды; не накапливавшихся в продуктах урожая, грунтовых водах и экономически выгодных для применения.

Хотя в ближайшее время не ожидается появления гербицидов с новыми механизмами действия, в настоящий момент рынок средств защиты растений формируется за счет создания и разработки новых премиксов, сочетающих существующие активные вещества с целью повышения эффективности и борьбы с резистентностью сорных растений.

Новые технологии в защите растений. Анализ публикаций в предметной области позволил выявить прорывные направления разработки новых средств и технологий защиты растений, в которых наиболее активно в настоящее время проводятся научные исследования.

В середине 1990 годов были созданы трансгенные растения, устойчивые к глифосату (ГМО). В США доля посевов сои, выращиваемой по технологии **Roundup Ready** достигла 95 % [16].

Смещение акцентов с синтеза новых действующих веществ на создание глифосатустойчивых сельскохозяйственных культур внесло сильные изменения в секторе разработки гербицидов. Темпы создания новых соединений в сравнении с количеством препаратов-дженериков значительно снизились [5].

Следует отметить, что в мире отмечается рост устойчивости сорняков к гербицидам, что является серьезной проблемой. Массовое применение гербицидов в последнее десятилетие, особенно в развитых странах, спровоцировало появление большого количества сорных видов, устойчивых к гербицидам [17]. Согласно мировым данным, наиболее высокий уровень гербицидной резистентности зафиксирован в США, Австралии и Китае, а также в ряде Европейских стран [18]. В сложившихся условиях очень важной задачей становится разработка стратегий уничтожения растений, устойчивых к ГМО [19].

В ответ на распространение сорняков, устойчивых к глифосату, биотехнологические компании разработали генетически модифицированные культуры с комбинированной устойчивостью к нескольким действующим веществам. На современном рынке представлены генетически модифицированные культуры с комбинированной устойчивостью к гербицидам: глифосат + дикамба, 2,4-Д + глифосат, изоксафлутол + глифосат, мезотрион + глюфосинат + изоксафлутол и технологию с ингибитором ацетолактатсинтазы (ALS) + глифосат [20].

Еще одной инновацией при разработке новых гербицидов за последние 30 лет можно назвать открытие способа борьбы с сорняками без выведения трансгенных сортов (не ГМО), например:

- система Clearfield® (Клеарфилд) – это производственная технология выращивания масличных культур (прежде всего подсолнечника и рапса), объединяю-

щая использование высокоурожайных гибридов, устойчивых к гербицидам группы имидазолинонов, и послевсходовое применение гербицидов [21];

- использование STS-технологии, например STS-соя (Sulfonylurea Tolerant Soybeans) – это возделывание специальных сортов сои, обладающих повышенной устойчивостью к сульфонилмочевинным гербицидам. Использование STS-технологии позволяет эффективно защищать посевы, обеспечивая чистоту полей и снижение последствий гербицидов на последующие культуры в севообороте [22];

- возделывание подсолнечника по технологии Экспресс. В связи со специфической генетикой высеваются гибриды подсолнечника устойчивого к трибенурон-метилу [21].

В последнее десятилетие активно обсуждается использование нанотехнологий в разработке препаративных форм пестицидов. Преимущественно это относится к наночастицам – наноразмерным аналогам препаративных форм с контролируемым высвобождением химических гербицидов [23]. В их состав могут входить компоненты, высвобождающие действующие вещества при определенных условиях, например, при заданном уровне pH, освещенности, температуры, влажности, а также при наличии определенных растительных ферментов [24].

В традиционном земледелии основным методом применения гербицидов является тракторный опрыскиватель. Однако в ближайшей перспективе, в рамках развития точного и интеллектуального земледелия значительная роль возможно перейдет к беспилотным авиационным системам. С каждым годом интерес к их использованию растет. Беспилотные летательные аппараты в сельском хозяйстве смогут решать следующие задачи: создание высокоточных электронных карт полей и 3D-моделей рельефа поля; оперативный мониторинг состояния посевов и картирования всходов; объективную оценку всхожести сельскохозяйственных культур; прогнозирование биологической урожайности и экологический мониторинг сельскохозяйственных земель; точечное опрыскивание посевов химическими препаратами и др. операции [25, 26].

Современное научное сообщество в области гербологии все чаще призывают уделять больше внимания изучению экологии и популяционной биологии сорняков. Что необходимо для разработки стратегий борьбы, которые позволят сократить использование гербицидов. Необходимо сосредоточить усилия на поиске новых технологий борьбы с сорняками.

Предполагается, что в рамках защиты окружающей среды и здоровья потребителей в ближайшие годы в сельском хозяйстве будут активно развиваться альтернативные методы борьбы с сорняками, связанные с использованием нехимических методов – физических и биологических, а также технологии точного земледелия.

Прототипами действующих веществ химических гербицидов могут служить природные фитотоксины растительного или микробного происхождения. Прогресс в использовании природных соединений для борьбы с сорными растениями, установление механизмов действия фитотоксинов на растения, разработка стабильных препаративных форм и контролируемое высвобождение в почве, станут научной основой для подбора синергетических смесей природных и синтетических гербицидов [27].

В 80–90 гг. XX века были проведены исследования (особенно в США и Канаде, меньше – в Европе, Израиле, Китае, Японии и Австралии) по созданию биогербицидов как более безопасной альтернативы синтетических химических веществ. Биопестициды представляют собой природные или полуприродные агенты или организмы, способные в определенной степени контролировать определенные виды сорных растений. В качестве биогербицидов относят ряд микроорганизмов (бактерии, вирусы и грибы) и некоторых насекомых (например, паразитические осы и бабочка-красавица).

Первым зарегистрированным микогербицидом стал препарат на основе гриба *Phytophthora palmivora*, вызывающего гниль молочая; проводилось также изучение патогенов *Puccinia canaliculata* и *Xanthomonas campestris* для борьбы с осокой и мятликом [6]. В Канаде зарегистрирован биогербицид *Phoma macrostoma* для использования на газонах с целью уничтожения одуванчика [28].

Прогнозируется, что к концу 2040 или началу 2050 годов биопестициды сравняются по объему рынка с синтетическими (химическими) пестицидами [29].

ВЫВОДЫ

К началу XXI века ассортимент гербицидов в Республике Беларусь для основных сельскохозяйственных культур практически сформирован. Совершенствование ассортимента идет в нескольких направлениях: синтез новых веществ с более низкими нормами расхода, усовершенствование препаративных форм и способов использования гербицидов, внедрения комбинированных препаратов, появления более избирательных гербицидов, экологически и токсикологически безопасных. Производство гербицидов прошло свой путь формирования ассортимента – от высокотоксичных для окружающей среды и последующих культур севооборота до более безопасных, с избирательным механизмом действия. Перспективы в гербологии направлены на переход от сплошного химического опрыскивания к биологическим методам (биогербицидам) и локальному применению препаратов с помощью беспилотных летательных аппаратов, что снижает пестицидную нагрузку и повышает эффективность борьбы с сорными растениями; разработку и использование новых форм гербицидов, безопасных для окружающей среды, с высокой избирательной способностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гербициды: как совершенствовались способы борьбы с сорняками на полях // Первая фумигационная группа. – URL: <https://fumigation1.ru/companystati/2246-gerbicidyi-kak-sovershenstvovalis-sposobyi-borbyi-s-sornyakami-na-polyah> (дата обращения: 01.04.2026).
2. Маханькова, Т. А. Формирование ассортимента гербицидов в России / Т. А. Маханькова, В. И. Долженко, А. С. Голубев // Агрохимия. – 2022. – № 11. – С. 50–61.
3. Химические средства защиты растений: (Продукция, выпускаемая серийно): Каталог / Предприятия-изготовители: Вурнар. хим. з-д, пгт Вурнары, Чуваш. АССР [и др.]; НИИ техн.-экон. исследований (НИИТЭХим), ВНИИ хим. средств защиты растений (ВНИИХСЗР). – М.: [б. и.], 1977. – 41 с.

4. Захаренко, В. А. Гербициды / В. А. Захаренко. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.
5. Киселекова, А. Гербициды: прошлое и будущее / А. Киселекова // Наше сельское хозяйство. Серия: Агрономия. – 2013. – № 19. – С. 36–43.
6. Ware, G. W. An Introduction to Herbicides (2nd edition) / G. W. Ware, D. M. Whitacre // The Pesticide Book / G. W. Ware, D. M. Whitacre. – 6nd edition. – Ohio: MeisterPro Information Resources, 2004. – 488 p. – URL: <https://ipmworld.umn.edu/ware-intro-herbicides> (date of access: 03.04.2026).
7. Гервик, К. Разработка гербицидов за тридцать прошедших лет. Обзор прошлого и размышления над будущим / К. Гервик // AGROXXI. – URL: <https://www.agroxxi.ru/stati/razrabotka-gerbicidov-za-tridcat-proshedshih-let.html> / (дата обращения: 01.04.2026).
8. Новая система классификации механизмов действия гербицидов HRAC / HRAC Европа 2021. – URL: https://www.hracglobal.com/europe/files/HRAC-Classification-System-2021_Russian.pdf (date of access: 02.04.2026).
9. Методические указания по оценке эффективности гербицидов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений, Белорус. гос. технол. ун-т; под ред.: Е. А. Якимович, С. В. Сороки. – Мн.: Колорград, 2024. – 139 с.
10. Compendium of Pesticide Common Names. Herbicides // BCPC. – URL: http://www.bcpcepesticidecompendium.org/class_herbicides.html (date of access: 04.04.2026).
11. Current Status of the International Herbicide-Resistant Weed Database // International herbicide-resistant weed database. – 2026. – 6 april. – URL: <http://www.weedscience.org/Home.aspx> (date of access: 06.04.2026).
12. Teicher, H. Crop Protection Horizons: Emerging Mechanisms of Action Shaping the Future / H. Teicher // LinkedIn 2025. 14 apr. – URL: <https://www.linkedin.com/pulse/crop-protection-horizons-emerging-mechanisms-action-teicher-phd-ptkef> (дата обращения: 03.04.2024).
13. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гл. гос. инспекция по семеноводству, карантину и защите растений; сост.: Р. А. Новицкий [и др.]. – Мн.: Белбланкавид, 2008. – 460 с.
14. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гл. гос. инспекция по семеноводству, карантину и защите растений; сост.: А. В. Пискун [и др.]. – Мн.: Промкомплекс, 2017. – 688 с.
15. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь (информация на 26.03.2026) // Государственное учреждение «Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений». – URL: <https://ggiskzr.by/reestr-szr/> (дата обращения: 01.04.2026).
16. Южанинова, Л. Глифосат: применение на российском и глобальном рынках / Л. Южанинова // AgroXXI. – 2020. – 6 апр. – URL: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/glifosat-primenenie-na-rossiiskom-i-globalnom-rynkah.html> (дата обращения: 02.04.2026).

17. *Beckie, H. J.* Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate / H. J. Beckie // *Pest Management Science*. – 2011. – 67 (9). – P. 1037–1048. – DOI: 10.1002/ps.2195.
18. *Paul, S. K.* Herbicidal weed management practices: History and future prospects of nanotechnology in an eco-friendly crop production system / S. K. Paul, S. Mazumder, R. Naidu // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10, iss. 5, e26527. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e26527.
19. *Praczyk, T.* Stan aktualny i kierunki rozwoju herbologii / T. Praczyk, G. Skrzypczak // *Progress in Plant Protection / Postępy w Ochronie Roślin*. – 2011. – Vol. 51, iss. 1. – P. 354–363.
20. *Mesnage, R.* Herbicides: Brief history, agricultural use, and potential alternatives for weed control / R. Mesnage, A. Szekacs, J. G. Zaller // *Herbicides. Chemistry, efficacy, toxicology, and environmental impacts* / ed. by: R. Mesnage, J. G. Zaller. – London, 2021. – P. 1–20. – URL: https://www.researchgate.net/publication/352760642_Herbicides_Brief_history_agricultural_use_and_potential_alternatives_for_weed_control (date of access: 03.02.2026).
21. Optimising Clearfield and ExpressSun sunflower technologies for Central European conditions / M. Jursňk, V. Fendrychová, M. Kolářová [et al.] // *Plant Protection Science*. – 2017. – Vol. 53, iss. 4. – P. 265–272. – URL: <https://doi.org/10.17221/2/2017-PPS> (date of access: 03.02.2026).
22. What is Sulfonylurea (SR) Soybean Technology? // *Crop Science*. – 2023. – 4 october. – URL: <https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/sulfonylurea-soybean-technology> (date of access: 04.04.2026).
23. Nanotechnology-based delivery systems: highlights in agricultural applications / J. L. Oliveira, E. V. R. Campos, M. C. Camara [et al.] // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. – 2019. – № 12 (3). – С. 311–328.
24. Advances in targeted pesticides with environmentally responsive controlled release by nanotechnology / B. Huang, F. Chen, Y. Shen [et al.] // *Nanomaterials*. – 2018. – Vol. 8, iss. 2. – P. 102. – URL: <https://doi.org/10.3390/nano8020102> (date of access: 03.02.2026).
25. *Сорока, С.* Интеллектуальные системы для защиты растений / С. Сорока, А. Жуковский // *Наука и инновации*. – 2021. – № 3(217). – С. 31–34.
26. Применение сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для обработки сельскохозяйственных культур / Д. В. Кудрявцев, А. Г. Магдин, А. А. Горбунов [и др.] // *Агротехника и энергообеспечение*. – 2021. – № 2(31). – С. 37–44.
27. *Берестецкий, А. О.* Перспективы разработки новых гербицидов на основе природных соединений / А. О. Берестецкий // *Вестник защиты растений*. – 2023. – Т. 106, вып. 1. – С. 5–25. – DOI:10.31993/2308-6459-2023-106-1-15502.
28. *Bailey, K.* *Phoma macrostoma*: the science of a bioherbicide to control broad-leaved weeds / K. Bailey // *Saskatoon Research Centre, Canada*. – URL: https://landscapeontario.com/attach/1389760431.Phoma_Macrostoma.pdf (date of access: 02.04.2026).
29. *Umetsu, N.* Development of novel pesticides in the 21st century / N. Umetsu, Y. Shirai // *Journal of Pesticide Science*. – 2020. – Vol. 45, iss. 2. – P. 54–74. – DOI: 10.1584/jpestics.D20-201.

THE ASSORTMENT FORMATION OF CHEMICAL MEANS OF WEED CONTROL IN THE XX–XXI CENTURIES

E. A. Yakimovich

Summary

This article provides a historical perspective on the development of herbicide product lines worldwide and in the Republic of Belarus over a period of more than 80 years, from the 1940s to the present. Currently, the range of herbicides for major agricultural crops in the Republic of Belarus is almost complete. Prospects in herbology include a transition from overall chemical spraying to localized application of products using unmanned aerial vehicles (agrodrones), new premixes, and bioherbicides, which reduces the pesticide load and increases the effectiveness of weed control; development and use of new forms of environmentally safe herbicides with high selectivity.

Поступила 09.04.2026