

Левин Б.В., Трухачев В.И., Белопухов С.Л.

**ЗЕЛЕНый ЭТАЛОН: НОВАЯ СТРАТЕГИЯ  
АПК РОССИИ**

МОСКВА 2022

УДК 631.8  
ББК 40.4  
Б43

**Левин Б.В., Трухачев В.И., Белопухов С.Л.** Зеленый эталон: новая стратегия АПК России: учебное пособие. – М.: ООО «Духовная Нива». 2022. – 432 с.

ISBN 978-5-87785-095-8

Рецензенты:

**Байбеков Р.Ф.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, АНО «Агрохимический инновационный центр развития сельскохозяйственной науки и производства».

**Серегина И.И.**, доктор биологических наук, профессор, кафедра агрономической, биологической химии и радиологии Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева

Учебное пособие разработано Российским государственным аграрным университетом - МСХА имени К.А.Тимирязева и публичным акционерным обществом «ФосАгро». В издании рассмотрены перспективы развития «Зеленой платформы» для устойчивого жизненного цикла агропромышленного комплекса и продовольствия. Охарактеризованы основные тренды развития агротехнологий и производства продукции в системе «Зеленой платформы».

Предназначено для бакалавров, магистров, аспирантов, обучающихся по направлениям «Агрохимия агропочвоведение», «Агрономия», «Садоводство», для специалистов в области агрохимии, агрономии, физиологии растений, токсикологии, преподавателей высших и средних специальных заведений.

Допущено учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по агрономическому образованию в качестве учебного пособия для подготовки бакалавров по направлениям 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия», 35.03.05 «Садоводство»

© Левин Б.В., Трухачев В.И., Белопухов С.Л.

ISBN 978-5-87785-095-8

Типография ООО «Духовная Нива»

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	5
1. «ЗЕЛЕНАЯ» ПЛАТФОРМА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АПК И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ	6
2. ТРАНСФОРМАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РФ: ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ	24
2.1. Инновационные продукты питания	24
2.2. Биологические средства ухода за посевами: биопрепараты, биоудобрения, биоиммуномодуляторы и биостимуляторы роста растений	31
2.3. Прослеживаемость, сертификация, экологическая маркировка продукции	39
2.4. Биоразлагаемая упаковка и биополимеры. Рециклинг	50
2.5. «Зеленые» закупки	57
2.6. Цифровизация агропроцессов	62
2.7. Взаимодействие науки и бизнеса в области научных исследований	68
2.8. Оценка и контроль углеродного следа	73
2.9. Регенеративное сельское хозяйство	86
2.10. «Зеленая» химия	96
3. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ЗЕЛЕНАЯ» ПЛАТФОРМА	103
3.1. Улучшенные удобрения, препараты и мелиоранты для «зеленой» платформы	104
3.2. Мелиоранты для «зеленой» платформы (на примере фосфоритной муки и фосфогипса)	167
3.3. Углерод - фактор сохранения плодородия почв	183
4. ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ЗЕЛЕНАЯ» ПЛАТФОРМА	185
4.1. Оптимизация потребительских свойств удобрений	185
4.2. Разработка и совершенствование комбинированных органо-минеральных удобрений	226
4.3. Адаптивный потенциал гипсования и фосфоритования почв	228
4.4. Агроэкологические возможности жидких комплексных удобрений	232
4.5. Роль кремний-содержащих веществ	237

4.6. Биоминеральные вещества	244
4.7. Совершенствование технологии внесения питательных веществ	254
4.8. Вопросы загрязнения и восстановления сельскохозяйственных земель	256
<b>5. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ – ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПЛАТФОРМЫ «ЗЕЛеноЙ» ПЛАТФОРМЫ</b>	<b>315</b>
5.1. Микробные модификаторы	315
5.2. Фосфатовит	334
5.3. Гумусовые кислоты	335
5.4. Биодобавки в кормах животных	337
5.5. Биодобавки для очистки сточных вод	339
5.6. Фосфиты	341
<b>6. «ЗЕЛЕНАЯ» ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВАМИ</b>	<b>348</b>
<b>7. ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВАМИ</b>	<b>389</b>
<b>8. «ЗЕЛЕНАЯ» ПЛАТФОРМА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ, СЫРЬЯ И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВАМИ – ОСНОВА ПЕРЕХОДА К УСТОЙЧИВОМУ СЕЛЬСКОМУ ХОЗЯЙСТВУ</b>	<b>390</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>397</b>
<b>ГЛОССАРИЙ</b>	<b>399</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>406</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие Российской Федерации, высокое качество жизни и здоровья ее населения, а также национальная безопасность могут быть обеспечены только при условии сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды.

В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации № 20 от 21 января 2020 г. указано, что одними из национальных интересов государства в сфере продовольственной безопасности на долгосрочный период являются:

- повышение качества жизни российских граждан за счет достаточного продовольственного обеспечения;
- обеспечение населения качественной и безопасной пищевой продукцией;
- развитие производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, которые соответствуют установленным экологическим, санитарно-эпидемиологическим, ветеринарным и иным требованиям.

При этом должна обеспечиваться экономическая доступность продовольствия – возможность приобретения пищевой продукции должного качества по сложившимся ценам, в объемах и ассортименте, которые соответствуют рекомендуемым рациональным нормам потребления.

Мировое потребление продовольствия будет расти на 1,4% в год в течение ближайшего десятилетия за счет стран с низким и средним доходом, с высокой рождаемостью. По прогнозу экспертов рост производства продукции растениеводства за десять лет составит 18%, и это произойдет за счет инвестиций в сельскохозяйственное производство, включая селекцию растений (это обеспечит 80% роста). Более 15% увеличения придется на расширение территории пахотных земель и 5% на увеличение интенсивности их возделывания. В животноводстве и рыбоводстве рост составит 16%, и он будет обеспечен улучшением содержания животных и их более интенсивным

кормлением. В птицеводстве рост производства на 16% обеспечит до 45% мирового увеличения производства мяса, благодаря его устойчивой рентабельности.

Современные агротехнологии позволяют управлять производственным процессом сельскохозяйственных культур в агроценозах с целью достижения планируемой урожайности и качества продукции при обеспечении ее экологической безопасности и экономической доступности.

Постоянно совершенствующиеся правовые и нормативные акты, концепции и системы развития АПК, закрепляющие соблюдение экологических норм, от выращивания сельскохозяйственной продукции до ее переработки и производства пищевой продукции позволяют снизить негативное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

## **1. «ЗЕЛЕНАЯ» ПЛАТФОРМА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АПК И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ**

Снижение потерь на всех этапах жизненного цикла производства и потребления сельскохозяйственной продукции и продовольствия имеет наибольший потенциал для решения задачи глобальной продовольственной безопасности.

Интенсификация сельского хозяйства позволила увеличить объем производимой продукции, однако она ведет к исчерпанию природных ресурсов, к негативному воздействию на окружающую среду и здоровье человека. Ключевые индикаторы по соответствующим факторам и инструментам воздействия на агроландшафты, в том числе, связанные с оптимальной системой питания растений, которая демпфирует негативные внешние факторы и обеспечивает эколого-экономический оптимум производства, представлены на рисунке 1.1. Их выбор и приоритетность определяются поставленными целями развития.

В условиях постоянно увеличивающейся интенсификации производства и нарастающего дефицита природных ресурсов, особое значение обретает рациональное, комплексное и экономичное их использование.



Рисунок 1.1 - Индикаторы эффективности, отражающие социальные, экономические и экологические аспекты функционирования системы растение–почва–климат

Важным результатом экологизации развития АПК должны стать сохранение и воспроизводство плодородия почв, биоразнообразия агроландшафтов, рациональное использование водных ресурсов, уменьшение негативного воздействия на здоровье человека при росте конечных результатов производства.

Наглядно это можно продемонстрировать на примере сквозного учёта потерь целевого питательного компонента –  $P_2O_5$  (рис. 1.2).

Сквозные потери от первично извлеченного минерального сырья могут достигать почти 80%. Поэтому повышение степени использования добываемых минеральных ресурсов так же, как и углеводородного сырья представляет в ближайшей перспективе ключевую задачу.

Ее решение также направлено и зеркально отражает снижение всех видов негативного экологического воздействия на окружающую среду в виде

химического загрязнения и выбросов парниковых газов, утилизации промышленных отходов, упаковки.

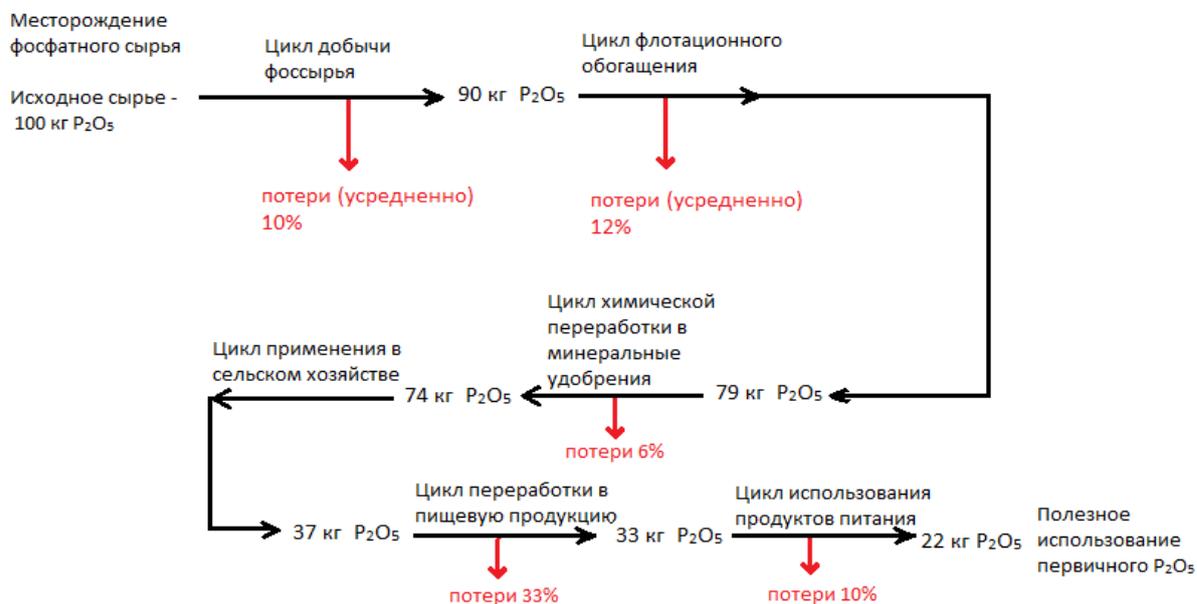


Рисунок 1.2 - Учёт потерь питательных компонентов на примере целевого компонента P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Выработка практических решений находится в сфере внимания социально ответственных компаний, не только следующих требованиям ESG, но и формирующих лучшие ESG-практики. Прорывные решения находятся на стыковых междисциплинарных областях (рис. 1.3). Поэтому современные компании должны предлагать не просто материальные (пусть и продвинутые) продукты, а систему решений с максимальной эффективностью.

В качестве эффективного инструмента для применения оптимизированных систем питания растений выступают цифровые инструменты агрохимического зондирования почв; составления карт прецизионного внесения минеральных удобрений; баз данных по активным (усвояемым) формам макро-, мезо-, и микроэлементов в почве. В последнее время к классическим формам анализа почв добавляется расшифровка полезных штаммов микроорганизмов микробиоты почв. Эти данные позволяют составить комплексную сбалансированную систему питания почв

по минеральной (макро-; мезо-; и микроэлементы), органической и микробиологической составляющей питания сельскохозяйственных культур. Для снижения или исключения химической нагрузки на окружающую среду химические средства защиты растений предпочтительно применять либо низших классов опасности, либо заменять на биологические средства защиты растений.



Рисунок 1.3 - Пример комплексных решений по оптимизации системы питания растений с максимальным использованием агрохимикатов

Как пример эффективного природного биологического средства защиты растений можно привести препараты на основе экстрактов дерева *Neem* (Ним). Содержащийся в них компонент Азадирахтин уничтожает более 400 видов насекомых-вредителей, причем даже тех, кто вырабатывает резистентность к химическим пестицидам [1].

Масло Ним эффективно контролирует сосущих или прокалывающих листья насекомых при использовании в качестве пропитки для почвы. Вносится под корни растений и таким образом, масло проникает в сосудистую систему растения. Как только один из вредителей, например, мучнистый червец или краевик начинает питаться тканями растения, азадирахтин

вступает в реакцию с гормонами кормления, воспроизводства и роста и убивает самого вредителя.

Например, используют биофитонцидный комплекс ботанических экстрактов на органо-минеральной основе системного и контактного действия (рис.1.4).



Рисунок 1.4 - Схема использования биофитонцидного комплекса ботанических экстрактов на органо-минеральной основе

Препаративная форма: суспензия группы минералов природного происхождения с содержанием экстрактов Квассии Амара (*Quassia Amara*), масла дерева Ним (*Azadirachta indica*), Корничника цейлонского (*Cinnamomum zeylanicum*).

Преимущества препарата:

- не токсичен для растений, человека, полезных насекомых и пчел;
- отсутствует вредное воздействие на почву;
- не вызывает резистентность у патогенов и вредителей;
- не имеет периода ожидания для сбора урожая.

Следуя тенденциям снижения негативного воздействия на окружающую среду, крупные компании разрабатывают свою «линейку» биологических средств защиты растений.

Корпорация FMC планирует выпустить феромонный препарат путем ферментации дрожжей. Такой шаг был сделан, поскольку индустрия сельского хозяйства находится в поисках альтернатив химическим пестицидам и рукотворным удобрениям, а фермеров все больше вынуждают применять благоприятные для окружающей среды технологии. Кроме того, вредители и болезни растений также становятся все более устойчивыми к синтетическим химикатам.

Современный российский производитель средств защиты растений – АО «ЩелковоАгроХим» - наряду с эффективными химическими средствами защиты растений уже имеет развернутый ассортимент биологических препаратов как для применения на культурах, так и для непосредственного внесения в почву. Применяются биологические препараты и для ускорения, и для увеличения полноты разложения соломы и пожнивных остатков (Биокомпозит-Коррект, Биокомпозит-Деструкт).

Научным центром компании АО «ЩелковоАгроХим» разработаны инновационные технологии наноразмерных химических средств защиты растений коллоидных микроэмульсий, масляных дисперсий. Есть целый класс эффективных и безопасных протравителей семян, гербицидов, фунгицидов и инсектицидов. Для проведения листовой обработки разработаны жидкие наноразмерные водные дисперсии макро- и микроэлементов, наноразмерные биостимуляторы роста, содержащие быстроусвояемые аминокислоты и полисахариды; регуляторы роста, в том числе содержащие живые бактериальные штаммы. Созданы микробиологические препараты для восстановления загрязненных и нарушенных почв нормализации почвенного биоценоза.

Развитие сегмента эффективных биологических средств защиты растений связано с ужесточением требований к применению химических

средств защиты растений и в России, и в Европе. На текущий момент из 140 действующих веществ, разрешенных к применению в Российской Федерации, активно используются около 25.

В целях снижения пестицидной нагрузки на агроценоз разработаны и уже успешно внедряются принципиально новые инновационные способы снижения численности вредных организмов: авермектины, стробилурины, интерференция РНК и т.д.

С 1 марта 2021 г. вошло в действие Постановление Главного государственного санитарного врача №2 от 28.01.2021 «Об утверждении Санитарных норм и правил СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Гигиенические нормативы устанавливаются более жесткие, чем в ранее действовавших нормативных документах, нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (установлены по 627 пестицидам, в том числе и для сельхозпродукции и продуктам питания).

В ближайшей перспективе стратегические разработки и инновации компаний в агросекторе будут связаны с созданием новых классов экологически предпочтительных препаратов и решений, которые должны создать новую системную платформу для глобального сельского хозяйства.

На рисунке 1.5 приведена номограмма относительных весов факторов при выборе стратегически перспективных технологий (продуктов), среди которых экологический фактор имеет абсолютную доминанту над технологическими сырьевыми и экономическими факторами.

Это связано с рисками попадания действующих продуктов (речь идет, прежде всего, о пестицидах) под запрет применения или ужесточения требований к чистоте применяемых в сельском хозяйстве агрохимикатов, кормов и кормовых добавок, почвоулучшителей и т.д.

Российский агропромышленный комплекс имеет хорошие возможности увеличения производства продукции высоких переделов импортозамещения в сегменте агрохимикатов, аминокислот, витаминов, пребиотиков, средств

защиты растений, регуляторов и стимуляторов роста и других высокотехнологичных препаратов.

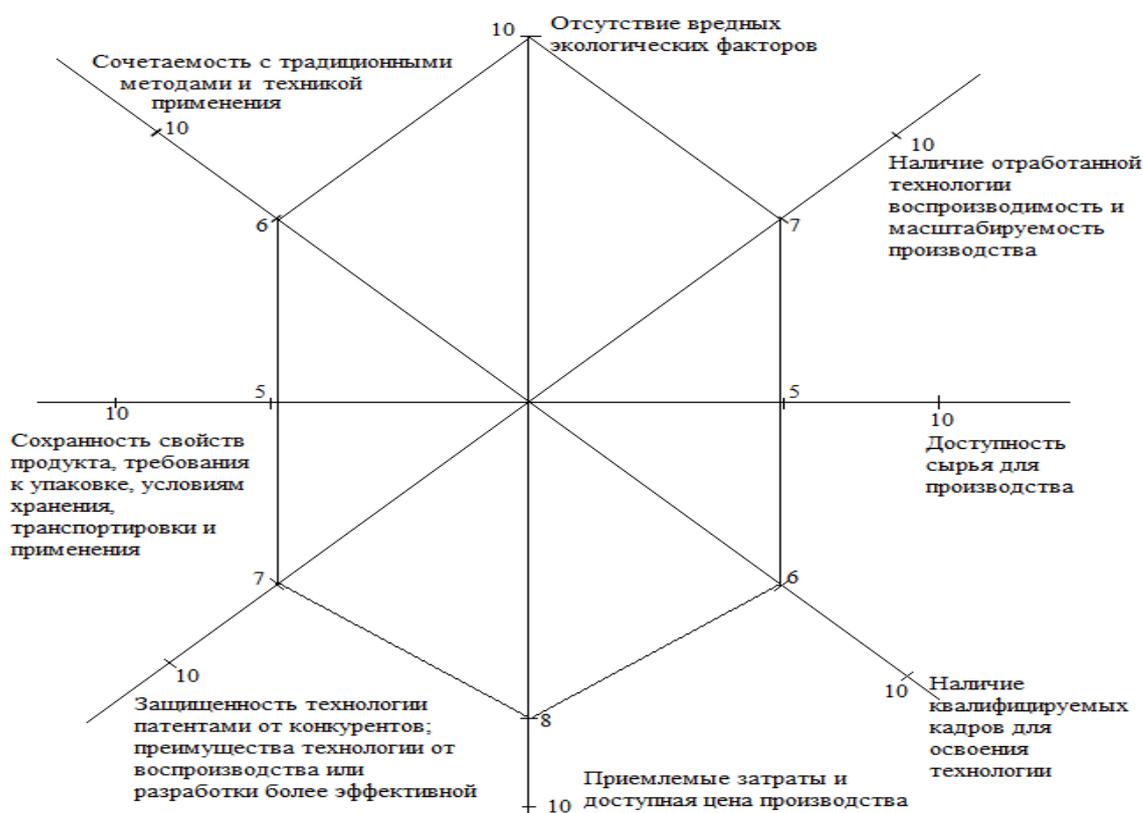


Рисунок 1.5 - Номограмма факторов для выбора стратегически важных технологий

Возможности заключаются в переходе к новой платформе технологий и применяемых решений на основе современных знаний и научно-прикладных разработок. Ключевые требования к ним можно сформулировать следующим образом:

- конкурентоспособность относительно существующих лучших технологий в России и зарубежному опыту;
- соответствие опережающим экологическим требованиям, отсутствие риска запрета по экологическим основаниям для здоровья человека и окружающей среды;
- доминирование природоподобных процессов со снижением факторов промышленных рисков высоких температур, давлений, коррозионной активности, образования отходов и т.д.;

- минимальный химический и экологический, в том числе углеродный след производства и продукции;
- превалирующий вклад высоких технологий в созданной стоимости продукта по сравнению с традиционной продукцией;
- клиентоориентированность продуктов в сквозном выражении – от B2B к B2C.

Наполнение и систематизация научных данных о последствиях влияния остаточных количеств пестицидов, органических и неорганических соединений на здоровье человека и окружающую среду неизбежно ведут к пересмотру регистрационных доз разрешенных средств и препаратов к обращению в сельском хозяйстве. В результате часть средств и препаратов попадают под запрет и выбор потребителя постоянно сужаются (рис. 1.6.).

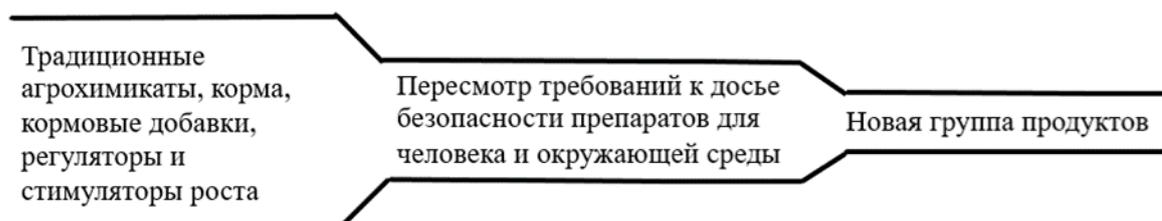


Рисунок 1.6 - Сужающийся тоннель продуктов для применения в АПК

Для перехода к новой платформе технологий и продуктов необходимо объединение усилий крупных компаний в области производства агрохимикатов и их корпоративных центров исследований, академических и учебных институтов, независимых инновационных центров. Наиболее прорывные и критически важные решения находятся на стыке задач потребителя и требуют привлечения специалистов из различных областей знаний. В данном случае продуктивным будет объединение в консорциумы или альянсы для решения системных задач в области перехода к устойчивому сельскому хозяйству.

При этом, сегмент агрохимии и сельского хозяйства несет стратегическую социальную функцию и в значительной степени обеспечивает доступность продуктов питания для всех слоев населения. Поэтому при доминанте экологического фактора основным производителем доступного продовольствия останется интенсивное сельское хозяйство. Прикладные инновации в этом сегменте будут иметь наиболее высокую отдачу и фактически управлять скоростью перехода к устойчивым продовольственным системам.

В этих условиях принципиальное значение приобретает скорость внедрения современных разработок и их коммерциализации. И в этом отношении принципиальными факторами успеха становятся наличие креативных высококвалифицированных специалистов различного профиля и специализаций, система управления инновационными проектами в компании, готовность инвестировать в перспективные проекты, в том числе и с высокими рисками, взаимодействие с широким кругом научных, инновационных и внедренческих организаций, работающих в различных областях и имеющих базу знаний и опыт реализации проектов.

При этом производители традиционных агрохимикатов, в том числе и минеральных удобрений, являются активными участниками процесса инноваций, заинтересованными в повышении эффективности их применения. Используя свою корпоративную базу научных исследований, разработки проектной и конструкторской документации при создании лабораторных и пилотных установок для масштабирования производств, крупные компании имеют уникальные возможности для вывода на рынок отработанных комплексных решений и создания полноценной экосреды для потребителя с возможностью доработки готовых решений под индивидуальные потребности каждого клиента.

Необходимо определение направлений стратегического развития компаний в области агрохимии, исходя из потребностей клиентов, не занятых рыночных ниш, прежде всего, имеющих перспективу превращения из

премиальной в базовую, т.е. быстрого роста базы клиентов и анализа предложений и действий конкурентов.

При анализе и выборе инновационных решений и технологий портфель решений первого ряда можно составить систематизацией отдельных решений первого ряда из различных платформ агрохимии (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 - Определение зоны стратегического развития компаний в области агрохимии

Анализ конкурентных преимуществ каждой платформы сельскохозяйственного производства (рис. 1.8.), а именно: 1) традиционного интенсивного сельского хозяйства, с большой химической нагрузкой на почву и окружающую среду; 2) производства улучшенной сельхозпродукции и продовольствия с использованием улучшенных агрохимикатов с низким экологическим следом; 3) органического (природоподобного) производства без применения синтетических агрохимикатов дает следующие перспективные направления инновационных решений;

- использование комбинированных агрохимикатов (биопрепараты + улучшенные минеральные удобрения; природные минералы в качестве стимуляторов роста и регуляторов вегетации растений + улучшенные

минеральные удобрения; биологические средства защиты растений + удобрения повышенной эффективности или улучшенные минеральные удобрения), высокоотзывчивые селекционные семена + улучшенные минеральные удобрения и т.д.)



Рисунок 1.8 - Локализация области перспективных технологий для составления портфеля приоритетных инновационных решений

- снижение ресурсоемкости (потребление воды, энергии) при производстве сельскохозяйственной продукции и соответственно химического и экологического следа вплоть до нулевого углеродного следа при применении углеродопоглощающих технологий;
- сохранение биоразнообразия и природного плодородия почв при отсутствии негативного воздействия на агроландшафт и прилегающую территорию (воздух, поверхностные и подземные воды);
- снижение потерь, максимизация использования органической составляющей для сохранения баланса углерода в почве гумусовой составляющей почв.

Одной из ключевых задач инноваций является расширение сырьевой базы производства необходимых для агропромышленного потребления кормов, кормовых добавок, агрохимикатов, средств защиты растений.

В этом отношении необходимы как доработка уже ранее разработанных технологий, не проявивших себя на раннем этапе развития технологий по разным причинам, так и разработка новых инновационных технологий.

В качестве примера первой группы технологий, разработанных уже несколько десятилетий назад, можно показать технологию кормового белка микробиологическим синтезом из метана и кислорода с применением метатрофных бактерий *Methylococcus capsulatus*. Синтезированный микробный кормовой белок под названием гаприн обладает целым комплексом преимуществ перед природными источниками белка (например, рыбной муки): высокая биоусвояемость на уровне 75-80%, полный набор необходимых аминокислот, наличие микроэлементов, отсутствие патогенных микроорганизмов. Гаприн вполне может составить конкуренцию белковым продуктам переработки сырья природного происхождения, таким как: рыбная мука, соевый шрот и другие. Технология была разработана еще в период СССР, была спроектирована и эксплуатировалась в течение 10 лет опытно-промышленная установка мощностью 15,0 тыс. тонн в год. Однако по экологическим причинам технология не получила широкого распространения.

В настоящее время производство кормового белка из углеводородного сырья приобрело высокую важность и актуальность по следующим причинам:

1. ограниченная физическая и ценовая доступность растительного и животного белка в связи с произошедшим резким ростом цен на продовольствие и логистическими ограничениями в условиях пандемии COVID-19;
2. изменением структуры питания населения в пользу высокобелковой пищи (мясо, рыба);
3. развитием технологий разработки новых высокоинтенсивных аппаратов массообмена (биореакторов, ферментеров), применение

быстродействующей регулирующей арматуры и систем и средств автоматизации процесса ферментации, позволяющих управлять высокоскоростными гетерофазными процессами с высоким выходом целевого продукта;

4. созданием необходимых условий для стартапов и инновационных проектов, наличием команд управленцев и специалистов для реализации инновационных проектов.

5. Развитием природоподобных технологий, ориентированных на высокоселективное производство целевых продуктов без побочных продуктов и отходов и без применения химических реагентов. В результате появляются совершенно новые возможности создания нового кластера технологических решений для устойчивого агропромышленного производства.

Активно развиваются и технологии микробиологического получения дрожжевого кормового белка.

Уникальность дрожжевого белка именно как белка в том, что он или его составляющие применимы везде. Это самая лучшая инвестиция: на одном производстве можно выпускать широчайший спектр продуктов. Высокопротеиновый белковый концентрат, в котором сырой протеин достигает до 65%, а набор витаминов и активных компонентов улучшает процессы роста, иммунной защиты, улучшения перевариваемости всего комплекса белка в корме, вне зависимости от того, растительной он или животный.

Дрожжи являются сырьем для производства пищевого белка и дрожжевых экстрактов, используемых для структурирования продуктов либо придания им определенных вкусов; про- и пребиотиков, иммуномодуляторов для людей или животных. Отдельно позиционируются дрожжи, которые продуцируют уникальные вещества, например, каротиноиды – астаксантин и бета-каротин; различные ферменты, аминокислоты, витамины, органические кислоты и другие физиологически ценные соединения.

Некоторые штаммы дрожжей обладают сильнейшими киллер-токсиновыми (биоконтрольными) свойствами, что позволяет применять их,

как БАДы для нейтрализации в ЖКТ животного микотоксинов, содержащихся в кормах животных, а также обрабатывать этими препаратами сами корма, продукты, упаковку и так далее.

Для повышения качества кормов дрожжевая биомасса содержит несколько компонентов и обладает следующими свойствами: имея в своем составе до 70% низко- и среднемолекулярных белков, она способствует перевариванию всего комплекса белков в корме. Проводимые эксперименты в аквакультурных кормах подтвердили эффективность применения дрожжей. Например, корм с рыбной мукой в смеси с дрожжами дает лучшие приросты и привесы, чем чистая рыбная мука.

Предлагаемая «Зелёная» платформа вбирает в себя наилучшие технологии, решения и продукты традиционной платформы и развивает их на основе современных знаний в области биотехнологии, генной инженерии, нанохимии с доминированием экологического критерия отсутствия негативного воздействия на окружающую среду на всем жизненном цикле. Эволюционный переход от традиционной платформы агропромышленного производства, характерный для ресурсно- и энергозатратного агропромышленного производства, к экологически ориентированной «зелёной» платформе на основе улучшенных агрохимикатов, средств защиты растений, кормов, кормовых добавок и других средств ухода за растениями и сельскохозяйственными животными показан на рисунке 1.9.

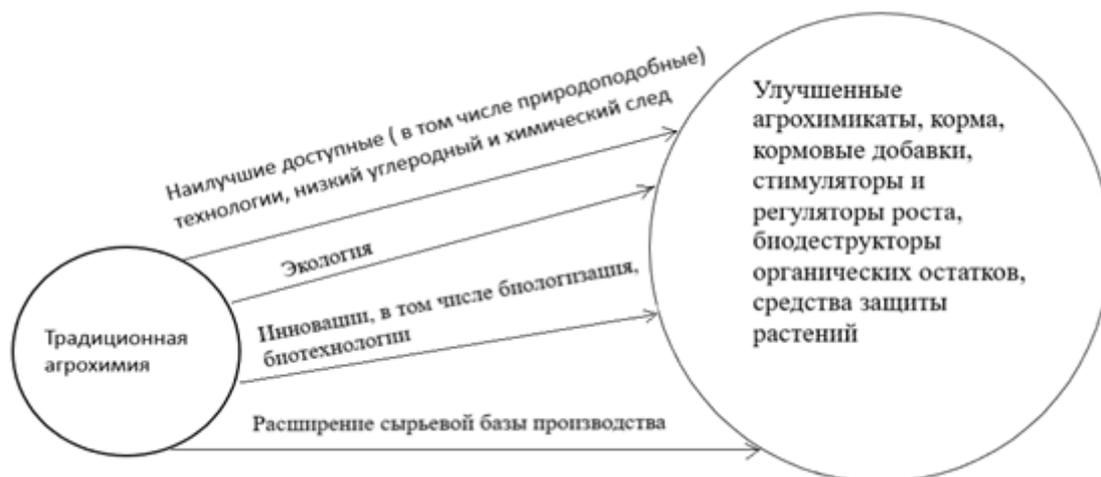


Рисунок 1.9 - Эволюция агрохимической платформы агропромышленного производства

Профиль новых инновационных технологий по сравнению с традиционными методами более сложный и требует создания команды специалистов различных специальностей, объединенных общей целью реализации новых проектов до коммерческой стадии. Общая схема реализации инновационного проекта показана на рисунке 1.10.

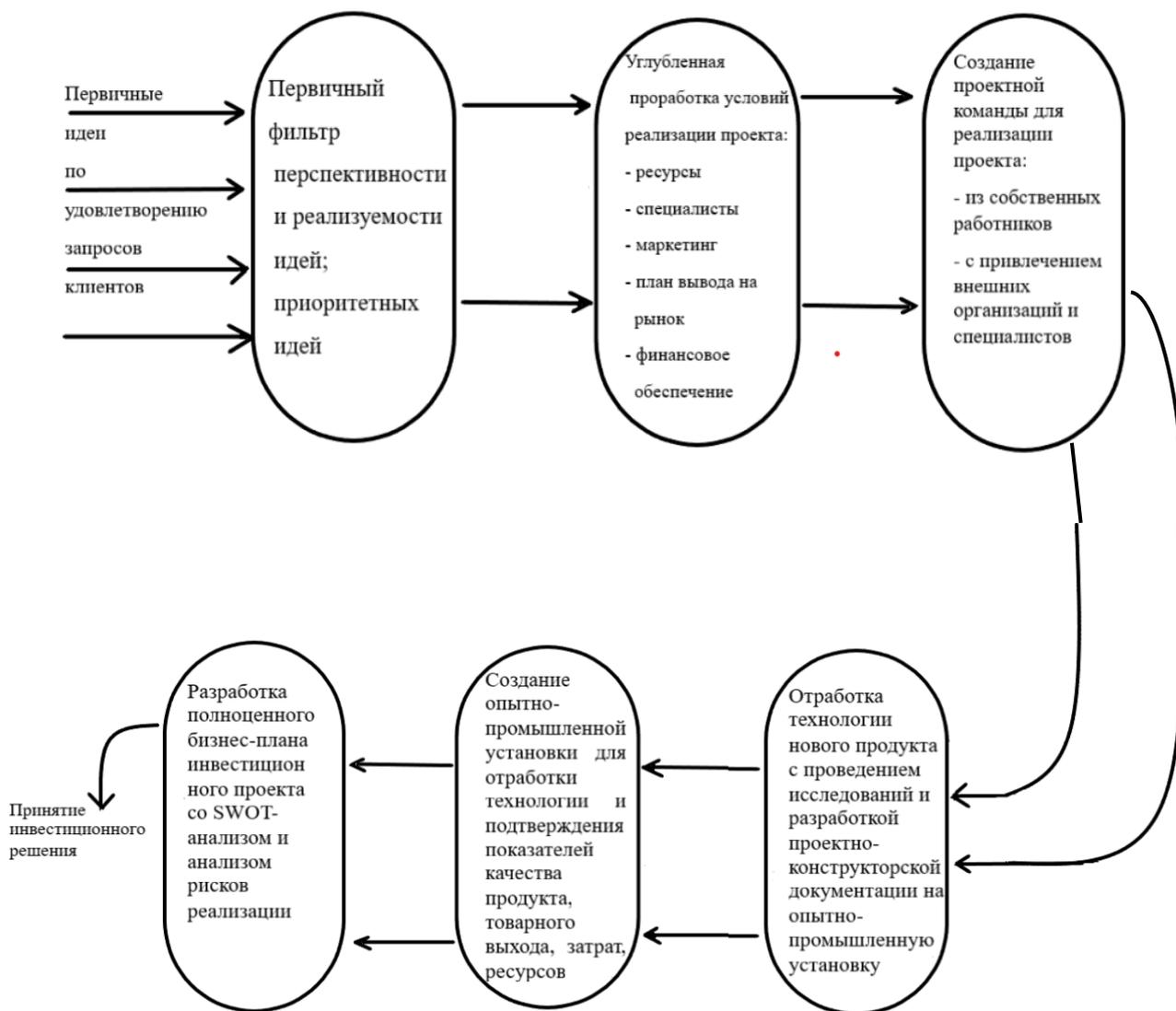


Рисунок 1.10 - Общая схема реализации инновационного проекта от стадии идеи до коммерческой стадии

Для перехода на новую платформу улучшенных промышленных продуктов необходимо создание соответствующей экосистемы, ключевыми элементами которой являются:

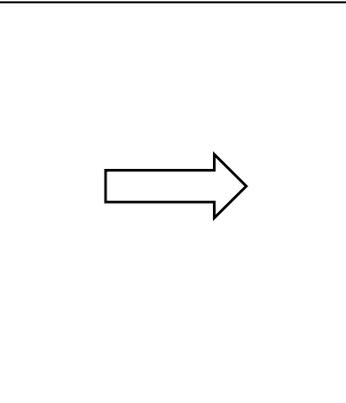
- доступность улучшенных промышленных продуктов для потребителей в агропромышленном комплексе;

- прослеживаемость жизненного цикла улучшенных промышленных продуктов от сырья для их производства до применения в агропромышленном производстве;

- доказательная база данных улучшенных характеристик сельскохозяйственной продукции и продовольствия при применении улучшенных промышленных продуктов.

Эффекты от перехода на платформу улучшенной сельхозпродукции и продовольствия, промышленной продукции приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Эффекты от перехода на платформу производства улучшенной сельхозпродукции, продовольствия и промышленной продукции

Действие		Эффект
Развитие сырьевой базы производства		Повышение эффективности сельхозпроизводства за счет увеличения усвояемости питательных веществ минеральных удобрений и биоминеральных удобрений; отсутствия загрязнения почв токсичными элементами и веществами.
Разработка и развитие современных технологий со снижением экологического следа, в том числе биотехнологий для производства биопрепаратов, биокombинированных агрохимикатов, биологических средств защиты растений.		Создание нового крупного сегмента доступной улучшенной сельхоз продукции и продовольствия.

Зеленая платформа имеет уникальное преимущество по вводу в сельскохозяйственный оборот нарушения земель, зараженных мышьяком, тяжелыми металлами и органическими веществами. В комбинации с агротехническими мероприятиями, например, выращивание сельскохозяйственных культур, не склонных к накоплению тяжелых

металлов и мышьяка (зерновые, семенники трав, технические культуры, саженцы плодовых деревьев и др.) вполне реально выдерживать обязательные требования безопасности при среднем и высоком уровне загрязнения (до 10 ПДК).

В условиях необходимости расширения посевных площадей с вовлечением сельскохозяйственный оборот брошенных земель такой алгоритм (рис. 1.11) регенерации земель является наиболее рациональным и целесообразным, позволяющим исключить дорогостоящие мероприятия по детоксикации земель и сразу вовлекать их в полезный оборот с производством массовой сельскохозяйственной продукции.

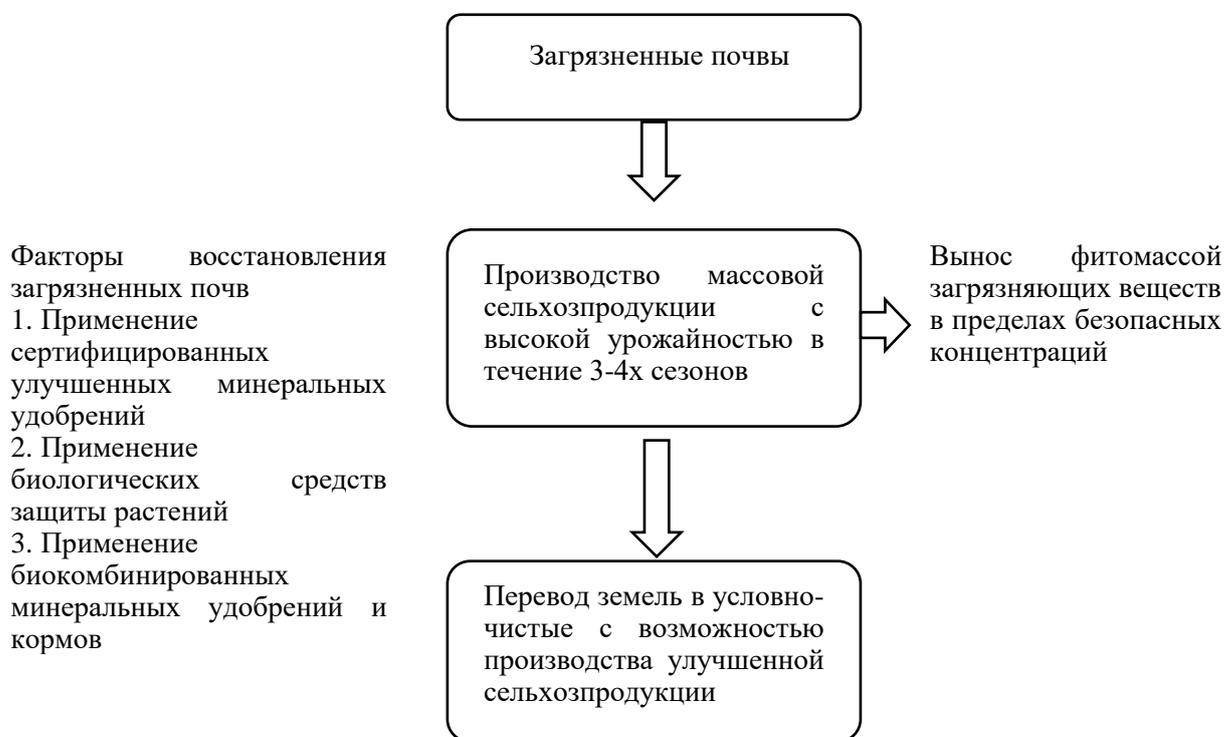


Рисунок 1.11 - Примерная схема фиторемедиации загрязненных почв с выходом на производство улучшенной сельхозпродукции

Пахотный слой земель при использовании такого алгоритма можно полностью освободить от токсичных элементов и веществ в течение нескольких сезонов и перейти к производству улучшенной сельскохозяйственной продукции.

Применение улучшенных минеральных удобрений биокombинированных, органоминеральных удобрений обеспечивает возможность проводить фиторемедиацию почв за счет отсутствия внесения загрязнителей с удобрениями даже при использовании их в высоких дозах и большой урожайности сельскохозяйственных культур. В результате можно получать безопасную сельскохозяйственную продукцию, соответствующую действующим нормативам и не применять либо использовать в меньших объемах дорогостоящие методы детоксикации почв (известкование, внесение органических удобрений, промывка плотного пахотного слоя почв, высевание сельскохозяйственных культур, сорбирующих тяжелые металлы, с последующим их уничтожением и т.д.).

## **2. ТРАНСФОРМАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА. ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ**

### **1.1 Инновационные продукты питания**

Основным направлением научно-технического прогресса в области производства продовольствия в последние десятилетия становится тренд замены животных белков растительными, а в более дальней перспективе – синтетическим белком.

Рынок продукции на растительной основе без содержания ингредиентов животного происхождения в последнее время растет активными темпами: появляется все больше компаний, выпускающих такие продукты, увеличиваются объемы производства, повышается потребительский спрос.

Например, компания Volko Molko, BioFoodLab (бренд Bite) начинали с небольших производств, а к 2019 году заняли 47 % отечественного рынка молочной продукции на растительной основе.

ГК «Эфко» сообщила о запуске сети фудтраков с меню на основе растительных аналогов мясных и молочных продуктов для популяризации этой категории. Данное инновационное направление пищевой

промышленности имеет благоприятные перспективы для дальнейшего прогрессивного роста.

Растительный белок используется как замена продуктов животного происхождения либо как дополнение к ним. Проводимые исследования показывают, что к 2040 году растительные белки могут занять 25% мирового рынка пищевого белка. Существует два типа белковых продуктов: концентраты с содержанием белка порядка 70% и изоляты - с 90% чистого белка, очищенные от жира, углеводов и клетчатки. Концентраты в основном применяются при производстве кормов. Для производства продуктов питания в основном используют белковые изоляты трех растений – пшеницы, гороха и сои [2].

В 2022 году состоялось обсуждение стратегии получения идентификации и классификации (коды ОКВЭД и ОКПД2) отрасли продуктов на растительной основе [3].

По информации сетевых ритейлеров, 58% покупателей внимательно изучают состав, указанный на этикетке товара, и следуют принципам ЗОЖ. При этом 10 % потребителей предпочитает растительный белок животному. За первое полугодие 2021 года спрос на растительное молоко вырос на 35%.

По данным NielsenIQ, за год к октябрю 2021 года продажи растительных аналогов молочных и мясных продуктов в России увеличились на 19% в натуральном выражении и на 18% — в денежном. Euromonitor International оценивает оборот рынка в 2021 году в 10,6 млрд руб., а в 2022 году — в 12 млрд руб. Ассоциация производителей альтернативных пищевых продуктов прогнозирует рост продаж в 2022 году на 20-25% до 15,5 млрд руб. [4].

Новые пищевые производства в качестве приоритетных включают технологии получения белковых продуктов. Эти технологии основываются на фундаментальных и прикладных знаниях в области пищевой, физической, биологической, биоорганической химии, генетики, молекулярной биологии, биофизики и ряда технических дисциплин. Объективные причины создания

принципиально новых технологий получения белковых компонентов пищи следующие: рост численности населения, осознание людьми того, что ресурсы планеты не безграничны, необходимость выпуска пищевых продуктов с составом, соответствующим современному образу жизни, и возможность использования накопленных человеком теоретических знаний в прикладных целях.

В целом можно выделить общую тенденцию к сокращению стадий и соответственно расхода ценных природных ресурсов (рис.2.1), прежде всего воды, на производство продуктов питания такой же энергетической ценности и полезности.



Рисунок 2.1- Затраты, в том числе, потерь воды на этапах производства продуктов питания

Исключение из этой цепочки стадии производства животноводческой и птицеводческой продукции исключает целый блок затрат и рисков, связанных с этим направлением сельскохозяйственного производства. Переход на

продукты питания растительного происхождения в замещение животных продуктов имеет следующие преимущества:

1. Более короткий производственный цикл с нынешними затратами ресурсов, образованием отходов и меньшим количеством потерь.
2. Возможность замещения многих продуктов животного происхождения с моделированием вкусовой гаммы и энергонасыщенностью.
3. Позволяет снять пищевые ограничения для лиц, склонных к пищевым аллергиям или имеющих хронические заболевания желудочно-кишечного тракта. Отсутствие рисков возникновения заболеваний (таких как африканская чума свиней), падежа и вынужденного забоя стада сельскохозяйственных животных, что приводит к дефициту продукции на рынке и росту цен.
4. Отсутствие образования отходов животного происхождения (навоз, птичий компост) и необходимости содержания соответствующих хранилищ, что исключает негативное воздействие на окружающую среду, которое является одним из принципов зеленой платформы производства улучшенной сельскохозяйственной и промышленной продукции для сельского хозяйства и продовольствия.
5. Существенное снижение выбросов парниковых газов за счет отказа от выращивания животных мясных и молочных пород и в пределе переход к производству сельскохозяйственной растительной продукции с нулевым углеродным следом.
6. Развитие новой высокотехнологичной платформы здорового и сбалансированного питания с созданием новой вкусовой и текстурной гаммой пищевых продуктов и формированием новых вкусовых предпочтений;
7. Переход на систему здорового питания детей и молодежи, полезную и легкоусвояемую пищу со снижением риска избыточного веса.
8. Более высокие морально-этические стандарты производства продуктов питания.

К преимущественным характеристикам растительного мяса относят: отсутствие холестерина, более высокая усвояемость белка в сравнении с говядиной, содержание клетчатки, значительно меньший уровень насыщенных жиров, большее содержание макропитательных компонентов, микроэлементов, витаминов, а также то, что по энергетической ценности растительное мясо ни в чем не уступает животному. Это перспективное направление перехода на растительные заменители мяса и молока очень хорошо сочетается с зеленой платформой производства, улучшенной сельскохозяйственной и промышленной продукцией для сельского хозяйства и продовольствия (рис. 2.2).

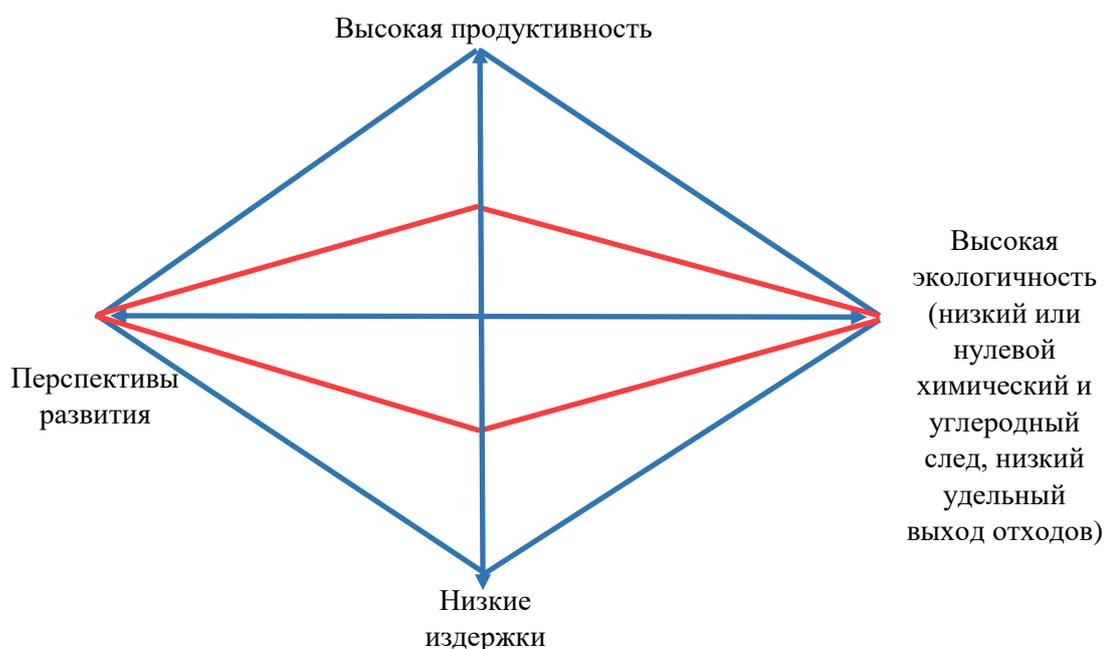


Рисунок 2.2 - Профили различных платформ развития сельского хозяйства и продовольствия

Производство улучшенной сельскохозяйственной продукции в качестве заменителя животного белка открывает долгосрочную перспективу развития этого сегмента с исключением использования большой группы синтетических кормовых и пищевых добавок (табл. 2.1.).

**Таблица 2.1. Компоненты для производства улучшенной сельскохозяйственной продукции**

<p>Применяемые вещества для производства растительного мяса на платформе улучшенной сельскохозяйственной продукции:</p>	<p>Исключаемые вещества:</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- улучшенные минеральные удобрения;</li> <li>- улучшенные средства защиты растений;</li> <li>- улучшенные регуляторы роста, почвоулучшители</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- консерванты, стабилизаторы, ферменты, гормоны, антибиотики в качестве кормовых добавок и лечебно-профилактических средств для сельскохозяйственных животных</li> <li>- консерванты, отбеливатели, сгустители, осветлители, ароматизаторы, красители, вкусовые добавки, эмульгаторы, стабилизаторы, антиокислители в качестве пищевых добавок</li> </ul>
<b>Преимущества:</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Короткий цикл производства продуктов питания с отсутствием химического загрязнения почв и окружающей среды</li> <li>2. Управление полезными свойствами продуктов питания без синтетических компонентов</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сокращение негативного воздействия на окружающую среду               <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1 в процессе производства кормовых и пищевых добавок</li> <li>1.2 снижение химического следа производства продуктов питания и его воздействия на здоровье человека</li> </ol> </li> </ol>

Зеленая платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия гармонично интегрируется с быстро растущим высокотехнологичным сегментом FoodTech (рис. 2.3) - комплексом технологий и методов производства и реализации продукта, потребляемого человеком, на рынке продуктов питания.

Общим вектором зеленой платформы является максимальная ориентированность на запросы конечного потребителя с учетом его индивидуальных особенностей и точной настройкой пищевых предпочтений и полезности питания для конкретного человека. В ближайшее время ожидается рост продаж такой пищевой продукции, которая имеет низкий углеродный след, выращена с применением улучшенного сырья, сертифицирована,

упакована в экологичную упаковку и имеет в составе полезные и питательные вещества.



Рисунок 2.3 - Взаимодействие открытой «зеленой» платформы сельскохозяйственной и промышленной продукции и продовольствия с высокотехнологичным сегментом FoodTech

Отличительные характеристики инновационных продуктов питания как улучшенных:

- Сниженный экологический след продукции, в том числе углеродный след.
- Многократно сниженный удельный расход свежей воды на единицу продукции.
- Сниженное удельное использование сельскохозяйственных земель.
- Питательная ценность по набору и содержанию аминокислот, микроэлементов, витаминов на фоне низкого содержания пищевых аллергенов и вредных веществ (трансгенные жиры, липиды низкой плотности, сахара, глютен, лактоза и другие).

По цепочке производства улучшенной сельхозпродукции и продовольствия декомпозируется запрос потребителя на доступный, сбалансированный по питательной ценности, вкусовым качествам и насыщенности микроэлементами и витаминами продукт питания. С другой стороны, должны соблюдаться не только индивидуальные критерии потребителя, но и критерии общественно-социальной значимости, такие как сокращение потребления свежей воды и удельного землепользования, снижение химического загрязнения окружающей среды и выбросов парниковых газов. Финальные показатели закладываются не только в начале производственной цепочки, включающей качество используемой почвы для выращивания сельхозпродукции и применяемых на стадии ее производства семян, агрохимикатов и пестицидов, но и на стадии глубокой переработки сельскохозяйственного сырья в продукты питания. При этом на стадии производства продукции растениеводства важно применение инновационных технологий и продуктов улучшенных минеральных удобрений, биопрепаратов и биоудобрений, биостимуляторов роста растений на основе микроорганизмов и биологически активных веществ.

## **2.2. Биологические средства ухода за посевами: биопрепараты, биоудобрения, биоиммуномодуляторы и биостимуляторы роста растений**

В настоящее время производство биопрепаратов, биоудобрений, биостимуляторов роста и иммуномодуляторов растений – это современное высокотехнологичное, наукоемкое производство, которое обеспечивает высокую эффективность применения в промышленном сельском хозяйстве (дополнительную информацию о биоудобрениях см. в разделе «Биологические добавки для растений и животных – одно из направлений «зеленой» платформы).

Правильное применение биопрепаратов и минеральных удобрений наряду с улучшением физических свойств почв, создает благоприятные

условия для развития микроорганизмов и превращения содержащихся в удобрениях элементов питания в доступные для растений формы [5].

Общая классификация биоудобрений, биопестицидов, биостимуляторов, почвенных кондиционеров и субстратов приведена на рисунке 2.4.

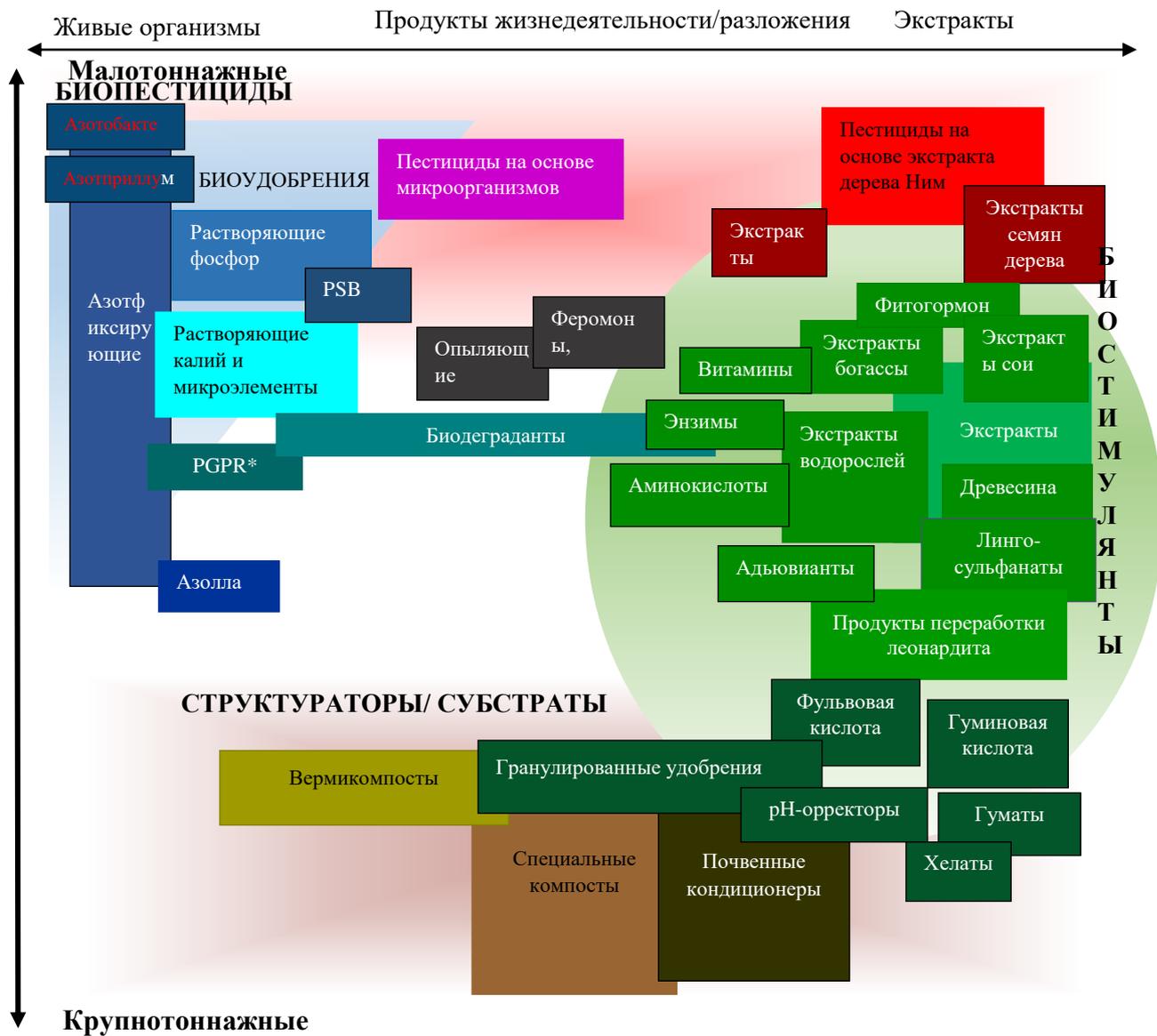


Рисунок 2.4 - Сегменты рынка биопродуктов для растениеводства

Систематическое и правильное применение биопрепаратов позволяет увеличить урожайность, решить проблему деградации почв, сократить численность патогенных почвенных микроорганизмов, зараженность растений.

Применение биопрепаратов в сочетании со средствами защиты растений обеспечивает более значительный эффект и позволяет повысить иммунный статус сельскохозяйственных растений, снизить фитотоксичность ядохимикатов, восстановить рост растений.

Например, АПК «Кубаньхлеб» — многоотраслевой сельскохозяйственный холдинг, применяя биопрепараты, увеличили за последние 7 лет урожайность озимой пшеницы на 10 ц/га, решили проблему фузариоза колоса, улучшили качество зерна. В настоящее время биологическими препаратами в АПК «Кубаньхлеб» обрабатывается 50% колосовых и 70% пропашных культур [6]. Компания Corteva Agriscience обрабатывает семена специальным биопрепаратом – стимулятором роста, содержащим лигногуматы и природные компоненты, что защищает семена от температурных перепадов и увеличивает всхожесть семян.

Конвергенция преимуществ использования улучшенных минеральных удобрений и биологических средств на стадии производства продукции растениеводства сразу решает комплекс задач:

- сохранение высокого плодородия почв и почвенного биоразнообразия как высшей ценности основного производственного ресурса;
- снижение либо отсутствие загрязнения почв, поверхностных и подземных вод и атмосферы при интенсивном сельском хозяйстве;
- снижение выбросов парниковых газов за счет сохранения углерода в почве и, напротив, поглощение углерода за счет процессов его связывания и удерживания в почве;
- ресурсосбережение (свежая вода, здоровая почва) за счет применения современных агротехнологий;
- сведение к минимуму негативного воздействия на окружающую среду, не нарушающего природного равновесия и позволяющего природной среде полностью восстанавливаться, в том числе за счет компенсирующего действия биопрепаратов и замещения химических средств защиты растений биологическими СЗР;

- поддержание экономически приемлемых затрат, обеспечивающих доступность сельхозпродукции для дальнейшей переработки в продукты питания.

По данным Глобальной карты запасов почвенного органического углерода, подготовленного Продовольственной и Сельскохозяйственной организацией ООН (FAO) почвы сельскохозяйственных угодий могут связывать до 1/3 всех выбросов парниковых газов. При этом в актуальном сводном докладе FAO «Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Системы на пределе» сделаны выводы о продолжающемся ухудшении состояния земельных, почвенных и водных ресурсов, а также предельном росте нагрузки на почвенные и водные ресурсы. Эта ситуация требует незамедлительных комплексных мер управления земельными и водными ресурсами.

Решить эту задачу способен комплекс системных мер на всех уровнях управления сельским хозяйством и продовольственными системами в целом. FAO в своем докладе отмечает потенциальные преимущества внедрения на различных ландшафтах передовых систем ведения сельского хозяйства, обеспечивающих производство разнообразных продуктов, занятость, гарантированные средства к существованию, а также полноценное и устойчивое питание населения, сохраняя при этом ресурсы и здоровье экосистем и способствуя сокращению выбросов парниковых газов и увеличению объемов связывания углерода.

Необходимы продовольственные системы, действующие на основе принципов циркулярной экономики (ЦУР). Задача ЦУР 12.3, предусмотренная ЦУР, состоит в том, чтобы к 2030 году уменьшить потери продовольствия в товаропроводящих цепочках и вдвое сократить общемировое количество пищевых отходов на розничном и потребительском уровнях в пересчете на душу населения.

Решение такой глобальной и комплексной задачи возможно только в результате целенаправленной работы на основе современных знаний с

переходом на платформу устойчивого сельского хозяйства. Такими критериями, открытыми к инновациям и экологической ориентированности, обладает платформа улучшенной сельскохозяйственной, промышленной продукции и продовольствия.

Она обеспечивает быстрый отклик на предпочтения клиента и быстро меняющиеся требования к безопасности продукции и защите окружающей среды. Формулирование опережающих научно обоснованных требований, к применяемым в производстве продукции растениеводства технологиям, предопределяет выделение улучшенной продукции в отдельный сегмент и находится в авангарде самых жестких экологических требований.



Рисунок 2.5 - Алгоритм формирования улучшенных характеристик

Алгоритм формирования улучшенных характеристик сельскохозяйственной, промышленной и иной продукции и продовольствия, схематически представленный на рисунке 2.5, включает в себя следующие составляющие:

1. Верхнеуровневый анализ ситуации с состоянием экологии во всем мире, тенденциями в состоянии и использовании почвенных и водных ресурсов, производства сельскохозяйственной продукции и продовольствия, изменения плодородия почв, их антропогенного загрязнения, засоления, эрозии и т.д.

2. Новые научные и прикладные данные о токсичности и экотоксичности элементов и веществ (как уже применяемых, так и новых агрохимикатов и пестицидов) при длительном воздействии на почву, воды, урожай сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. Например, для определения экотоксичности пестицидов значительно расширяют перечень биообъектов исследования, поскольку такие исследования ранее проводились на 1-2 наименее чувствительных к воздействию химических веществ биообъектах, например, водорослях. В связи с чем, регистрационное досье не отражало полного спектра побочных эффектов и воздействия на живые организмы. В некоторых странах Европы с наиболее жесткими экологическими нормами, например, в Швейцарии и Швеции проводится переоценка экотоксичности зарегистрированных пестицидов, и часть из них не получает одобрение для применения в связи с выявленными негативными побочными эффектами. Биометрические методики определения токсичности и экотоксичности веществ постоянно совершенствуются и обновляются Европейским агентством по безопасности пищевых продуктов (EFSA).

3. Инновации в области производства сельскохозяйственной продукции и продовольствия, а также агрохимикатов, пестицидов, кормов, кормовых добавок, пищевых добавок, связанных с расширением сырьевой базы и внедрением новых технологий. Это же относится к обновлению технологий и продуктового ряда минеральных удобрений, связанных с интеграцией следующих направлений:

- доминирование требований экологичности на всем жизненном цикле производства и применения – от сырья, переработки, хранения и упаковки

готовых форм удобрений до их применения в сельском хозяйстве и прослеживаемости до продуктов питания;

- повышение эффективности готовых форм минеральных удобрений за счет добавок (ингибиторы уреазы, нитрификации) или комбинации с другими составляющими (органоминеральные удобрения, биокомбинированные удобрения);

- разработка оптимальных систем питания под сельскохозяйственные культуры в разных почвенно-климатических условиях с опорой на полевые испытания на агрополигонах и дальнейшим агрономическим сопровождением технологии в хозяйствах потребителя;

- комплексное применение цифровых платформ и продуктов для агрохимического зондирования и мониторинга почв, точного внесения минеральных удобрений и пестицидов, контроля состояния посевов и урожая в связи с развитием новых технологий в области микробиологии и изменения способов повышения эффективности удобрений. Наглядно это демонстрируют примеры применения новых ингибиторов нитрификации.

С возникновением новых технологий, в частности, биолюминесцентного, рекомбинантного штамма *Nitrosomonas europaea*, который существенно способствовал измерению нитрификации и ее ингибированию, появились новые многообещающие исследования ингибиторов нитрификации, получаемых из корневых выделений растений, называемых биологическими ингибиторами нитрификации (BNIs), указанных в таблице 2.2. Разработка новых BNIs с пониженной экологической нагрузкой и высокой ингибирующей способностью нитрификации позволит совместить эти факторы и получить новый тип минеральных удобрений.

В 2020 – 2021 годах в рамках проекта «ИНОАГРО», инициированного компанией «Иннопрактика», предприятия в российских регионах изучали эффективность российского биологического консерванта – «Фермасил», предназначенного для заготовки силоса и сенажа, который позволил животноводам получить корма первого класса. При его использовании

наблюдался высокий уровень сохранности протеина, оптимальное соотношение молочной и уксусной кислот в силосе, улучшались органолептические свойства корма, что способствовало повышению продуктивности живых. (Опытная заготовка, Агробизнес. № 3. 2022. с. 16-17).

Таблица 2.2. Исследование ингибиторов нитрификации и их эффективности [7]

Table 1   A survey of nitrification inhibitors and their efficacy.		
Compound	ED <sub>80</sub> (μM)	Refs
<b>BNIs</b>		
Sorgoleone	12	60,117
Sakuranetin	0.6	60
MHPP	120-166.5	61,64
Brachialactone	10.6	50
1,9-Decanediol	516	64
<b>SNIs</b>		
Allylthiourea	0.22	118
Nitrapyrin	17.3	64,118
Dicyandiamide	2200-2973	64,118
2-Amino-4-chloro-6-methylpyrimidine	522	64

Plant-derived nitrification inhibitors (found specifically in root exudates) and synthetic nitrification inhibitors are listed, along with their ED<sub>80</sub> values (effective dose where 80% inhibition of nitrification was measured).

Ингибиторы нитрификации, полученные из растений (обнаруженные в особенности в выделениях корней) и синтетические ингибиторы нитрификации с значениями ED80 (эффективная доза, при которой измеренное ингибирование нитрификации составило 80%)

Замена химических ингибиторов нитрификации на биологические ингибиторы, направленная на снижение негативного воздействия на окружающую среду, обеспечивает:

- исключение попадания в почву опасных химических веществ и остаточных количеств продуктов их распада и трансформации почвенным микробиомом;
- сохранение биологических природных циклов в природе;
- сохранение эндогенного микробиома почв.

Значительную эффективность в снижении негативного воздействия также показывают новые неорганические препараты и природные вещества, минералы и попутные продукты промышленного производства, например, кремнийсодержащие природные минералы (вермикулит, бентонит, соли

кремния, нанокремниевые соединения, аморфные соединения кремния). Их применение усиливает резистентность растений к абиотическим стрессам, за счет поглощения активного кислорода снижает влияние свободных радикалов на клеточном уровне, улучшает газообмен и поглощение растениями питательных веществ и микроэлементов. В последних научно-прикладных работах убедительно доказано компенсирующее действие соединений кремния в условиях высокого загрязнения почвы кадмием, а также связанного с ним накопления перекиси водорода и малонового альдегида, угнетающе действующих на растение. При этом эффект обеспечивает любая форма введения биоактивного кремния, как индивидуальное корневое внесение, применение в комбинации с минеральными удобрениями, так и внекорневая (листовая) фертигация.

### **2.3. Прослеживаемость, сертификация, экологическая маркировка продукции**

#### **Прослеживаемость**

В настоящее время развитие информационных и цифровых технологий позволяют внедрять качественно новые условия создания и управления системой прослеживаемости по всей цепочке производства продуктов питания вплоть до индивидуального подбора (персонализации) питания. Покрытие цифровыми инструментами процессно-продуктовой цепочки наглядно показано на рисунке 2.6.

На каждом этапе цифровые технологии обеспечивают трансляцию передовых решений в области современных биотехнологий, селекции, генетических исследований, агротехнических приемов и т.д. на начальные стадии производства. Это кардинально меняет ландшафт решений и, соответственно, требований к производству сельскохозяйственной продукции во всем многообразии: от семеноводства, сырья для массового производства продуктов питания, конечной товарной продукции, в том числе улучшенных продуктов питания и новых продуктов на платформе FoodTech.



Рисунок 2.6 - Покрытие цифровыми инструментами процессно-продуктовой цепочки

Прослеживаемость на современных цифровых платформах улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия с целью управления их качеством, мониторинга состояния почв, применяемых улучшенных семян, агрохимикатов и пестицидов гармонично сочетается с обязательным законодательным требованием создания Федеральной государственной системы прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов.

Ключевые положения нормативных актов и принципы прослеживаемости агрохимикатов и пестицидов представлены в материалах Россельхознадзора ФГИС прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов (ФГИС ППА).

Федеральным законом от 30.12.2020 № 522-ФЗ в ред. от 28.06.2021 № 221-ФЗ внесены изменения в Федеральный закон от 19.07.1997 № 109-ФЗ «О безопасном обращении пестицидов и агрохимикатов». В частности, закон дополнен статьей 15.2 Федеральная государственная информационная система прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов, которая вступила в силу с 01.06.2022 (с 01.09.2022 промышленная эксплуатация).

Федеральная государственная информационная система прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов (ФГИС ППА) создается в

целях обеспечения учета партий пестицидов и агрохимикатов (рис. 2.7) при их обращении (производстве (изготовлении), хранении, перевозке (транспортировке), применении, реализации, обезвреживании, утилизации, уничтожении и захоронении), а также осуществления анализа, обработки представленных в нее сведений, информации и контроля за достоверностью таких сведений и информации.

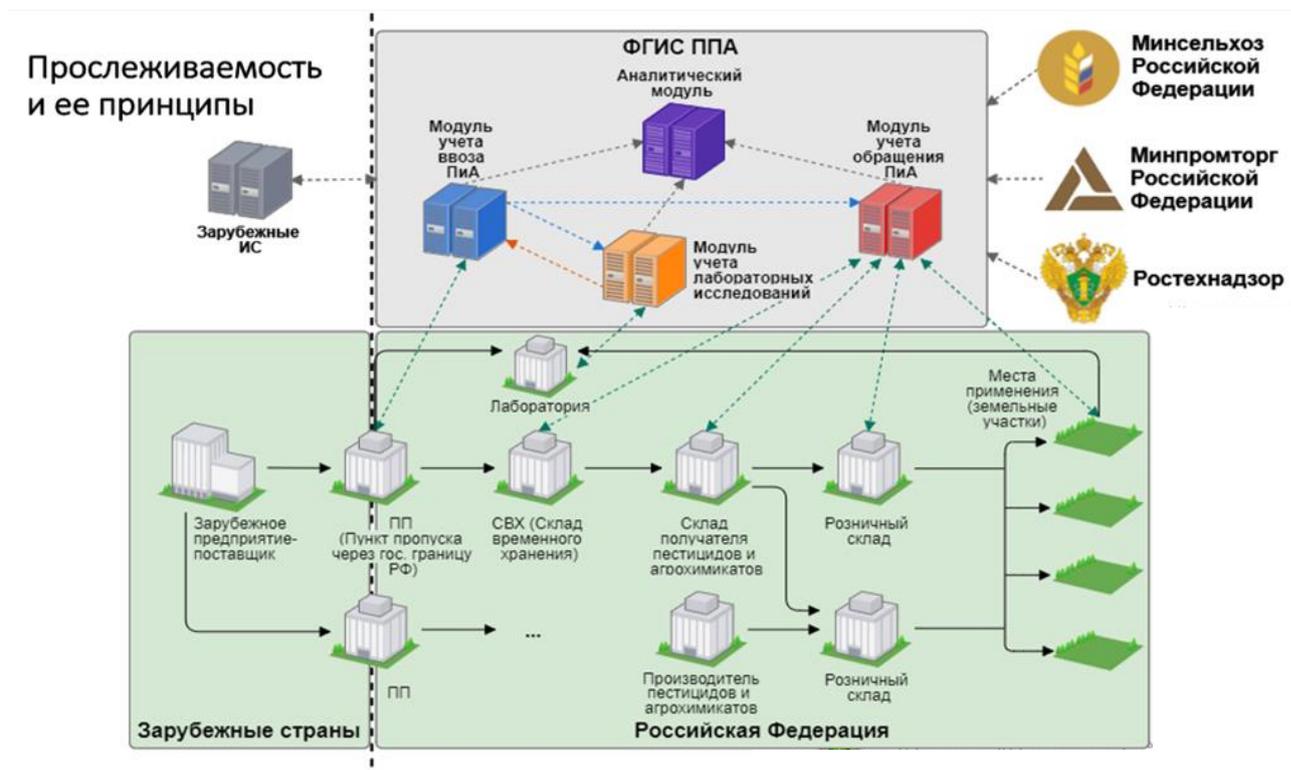


Рисунок 2.7 - Прослеживаемость пестицидов и агрохимикатов и ее принципы

ФГИС ППА действует в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Импортер подает электронное предварительное уведомление о ввозе зарегистрированного в Каталоге МСХ РФ пестицида или агрохимиката при наличии лицензии Минпромторга.

2. В пункте пропуска через государственную границу (ПП) должностное лицо Россельхознадзора осуществляет контроль в области безопасного обращения ПиА, в ходе которого оформляет акт отбора проб. По результатам контроля оформляет акт досмотра и акт контроля на груз, пересекший границу Российской Федерации, в том числе по предварительному уведомлению.

3. На складе временного хранения (СВХ) импортный груз проходит досмотр и полное таможенное оформление.

4. Груз следует по оформленному сертификату на склад получателя. При поступлении груза на склад сертификат гасится, а информация о товаре учитывается во входном журнале предприятия.

5. Для перемещения груза на другие площадки оформляется новый сертификат по записи журнала. Аналогично при поступлении груза в место назначения сертификат гасится, и информация о товаре учитывается во входном журнале предприятия.

Прослеживаемость пестицидов и агрохимикатов обеспечивается с момента их ввода в обращение, то есть, производства или ввоза на территорию Российской Федерации (оформление электронных производственных сертификатов или гашение импортных сертификатов) до момента их вывода из обращения: вывоз с территории Российской Федерации, применение, розничная реализация гражданам для ведения личного подсобного хозяйства, обезвреживание, утилизация, уничтожение и захоронение (оформление электронных актов вывода из обращения с указанием способа). Основные принципы прослеживаемости:

- учет ведётся по партиям товаров;
- сертификат оформляется при производстве партии подконтрольного товара, при перемещении (перевозке) подконтрольного товара, при переходе прав собственности на подконтрольный товар;
- сертификат оформляется в электронной форме с использованием ФГИС ППА. Каждый сертификат снабжается уникальным идентификационным номером;
- сертификаты двух типов производственные и транспортные: при производстве должен быть оформлен производственный сертификат, при перемещении должен быть оформлен транспортный сертификат;

- ФГИС ППА работает в разрешительном режиме. То есть, без оформления документов невозможно движение партии: производство, перемещение и применение партии;
- сертификаты содержатся в ФГИС ППА в статусах: проект, оформлен, погашен, аннулирован;
- для обеспечения прослеживаемости используются сигналы двух типов: отправитель оформляет транспортный сертификат, а получатель должен погасить сертификат, то есть, подтвердить приемку;
- началом цепочки прослеживаемости (источником мастер-данных) является производственный либо импортный сертификат. При этом каждый новый документ оформляется на основе предыдущего, формируя цепочку;
- все участники оборота (и объекты, и субъекты) должны быть зарегистрированы в системе;
- ФГИС ППА базируется на платформе ФГИС ВетИС: системы Аргус, Цербер используются для предоставления информации участникам оборота и получения информации от участников оборота;
- регистрация и работа в ФГИС ППА производятся без взимания платы;
- для взаимодействия с ФГИС ППА используются 2 интерфейса: веб-интерфейс для ручного ввода информации и API-интерфейс для автоматизированного взаимодействия между системами.

Общая платформа прослеживаемости агрохимикатов и пестицидов с отражением атрибута «улучшенные характеристики» является эффективным результирующим инструментом прослеживаемости всей цепочки производства улучшенной хозяйственной продукции и продовольствия. При этом производство улучшенных минеральных удобрений само является предметом локального цикла прослеживаемости используемого сырья, качества полупродуктов до конечной продукции.

Пример прослеживаемости для наиболее разнообразно используемым видам сырья и улучшенных минеральных удобрений приведен на рисунке 2.8.

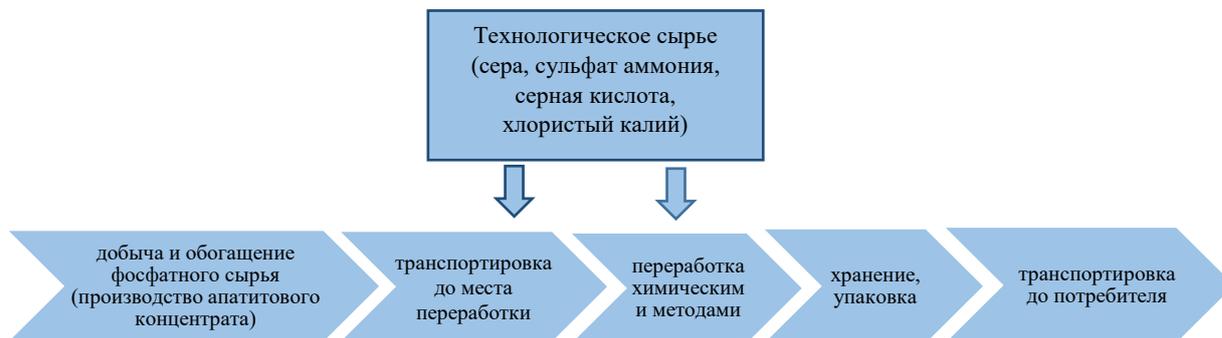


Рисунок 2.8 - Цепочка прослеживаемости (локальный цикл) производства улучшенных минеральных удобрений

### Сертификация

Жизненный цикл производства, хранения, транспортировки и применения улучшенных минеральных удобрений включает такие важные составляющие как:

- ресурсоэффективность, связанная с применением наилучших доступных технологий и постоянным снижением химического и углеродного следа производства и продукции;

- контроль качества всего входящего технологического сырья на основе критерия: «как минимум - не хуже показателей ключевого сырья».

Для рассматриваемого примера комплексных минеральных удобрений это означает, что все виды минерального и химического сырья (сера, серная кислота, сульфат аммония, хлористый калий) по содержанию примесей, нормируемых национальным стандартом на улучшенные минеральные удобрения, не должны превышать их содержания в апатитовом концентрате. Последующий контроль полупродуктов и рабочих сред гарантирует соответствующие показатели качества товарных минеральных удобрений. Для сложных и комплексных удобрений из Кольского апатитового концентрата (АО «Апатит», ГК «ФосАгро») система управления качеством

продукции обеспечивает значительный запас фактических показателей относительно норм национального стандарта.

Соответствие показателей качества улучшенных минеральных удобрений компании «ФосАгро» подтверждено сертификатами качества с номерами 01, 02 и 03, выданными органом по сертификации улучшенной продукции АНО «Российская система качества» (выданы 29.09.2021 г.).

### Экологическая маркировка

Выделяют три основных вида экомаркировки продукции, к разработке которых устанавливаются требования в соответствии с международными стандартами ИСО – 14021, 14024 и 14025 (существуют также их российские версии).

#### Экологическая маркировка 1 типа (экологическая сертификация)

Экомаркировка 1 типа – это добровольная многокритериальная программа сертификации третьей стороной, в результате которой выдается лицензия на использование специальной маркировки для продукции. Этот Эко-знак свидетельствует о том, что данный вид продукции (в рамках определенной группы однородных товаров) прошел проверку, которая доказала минимальное воздействие данной продукции на окружающую среду в течение всего ее жизненного цикла (Lifecycleassessment, LCA) (ИСО 14024).

Доверие к программе определяется, в первую очередь, доверием к осуществляющей ее организации, открытостью информации о критериях оценки и их ясностью. Большинство программ экомаркировки 1 типа объединены под эгидой Всемирной организации экомаркировки (Global Ecolabelling Network, GEN), созданной в 1994 году. Основная цель ассоциации: повысить эффективность продвижения экологической маркировки на межправительственном уровне. В настоящее время она объединяет 27 программ.

Россия представлена в GEN только экомаркировкой «Листок жизни», оператором которой является «Экологический союз». Также в Ассоциацию входят другие известные в мире экомаркировки I типа, основанные на анализе

жизненного цикла – такие как «Европейский цветок» (страны ЕС), «Голубой ангел» (Германия), «Северный лебедь» (страны Скандинавии) и другие.

В рамках сотрудничества с GEN (с 2007 года) эксперты «Листка жизни» активно занимаются расширением научной базы, реализуют совместные проекты по экомаркировке и достижению Целей устойчивого развития ООН (ЦУР).

Для признания за рубежом экомаркировки, входящей в GEN, необходимо пройти аудит Международной программы Ассоциации по взаимному признанию экомаркировок GENICES.

В 2011 году экомаркировка «Листок жизни» успешно прошла аудит, доказала высокое качество процедур разработки экостандартов и сертификации и получила сертификат участника GENICES. В 2017 году российская экомаркировка успешно прошла аудит и подтвердила свой статус.

Также программа GENICES позволяет членам Ассоциации заключать договоры о взаимопризнании экомаркировок в том случае, когда большинство критериев, по которым производится оценка экологической безопасности товаров, совпадают. Для компаний-обладателей экомаркировки это дает возможность пройти сертификацию в программе другой экомаркировки по упрощенной процедуре.

На базе общественной организации Экологический союз действует орган по добровольной экологической сертификации с одноименным названием – «Экологический союз». Данный орган по сертификации является единственным на текущую дату органом по сертификации продукции, работ и услуг, имеющий государственную аккредитацию по сертификации сырья и продукции на соответствие стандартам экомаркировки «Листок жизни» и ГОСТ Р ИСО 14024-2000. Орган по сертификации «Экологический союз» - аккредитованный орган по сертификации, который работает в соответствии со стандартом ISO 17065/ГОСТ Р ИСО/МЭК 17065, данный орган по сертификации аккредитован в Федеральной службе аккредитации, регистрационный номер RA.RU.11NB64.

В сентябре 2021 года Экологический союз получил аккредитацию в Росаккредитации с расширением области аккредитации на минеральные удобрения с улучшенными характеристиками. В расширенную область аккредитации Экологического союза вошел стандарт организации СТО-56171713-023-2020 «Удобрения минеральные. Требования экологической безопасности и методы оценки», действующий в отношении минеральных удобрений с улучшенными характеристиками.

Оценка соответствия требованиям СТО-56171713-023-2020 «Удобрения минеральные. Требования экологической безопасности и методы оценки» проводится по жизненному циклу, включая управление экологическими рисками и показателями, показателями энергоэффективности и вовлечения в переработку вторичных ресурсов.

«Листок жизни» - экомаркировка, которая гарантирует экологичность товаров и услуг, подтверждает соответствие экостандарту (в соответствии с ISO14024, ГОСТ Р ИСО 14024-2000), имеет прозрачные критерии и комплексный научный подход к оценке, присваивается третьей независимой стороной (органом по сертификации «Экологический союз»). Она также аттестована в Международной программе взаимного доверия и признания ведущих экомаркировок мира (GENICES).

Соответствие удобрений «ФосАгро» подтверждено требованиям стандарта СТО 5617/713-023-2020 «Удобрения минеральные. Требования экологической безопасности и методы оценки» и соответствующим сертификатом в международной системе экомаркировки «Листок жизни». Единственным оператором этой системы в России является НО «Экологический союз» (г. Санкт-Петербург). Сертификат соответствия требованиям стандарта выдан АО «Апатит» в декабре 2021 года и подтверждает соответствие следующим требованиям по:

- ресурсосбережению и энергоэффективности производства, основанному на наилучших доступных технологиях и максимальному полезному использованию первичных ресурсов;

- эффективному управлению вторичными материальными и энергоресурсами, сокращением образования отходов;
- содержанию тяжелых металлов, мышьяка и биурета;
- использованию безопасной упаковки;
- сопровождению рационального и эффективного применения минеральных удобрений с использованием доступных цифровых инструментов, обеспечивающих точное дозирование минеральных удобрений, минимизацию потерь усвояемых форм питательных элементов и максимальное использование по фазам развития растений.

Удобрения ГК «ФосАгро» получили право на экомаркировку «Листок жизни» по правилам GEN (Всемирная ассоциация экомаркировки).

«Листок жизни» - экомаркировка, которая оценивает весь жизненный цикл продукта. Потребитель, выбирая товар с экомаркировкой, получает качественный и безопасный для здоровья товар, может быть уверен, что все экозаявления производителя обоснованы и подтверждены независимыми экспертами, а используемый товар обладает долгим сроком службы и не наносит либо наносит минимальный ущерб окружающей среде.

#### Экологическая маркировка типа 2 (экологическая самодекларация)

К этому типу относят экологическое заявление изготовителя, импортера, дистрибьютора, продавца или любой другой стороны, которая может получить выгоду от такой декларации, сделанное без сертификации и без подтверждения независимой третьей стороной (ИСО 14021). Стандарт ИСО 14021 описывает подходы к составлению таких заявлений, использованию определенных терминов, а также требования в отношении подтверждения таких заявлений третьей стороной.

#### Экологическая маркировка типа 3 (экологическая декларация)

Экологическая декларация продукции (Environmental product declaration, EPD) – это, по своей сути, всесторонний отчет о составе и экологических характеристиках продукта, подготовленный на основе оценки его жизненного

цикла, и получивший подтверждение третьей стороны о достоверности представленных в нем данных.

Программа экологического декларирования типа 3 – добровольный процесс, в ходе которого отрасль экономики или независимый орган разрабатывает требования к экологической декларации типа 3, включая установление минимальных требований, выбор категорий параметров, определение формы участия третьих сторон, а также способов обмена информацией с внешними сторонами. Экологическое декларирование типа 3 основано на данных оценки жизненного цикла продукции и служит для сравнения продуктов различных категорий. Данный тип получил широкую популярность в развитых странах в последние годы.

Наиболее предпочтительным применительно к платформе улучшенной сельскохозяйственной, промышленной продукции и продовольствия является экологическая маркировка 1 типа, так как она включает добровольную оценку соответствия, т.е. принцип, заложенный в основу подтверждения улучшенных характеристик (рис. 2.9).

Улучшенные минеральные удобрения, сертифицированные на соответствие требованиям национального стандарта ГОСТ Р и в соответствии с требованиями экомаркировки 1 типа, войдут в основу российских и международных «зеленых» закупок в области сельского хозяйства для производства экологически предпочтительной (улучшенной) сельхозпродукции и организации торговли «зелеными» промышленными и сельскохозяйственными продуктами

При этом отличительным принципом движения по цепочке жизненного цикла является соблюдение единства требований к нормированию примесей как для национального стандарта, так и для международной экомаркировки 1 типа.



➡ цепочка прослеживаемости от розничного продукта до улучшенных удобрений;

➡ цепочка улучшенных удобрений и продукции.

Рисунок 2.9 - Схема движения «зеленых» удобрений по цепочке жизненного цикла улучшенной сельхозпродукции и продовольствия

## 2.4. Биоразлагаемая упаковка и биополимеры. Рециклинг

### Биополимеры

Биоразлагаемые полимеры отличаются от прочих пластиков тем, что в окружающей среде под действием микроорганизмов (бактерий или грибков) и физических факторов (УФ-излучение, температура, кислород) длинные цепочки молекул полимеров разлагаются до простейших соединений, таких как углекислый газ, вода, метан, другие неорганические соединения и (или) формируют биомассу.

Биопластмассы используются в различных секторах: от упаковки, продуктов питания, бытовой электроники, автомобилестроения, сельского хозяйства и игрушек до текстиля и ряда других. В структуре потребления крупнейшей областью применения биопластмасс является упаковка. В 2018

году данный сектор составлял почти 65 % (1,2 млн. тонн) от общего рынка биопластиков (рис. 2.10).

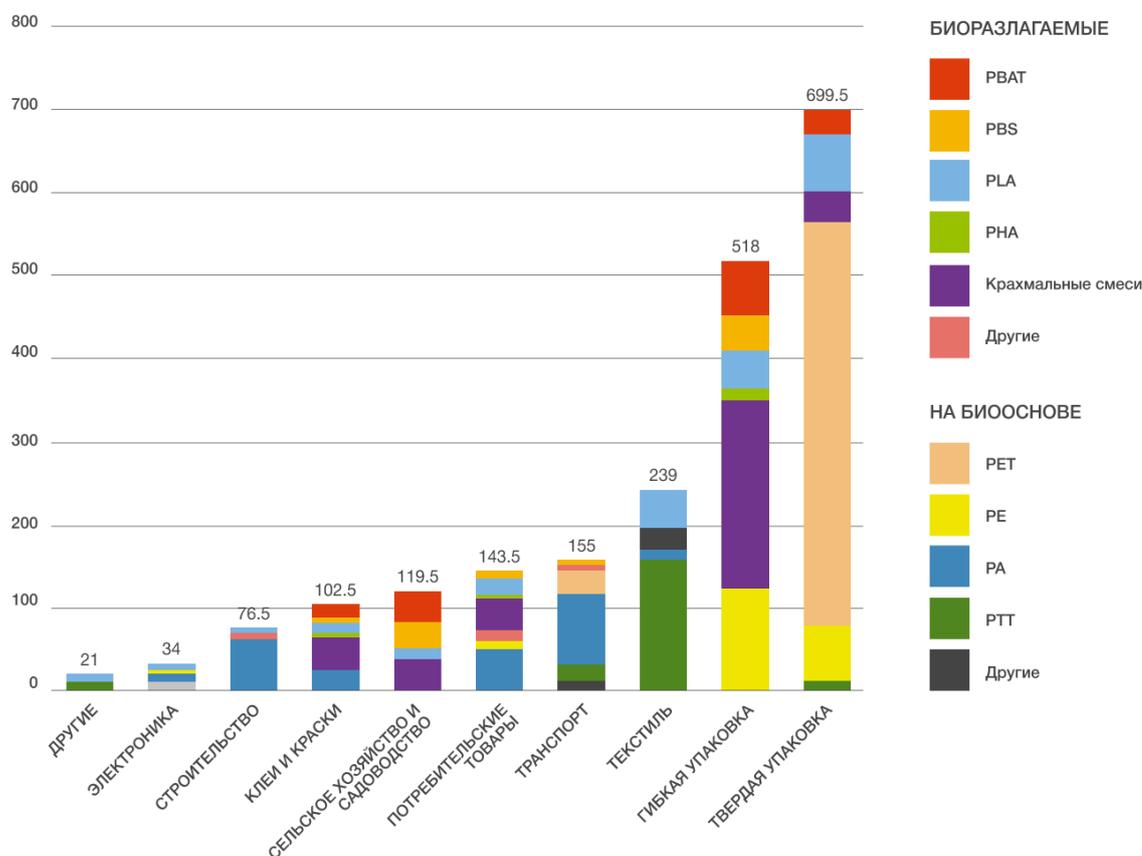


Рисунок 2.10 - Глобальные производственные мощности биопластиков в 2017–2018 гг., тыс. тонн (по сферам применения типов материала, Источник - Европейский институт биопластиков)

Для получения гибкой упаковки на биооснове наиболее распространенный тип полимеров — материалы на основе крахмалов. Второе место по частоте использования занимают PBAT (полибутилен адипат/терефталат), PLA (полимолочная кислота) и PBS (полибутилен сукцинат).

Первое место в области исследований и разработок биопластиков занимают страны Европы: здесь выпускается почти пятая часть мирового объема подобных материалов. К 2023 году доля биопластика, изготовленного в Европе, достигнет 27%, что обусловлено недавно принятой политикой в таких странах, как Италия и Франция. С июля 2021 года на всей территории Евросоюза вступил в силу запрет на 10 видов одноразового пластика. В

частности, запрещены пластиковые пакеты, ватные палочки, пластиковые столовые приборы, тарелки, трубочки, мешалки для напитков, держатели для воздушных шаров, изделия из оксоразлагаемого пластика (разлагается до оксигенированных низкомолекулярных цепей, обычно MW 5-10 000 аму, в течение 2-18 месяцев), контейнеры для еды и стаканчики из полистирола. В настоящее время по данным Green peace на Земле запрет на разные товары из одноразового пластика действует в 130 странах.

Крупным производственным центром биопластиков также является Азия. В 2018 году 55% этих материалов было произведено именно в этой части света. 16 % и 9 % рынка приходилось на Северную и Южную Америку, соответственно, и 1% — на Австралию.

Биопластик из кукурузы производят компании Metabolix (Массачусетс, США), NatureWorks (Плимут, США), CRC и Novamont (Италия). Из сахарного тростника материалы производят предприятия Braskem (Бразилия-США). Компания Arkema (Париж, Франция) в качестве сырья использует касторовое масло. Rodenburg Biopolymers (Остерхауте, Нидерланды) получает биопластик из картофеля. Пластик из водорослей придумали в Израиле ученые Тель-Авивского университета.

В России также ведутся исследования и разработки в области биопластика. Например, на базе одного из омских нефтехимических заводов изготовлены опытные образцы биопластика с применением отходов злаковых культур, безвредного для окружающей среды [8].

Необходимо отметить, что правительство России еще в начале 2010 года разработало проект «дорожной карты» по переходу на биоразлагаемые пластики для пищевой упаковки. Переход на биополимеры был запланирован на 1 января 2017 г. Проект документа был отправлен на согласование в заинтересованные ведомства, но так и не был реализован.

Крупнейшие нефтяные и химические компании, производящие продукты нефтехимии и международные потребительские бренды, использующие огромное количество пластика для упаковки товаров,

находятся в поиске решений для превращения пластикового мусора в топливо, текстиль и другие побочные продукты. Одним из направлений для исследования является так называемый биопластик, который производится из возобновляемых источников биомассы. Это могут быть растительные жиры и масла, кукурузный крахмал, солома, щепка и переработанные пищевые отходы.

Наибольшей популярностью пользуется биопластик на основе природных полимеров — крахмала и целлюлозы (из сахарного тростника и кукурузы).

Альтернатив традиционным полимерам для изготовления потребительской упаковки существует несколько:

- полимеры на биооснове, то есть, сделанные полностью из природных материалов (крахмала, полимолочной кислоты, целлюлозы и т. д.). В Европе их называют «компостируемые пластики»;

- традиционные полимеры с биоразлагающими добавками, ускоряющими процесс разложения в естественных условиях;

- пластики с оксобиоразлагаемыми добавками, где главным катализатором выступает кислород.

Полимерная упаковка в России всегда была обособленной, и отношение к ней неоднозначно до сих пор. Но ограничения в отношении использования одноразового пластика в Российской Федерации планируют вводить постепенно, сделав обязательными с 2024 года.

В связи с чем, развитие производства биополимеров и экологически чистой упаковки – один из важных шагов в развитии агропромышленного комплекса и химической промышленности России. Развитие данных ниш – больше, чем репутационный шаг в рамках глобальной декарбонизации. В ближайшее время спрос на отечественную биоупаковку и биополимеры будет расти как внутри страны, так и за её пределами. Производство биополимеров позволит России не только удовлетворить растущий внутренний спрос, но и увеличить конкурентоспособность российской продукции на мировых рынках.

### Биоразлагаемая упаковка

Несмотря на санкции, вводимые недружественными государствами, отечественные сельхозпроизводители продолжают активно развивать экспортное направление деятельности, расширяя сотрудничество со странами Персидского Залива, Китаем, Индией, Турцией, государствами Юго-Восточной Азии. Активно разрабатываются планы расширения присутствия продукции российского АПК в африканских странах.

С каждым годом страны мира отдают большее предпочтение устойчивой продукции, как на государственном, так и на частном уровне. Повсеместно вводятся эко-стандарты и эко-маркировки, потребители начинают учитывать жизненный цикл продукции. Государства-импортеры продукции российского АПК также активно регламентируют экологические факторы. Так, например, в китайских государственных закупках активно учитывается фактор наличия экологической маркировки «China Environmental Labelling», предъявляющей требования к упаковке продукции. Устойчивая пищевая и сельскохозяйственная продукция должны быть упакованы в экологически чистые упаковочные материалы.

Для продолжения успешного развития сельскохозяйственной отрасли и реализации федерального проекта «Экспорт продукции АПК» особо важно развитие экологически чистых упаковочных материалов. Наличие биоразлагаемой упаковки не только повысит престиж и конкурентоспособность отечественной продукции АПК, но также позволит российским производителям занять долю в активно растущем рынке устойчивой и органической продукции. В 2019 году объем мировых продаж органических и экологически чистых продуктов превысил 129 млрд. долл. США и продолжает стремительно расти [9].

ППК Российский экологический оператор (РЭО) предлагает перейти на биоразлагаемую упаковку из растительного сырья и считает, что такой переход приведет к снижению количества трудно перерабатываемой упаковки, которая в России составляет до 50% от общего объема ТКО.

Некоторые направления сельскохозяйственного производства уже определяют временные рамки перехода к использованию в своей деятельности биоразлагаемой упаковки. Например, рост производства овощей в Российской Федерации, который составляет, в среднем 5,4% в год, продолжающиеся процессы импортозамещения и развития розничной торговли стимулируют развитие рынка упаковки. В последнее время отмечено увеличение спроса на упаковку и инновационные материалы, позволяющие увеличить срок хранения продукции и обеспечить ее безопасность. Наблюдается опережающий рост рынка полимерной упаковки, а также повышение спроса на одноразовые изделия, персонификация упаковочных решений, расширение использования вторичного сырья и биополимеров. Крупнейшие пищевые транснациональные компании (корпорации) (ТНК) приняли добровольные обязательства по переходу к 2025 году на использование полностью перерабатываемой или биоразлагаемой упаковки [10]. В соответствии с европейским стандартом EN 13432 (ему идентичен отечественный ГОСТ Р 54530-2011) биоупаковка должна разлагаться в компосте не более чем за шесть месяцев.

С 2017 года в России действует межгосударственный стандарт ГОСТ 33747-2016 «Оксо-биоразлагаемая упаковка. Общие технические условия». Настоящий стандарт распространяется на оксо-биоразлагаемую упаковку (пакеты, бутылки, коробки, контейнеры, мешки, пленки и другие виды упаковки), предназначенную для упаковывания, хранения и транспортирования продукции. Стандарт применяют при разработке технической документации на оксо-биоразлагаемую упаковку для конкретных видов продукции, в том числе технической документации по обращению с оксо-биоразлагаемой упаковкой на всех стадиях ее жизненного цикла. Однако такая упаковка должна перерабатываться отдельно от остальной упаковки либо она должна быть направлена на специальные полигоны.

Кроме того, развитие биоразлагаемой упаковки необходимо и в рамках внутреннего рынка страны. В России активно развивается отрасль

экологичной продукции. При этом экологичность упаковки должна соответствовать «зеленым» критериям продукции. Так, в соответствии с пунктом 6 статьи 4 Федерального закона от 11.06.2021 №159-ФЗ «О сельскохозяйственной продукции, сырье и продовольствии с улучшенными характеристиками» вводится запрет на «использование упаковки, потребительской и транспортной тары, которые могут привести к загрязнению улучшенной сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». Производство биоразлагаемой упаковки необходимо для успешной реализации указанного федерального закона и развития рынка сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками в нашей стране.

Мировое повышение цен на углеводороды и растительное сырье, используемые для производства традиционных пластмасс и биополимеров, а также геополитическая обстановка оказывают большое влияние на рынки биополимеров. Так, на отечественном рынке освободятся ниши, которые были традиционно заняты европейскими ТНК: продукты для очистки воды в промышленности и бытовых моющих средствах. Кроме того, вследствие вероятного снижения объемов производства европейских биополимеров из-за роста цен на сырье или повышения цены европейских биополимеров, российские производители получают возможность занять долю на рынках других стран на Ближнем Востоке, Юго-Восточной Азии, Индии и Китае.

Более того, на фоне проблем с международными поставками, активное развитие получают производства биомикрорегелей (используются для производства экологически безопасных моющих средств и косметических продуктов, очистки промышленных стоков, а также ликвидации разливов нефти и экстракции растительных масел), производство которых уже налажено в России [11]. Важно отметить, что представители российской химической промышленности продолжают активное развитие устойчивых производств биополимеров. Так, 28 февраля 2022 г. Сибур объявил об открытии производства биоразлагаемого пластика (полилактида) на

территории Республики Татарстан [12]. Правительство субъекта федерации уже поддержало инициативу и объявило о создании рабочей группы.

Говоря о государственной поддержке производителей биополимеров и биоразлагаемого пластика, необходимо упомянуть Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 марта 2021 г. № 699-р, в рамках которого производители биополимеров (полилактида) и биоразлагаемого пластика смогут претендовать на различные меры поддержки, в частности, льготные кредиты (по ставке 5% годовых на срок от 2 до 15 лет) в рамках государственной программы развития сельского хозяйства [13].

## **2.5. «Зеленые» закупки**

Согласно отчету Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО ООН), государственные зеленые закупки (далее - зеленые закупки, ГЗЗ) продовольствия активно ведутся в Европе, США, странах Южной и Латинской Америки, Азии и в других государствах.

В последние годы стал актуальным тренд экологическое, социальное и корпоративное управление (*англ. Environmental, Social, and Corporate Governance, ESG*) — это совокупность характеристик управления компанией, при котором достигается вовлечение данной компании в решение экологических, социальных и управленческих проблем.

Тренд на ответственность и экологичность распространяется не только в промышленном секторе, но и в агропромышленном комплексе.

Для привлечения внебюджетных средств в проекты, снижающие экологическую нагрузку, было принято Постановление правительства от 21.09.2021 №1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зелёного) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации проектов устойчивого (в том числе, зелёного) развития в Российской Федерации». В нём выделены отраслевые направления

устойчивого (зеленого) развития. Одним из направлений является сельское хозяйство.

В мире основные драйверы ESG-трансформации компаний в агропромышленном комплексе связаны с тремя группами стейкхолдеров (заинтересованные стороны): потребителями, регуляторами и инвесторами [14]. Ускорить трансформацию предприятий российского АПК в соответствии с целями устойчивого развития может включение в государственные закупки ESG-требований к организациям, производящим сельскохозяйственную продукцию. К числу стимулирующих мер можно также отнести введение единого стандарта ESG-отчетности и государственную ESG-маркировку агропродукции.

Для сельского хозяйства устойчивое развитие, в первую очередь, означает снижение выбросов парниковых газов, например, с введением альтернативных рационов питания для животных. Сокращение отходов, например, через рециклинг отходов животноводства. Ускорить ESG-трансформацию АПК может господдержка ESG-проектов. Они требуют значительных инвестиций от компаний, и финансовая помощь могла бы снизить нагрузку на отрасль АПК.

По данным Strategy Partners, годовые бюджеты на ESG-трансформацию на перспективу двух-трех лет сегодня заложили примерно две трети предприятий российского АПК. В среднем размер бюджета на эти цели составляет один-два процента от выручки компании. Более половины компаний в сельском хозяйстве уже включают в свои стратегические документы ESG-цели, а в ближайшие два-три года около 30 процентов организаций планируют выпускать ESG-отчеты. В пищевой промышленности активность не ниже: примерно 75 процентов с ESG-целями и 25 процентов готовятся к выпуску ESG-отчета.

По данным Strategy Partners, в числе российских компаний, активно развивающих ESG повестку, - «Русагро», «Группа Черкизово», ГК «ЭФКО», холдинг «Агросила», ГК «Содружество», «Русмолоко», Концерн

«Покровский», холдинг «ЭкоНива-АПК», «Русские Мельницы» и ряд других [15].

Одним из наиболее эффективных и подходящих российской экономической системе механизмов развития ESG-принципов является механизм государственных закупок. Различные эксперты и представители государственной власти сходятся во мнении: государственные закупки – не только важный механизм, оказывающий влияние на рынок в различных секторах экономики, но и инструмент побуждения технологической модернизации производства и стимулирования инноваций в бизнесе.

Платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия органично встраивается в перспективное и развивающееся направление зеленых закупок. Развернутые положения концепции приведены в материалах, разработанных Центром стратегических разработок Российского экологического общества «Экологический союз» и Фондом дикой природы [15]. При этом принципы государственных «зеленых» закупок являются универсальными и могут применяться как в формате B2G, так и B2B и B2C.

В рамках механизма государственных закупок (в соответствии с Федеральным законом от 05.04.2013 № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» (далее - 44-ФЗ) и Федеральным законом от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (далее – 223-ФЗ), осуществляется закупка большого количества сельскохозяйственной продукции и продовольствия. Согласно доступной в открытых источниках статистике, закупки продовольствия и сельскохозяйственной продукции составляют около 6% общего объема закупок, осуществляемых через механизмы Законов 44-ФЗ и 223-ФЗ.

Положениями Закона № 44-ФЗ обеспечена возможность установления экологических требований при закупках, в том числе, предоставления преимуществ поставщикам товаров, работ, услуг, путем учета таких

требований в типовых контрактах, типовых условиях контрактов с установлением случаев и условий их применения (часть 11 статьи 34 Закона 44-ФЗ). Однако воспользоваться данной возможностью заказчики могут с соблюдением установленных законодательством ограничений.

Механизмом государственных закупок продукции агропромышленного комплекса пользуются:

- общеобразовательные школы;
- детские сады;
- больницы и учреждения здравоохранения;
- организации Министерства обороны Российской Федерации;
- подведомственные санатории;
- многие другие государственные учреждения, подведомственные организации.

Одним из важных атрибутов концепции зеленых закупок является четкое обоснование экологических показателей для каждой однородной группы продукции и проведение оценки соответствия компетентным независимым органом.

Требования и критерии зеленых закупок должны включать в себя положения о необходимости наличия у закупаемой продукции экологических маркировок или подтвержденных стандартами экологических характеристик.

Экомаркировки в основном имеют дело с экологическими характеристиками продукции или услуг. Экомаркировки могут быть полезными в управлении экологическими критериями, предъявляемым к товарам или услугам, а также могут быть использованы как вспомогательное средство для определения характеристик или выдвигаться в качестве требования к продукции напрямую [16].

Однако большинство поставщиков, участвующих в процедурах государственных закупок, не имеют опыта использования экологических характеристик своих товаров, а надзорные органы зачастую трактуют

положения указанных выше федеральных законов в сторону упрощения. Все это не дает системе ГЗЗ развиваться должным образом.

Для имплементации и развития механизма ГЗЗ продукции агропромышленного комплекса, прежде всего, необходимо реализовать следующие меры:

1. Разработать методологию и критерии закупок сельскохозяйственной продукции и продовольствия;
2. Модернизировать и адаптировать под нужды ГЗЗ существующий механизм государственных закупок (44-ФЗ, 223-ФЗ);
3. Определить направления и мероприятия информационной политики по популяризации ГЗЗ, в том числе, для сельскохозяйственного производства;
4. Разработать и обеспечить проведение поддерживающей информационной политики.

В 2022 году, постановлением Правительства Российской Федерации от 8 июля 2022 г. №1224 был утвержден перечень товаров для государственных и муниципальных закупок, по которым с 2023 года будет указываться доля вторсырья, использованного при производстве. Принятое решение направлено на создание условий для расширения рынка сбыта продукции, произведённой с использованием вторсырья, за счёт увеличения спроса на неё со стороны госзаказчиков. К такой продукции отнесены, в том числе удобрения органические.

Минпромторг будет ежегодно представлять согласованные с Минприроды предложения по актуализации перечня. С 2024 года будет устанавливаться минимальная доля вторсырья, использованного при производстве товаров из утверждённого списка. Таким образом, Правительство начинает переход к зелёной модели госзакупок.

Внедрение и развитие ГЗЗ в России не только позволит правительству ориентировать государственные закупки на достижение целей устойчивого развития и охраны природы и окружающей среды, но и стимулировать бизнес

и поставщиков совершенствоваться в более энергоэффективном, экологичном, здоровом и устойчивом направлениях.

Создание системы зеленых закупок, которая включает сертификацию улучшенной промышленной, сельскохозяйственной продукции и продовольствия как в национальной системе сертификации, так и в международной, обеспечивает потребителю полную информацию о соответствии показателей установленным требованиям.

Основные критерии и подходы к зеленым закупкам, имеющим комплексный характер и учитывающим воздействие каждой составляющей жизненного цикла на окружающую среду, приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Учет показателей воздействия на окружающую среду и принципы подхода к зеленым закупкам [17]

Критерии оценки и действия	Ключевые показатели воздействия на окружающую среду	Действия в рамках зеленой закупки
Перечень показателей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• закисление и деградация почв</li> <li>• токсическое воздействие пестицидов и токсичных примесей удобрений, присутствующих в воде, воздухе, почве и пище на здоровье человека и окружающую среду (растения и животные)</li> </ul>	Закупка продуктов: <ul style="list-style-type: none"> <li>• органических;</li> <li>• производимых в рамках зеленой «интегрированной системы» с улучшенными характеристиками, в том числе экологическими;</li> <li>• морских продуктов и аквакультуры в соответствии с принципами «устойчивого производства»</li> </ul>
Принципы учета оценки показателей воздействия на окружающую среду и блок действий	<ul style="list-style-type: none"> <li>• отрицательное воздействие на здоровье работников</li> <li>• неправильное обращение и удаление определенных пестицидов и удобрений</li> <li>• эрозия почвы, уничтожение лесов и утрата биоразнообразия, вызванные несоответствующими и устаревшими методами ведения сельского хозяйства, чрезмерно интенсивным ведением животноводства, интенсивной практикой рыболовства и производства аквакультуры</li> <li>• высокое потребление энергии и воды в производстве продуктов питания</li> <li>• образование большого количества упаковочных отходов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• закупка продуктов животноводства в соответствии со строгими стандартами</li> <li>• закупка навалом/насыпью в упаковке, которая имеет высокий процент/потенциал переработки</li> <li>• использование экологически чистых бумажных изделий</li> <li>• селективный сбор отходов и обучение персонала</li> <li>• минимизация использования опасных химических веществ</li> <li>• оптимизация транспортных маршрутов, повышением энергоэффективности и сокращение выбросов на транспортных средствах, используемых для осуществления услуг общественного питания</li> </ul>

## 2.6. Цифровизация агропроцессов

На этапе эффективного применения улучшенных минеральных удобрений важно использование передовых агротехнологий, например, точного земледелия, no-till – технологий, капельного орошения (фертигация) и других. Для создания, систематизации и обработки большого массива данных необходимо применение современных цифровых платформ для оптимальной системы питания растений. В этом отношении применение улучшенных минеральных удобрений для производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия тесно связано с цифровой трансформацией сельского хозяйства и реализации ведомственного проекта «Цифровое землепользование» и его подсистем: «Умное поле» и «Умная ферма».

Целью проекта является цифровая трансформация сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в АПК и достижения роста производительности труда. Проект предусматривает цифровизацию не только хозяйствующих субъектов, но и самой системы управления АПК.

В настоящее время Минсельхоз уже запустил в эксплуатацию Единую федеральную информационную систему о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН). Система наполняется актуальной и достоверной информацией по регионам России о землях сельскохозяйственного назначения, включая информацию о местоположении, состоянии и фактическом использовании каждого сельскохозяйственного поля, возделываемой на нем сельскохозяйственной культуре, состоянии почвы, сельскохозяйственной растительности в реальном режиме времени, что позволит реализовать концепцию «эффективного гектара».

Обработка данных агрохимического мониторинга почв, данных о севообороте, предшественниках сельскохозяйственных культур, погодноклиматических условиях на основе цифровых платформ обеспечивает достаточно точное прогнозирование целевой урожайности. На основе полученных данных задаются программы точного (прецизионного) внесения

улучшенных минеральных удобрений, химических средств защиты растений низких классов опасности и/или биологических средств, выбору и подготовки семян с улучшенными характеристиками, состояния агробиоценоза, внешних факторах воздействия на окружающую среду и т.д. Это позволяет на основе высокопроизводительных программ производить модельно-сценарные расчеты, позволяющие корректировать систему питания и защиты растений при изменении внешних факторов с минимизацией их влияния на окружающую среду и сохранением высокой урожайности и качества урожая.

Особенно важным является детализация данных агрохимического мониторинга по отдельным участкам полей с получением полных данных не только о количественном содержании питательных веществ в усвояемой форме, но и о наличии и уровнях содержания загрязняющих веществ, в том числе мышьяка, тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов и т.д. Такая база данных позволит определить, какие виды минеральных удобрений могут быть использованы как для производства массовой безопасной сельскохозяйственной продукции, так и улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия. Условная схема разделения может быть следующей (рис. 2.11).

Цифровые платформы обеспечат полную прослеживаемость применения агрохимикатов и пестицидов, в том числе, с улучшенными характеристиками, и создание цифрового паспорта земель сельскохозяйственного назначения.

Особенно актуальным это становится при вводе в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых, выведенных и нарушенных земель в период до 2024 года (около 13 млн га). Необходим усиленный первичный агрохимический анализ почв, вводимых в сельскохозяйственный оборот, и разработка оптимальной системы питания растений с учетом результатов анализа, как по содержанию питательных веществ, так и по загрязняющим веществам.



Рисунок 2.11 - Схема разделения удобрений для производства с.х. продукции

Интеграция цифровой платформы и производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия показана на рис. 2.12.

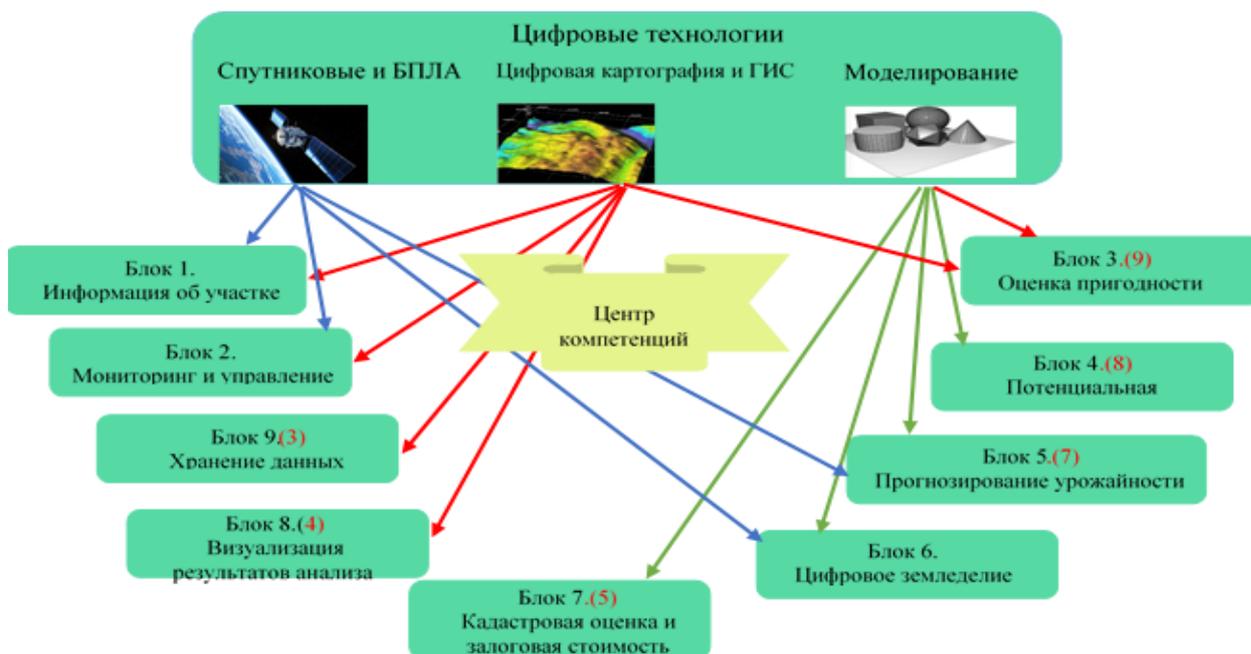


Рисунок 2.12 - Центр компетенций и система автоматизированного планирования и землеустроительного проектирования оптимального (адаптивно-ландшафтного) использования земель в сельском хозяйстве [17]

При высоком уровне загрязнения почв по ряду загрязнителей (мышьяк и тяжелые металлы) для производства безопасной сельскохозяйственной продукции необходимо использовать исключительно улучшенные минеральные удобрения, при этом можно применять и ударные стартовые дозы удобрений.

В ряде случаев для стартового выхода на высокую урожайность и для соблюдения требований технологических регламентов по безопасности сельскохозяйственной продукции будет требоваться применение только улучшенных минеральных удобрений (схематично это изображено на рис. 2.13).

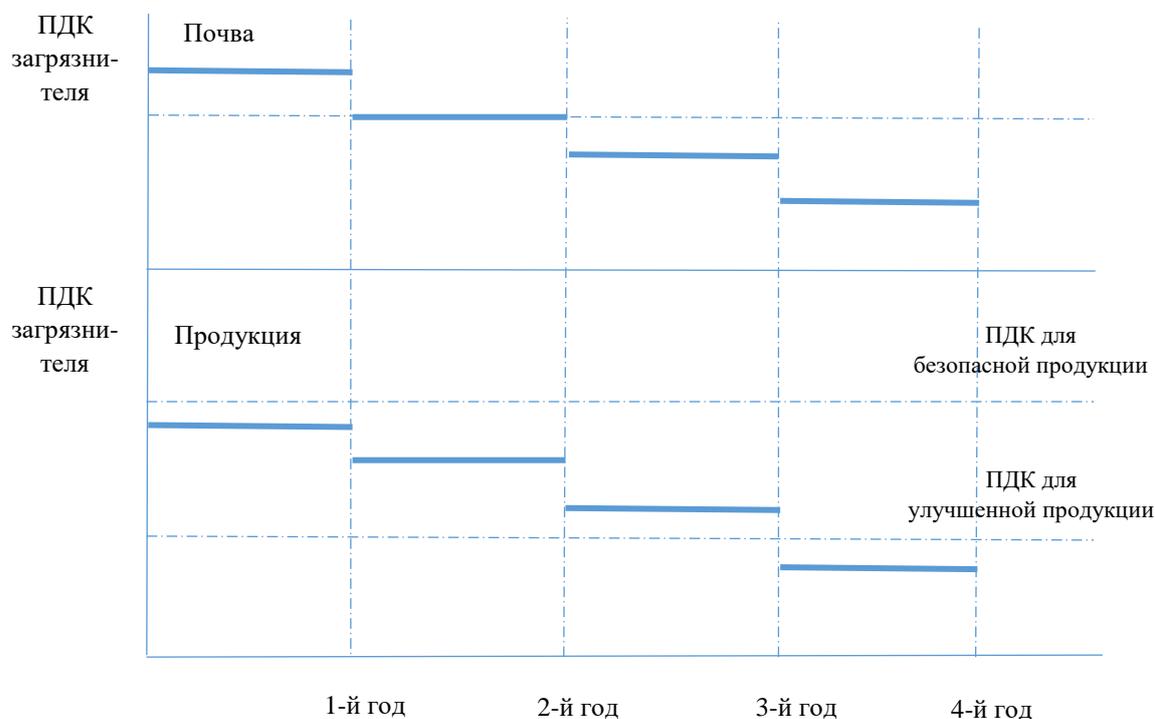


Рисунок 2.13 - Снижение ПДК загрязнителя продукции от применения улучшенных минеральных удобрений

За счет выноса загрязняющих веществ с биомассой сельхозпродукции при максимальной урожайности фактически достигается биоремедиация почв. При этом соблюдаются установленные техническими регламентами технические требования к безопасности сельскохозяйственной продукции. По мере снижения содержания загрязняющих веществ в почве через несколько

лет можно переходить на производство улучшенной сельскохозяйственной продукции при применении улучшенных минеральных удобрений либо безопасной сельхозпродукции при применении обычных минеральных удобрений.

Это можно продемонстрировать на цикле трансляции кадмия по цепочке «почва-удобрения-сельскохозяйственные растения-продукты питания-человек» (рис. 2.14).

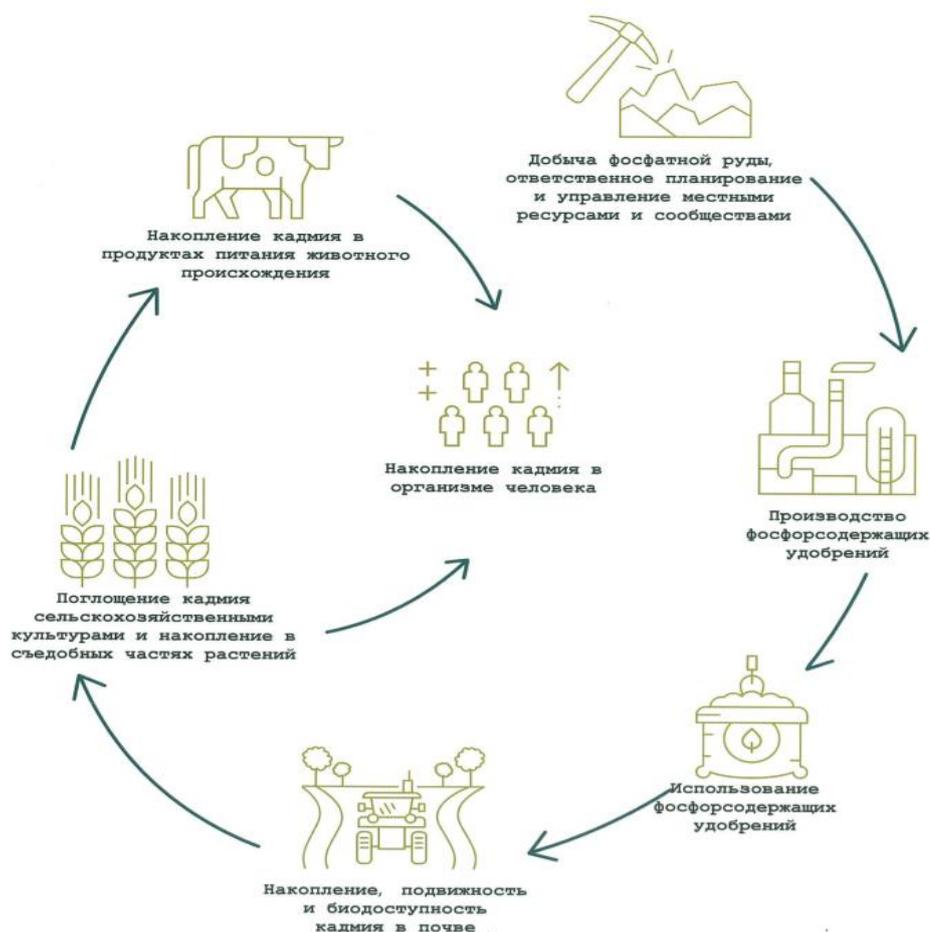


Рисунок 2.14 - Перенос кадмия по цепочке производства сельскохозяйственной продукции и продуктов питания

Для восстановления агробиоценоза в случае загрязнения почв кадмием необходим разрыв цепочки дальнейшего накопления и переход на низкокадмиевые улучшенные минеральные удобрения. Из всех известных способов восстановления почв достижением безопасной предельной

концентрации кадмия в почве (механический, химический, комбинированный) метод биовосстановления почв обладает несомненными преимуществами:

- не несет дополнительных операций и затрат;
- позволяет поддерживать высокую урожайность и рентабельность сельскохозяйственного производства;
- вводить в сельскохозяйственный оборот поврежденные /нарушенные/загрязненные почвы с восстановлением их плодородия.

Без применения улучшенных минеральных удобрений с высокими дозами внесения и обеспечения высоких урожаев сельскохозяйственных культур проблема восстановления сельскохозяйственных земель превращается в трудновыполнимую задачу.

## **2.7. Взаимодействие науки и бизнеса в области научных исследований**

В целях развития агропромышленного комплекса России необходимо углублять стратегическое партнерство науки и бизнеса в сельском хозяйстве, реализовывать в производстве перспективные достижения и научные изыскания.

Анализ трендов и вызовов, складывающихся в агропромышленном комплексе, показывает, что они носят междисциплинарный и межотраслевой характер. При этом ключевые направления развития фундаментальных исследований в АПК Российской Федерации (табл. 2.4) напрямую связаны с переходом на платформу устойчивого сельского хозяйства, в том числе для производства улучшенной сельхозпродукции. В сборнике «Инновационное развитие аграрного сектора экономики России в условиях ЕАЭС» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации представлены следующие ключевые направления прорывных научно-технических работ, наиболее значимых для реализации платформы улучшенной сельхозпродукции и продовольствия [19]:

- клеточная технология создания форм ячменя и овса с комплексной устойчивостью к токсичности кислых почв (НИИСХ СВ);
- методика рекуррентной регенерации (способ повторного скрининга соматклонов, то есть растений-регенерантов, возникающих из соматических клеток в культуре тканей *in vitro*) и автоселекции *in vitro* ярового рапса с использованием нанобиокомпозитов и новых регуляторов роста, ускоряющих процесс создания новых высокопродуктивных генотипов, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам среды (СФНЦА РАН);
- метод идентификации устойчивых генотипов плодовых культур к биотическим и абиотическим факторам среды по морфо-биохимическим показателям (ВСТИСП);
- методика получения экологически безопасных биопестицидов на основе суспензий из *Nostoc sp* (род цианобактерий) и эукариотических водорослей *Chlorella vulgaris* (хлорелла), *Klebsormidium flaccidum* (зеленая нитчатая водоросль) и *Coelastrella terrestris* (одноклеточная зеленая водоросль) против одного из возбудителей корневых гнилей и фузариозов *Fusarium avenaceum*, а также стимулирующих рост растений пшеницы мягкой (ВНИИФ);
- методика отбора высокопродуктивных генотипов сои для использования в селекции на повышение урожайности (ВНИИМК).

Платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия дает уникальную возможность для быстрой апробации и внедрения в практику научных инноваций, прежде всего в области использования результатов генетических исследований и новых биопрепаратов, биопестицидов и биоудобрений в сельскохозяйственном производстве. При этом Платформа требует еще более тесного взаимодействия промышленных компаний, нацеленных на технологическое развитие и внедрение инноваций с инновационными центрами и компаниями, вузовской и академической наукой.

Таблица 2.4. Ключевые направления развития фундаментальных исследований в АПК РФ

Фундаментальные исследования в агропромышленном комплексе Российской Федерации в долгосрочной перспективе (прогноз до 2030 г.)					
Экономика, земельные отношения и социальное развитие села	Земледелие, мелиорация, водное и лесное хозяйство	Растениеводство, защита и биотехнологии растений	Зоотехния и ветеринария	Механизация, электрификация и автоматизация	Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции
<p>*Разработка новых и совершенствование существующих организационно-экономических механизмов развития агропромышленного комплекса страны, включая критерии экологической эффективности, в условиях глобализации – унификации и интеграционных процессов в экономике мира</p> <p>*Совершенствование механизмов земельных отношений и устойчивого развития сельских территорий</p>	<p>*Разработка и совершенствование систем воспроизводства плодородия почв, предотвращение всех видов их деградации, создание адаптивно-ландшафтных систем земледелия нового поколения</p> <p>*Создание и эксплуатация оросительных и осушительных систем, агролесомелиоративных и лесохозяйственных комплексов</p>	<p>*Мобилизация, сохранение и изучение генофонда растений</p> <p>*Развитие сельскохозяйственной биотехнологии в целях создания новых высокопродуктивных форм культурных растений, устойчивых к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды</p> <p>*Создание новых генотипов растений с хозяйственно ценными признаками и устойчивостью к стрессовым факторам</p> <p>*Конструирование высокопродуктивных агрофитоценозов и агроэкосистем</p> <p>*Разработка и внедрение систем агроэкологического мониторинга и фитосанитарного прогнозирования, базирующихся на усовершенствованных традиционных методах, использовании информационных и компьютерных технологий</p> <p>*Создание инновационных биологических и химических средств</p>	<p>*Мобилизация, сохранение и изучение генофонда животных, птиц, рыб и насекомых</p> <p>*Создание новых генотипов животных, рыб, птиц и насекомых с хозяйственно ценными признаками и устойчивостью к стрессовым факторам</p> <p>* Разработка биологических средств защиты животных, птиц, рыб и насекомых</p> <p>*Обеспечение противодействия биологическому терроризму в целях безопасности предприятий АПК</p>	<p>*Совершенствование системы энергообеспечения и энергоресурсосбережения</p> <p>*Разработка и внедрение возобновляемых источников энергии, в том числе на основе биотоплива из растительного сырья</p> <p>*Интенсификация применения машинных технологий, в том числе для точного (прецизионное) земледелия, и инновационной энергонасыщенной техники для производства основных групп продовольствия</p>	<p>* Разработка новых и совершенствовании базовых ресурсосберегающих технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья, производства и хранения пищевых продуктов</p>

Такое взаимодействие позволяет:

- четко определить задачи и приоритеты быстрого трансфера инноваций и научных разработок в технологии, технические и управленческие решения в повседневную практику;

- эффективно проводить отбор и удаление (выбраковку) идей и заделов через «воронку новизны и реализуемости»;
- задействовать организационные и финансовые ресурсы компаний для концентрации на ключевых направлениях трансфера инноваций;
- создавать научный задел по прорывным перспективным направлениям научно-технологического развития;
- совмещать формат обучения студентов с их активным вовлечением в научно-прикладные разработки на базе технопарков, иннопарков, технологических долин и других передовых форм научных исследований;
- формировать образовательные программы с учетом прогноза перспектив развития АПК и требований к компетенции специалистов не только по объему и глубине знаний, но и практическим компетенциям, навыкам и способности к саморазвитию и самообучению.

Такой принцип взаимодействия «индустриальный партнер - научное учреждение» заложен в комплексной Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на период до 2025 года (постановление Правительства РФ от 25 августа 2017 г. № 996).

В общем виде схема взаимодействия индустриального партнера с различными субъектами образовательной, инновационной деятельности, научными учреждениями различной ведомственной принадлежности и организационных форм представлена на рисунке 2.15.

Такое партнерство также будет способствовать достижению целей программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (постановление Правительства Российской Федерации от 13 мая 2021 г. № 729).

Создание проектных консорциумов эффективно для решения самых сложных задач, прежде всего создания прорывных научно-технологических платформ опережающего типа, определяющих долгосрочное развитие научных исследований, прикладных разработок, переход на новый уровень технологического развития на принципах технологий знаний и устойчивого

развития (рис. 2.16). Такие консорциумы уже сложились и действуют в области производства агрохимикатов нового поколения, средств защиты растений, кормов и кормовых добавок, пищевых добавок.



Рисунок 2.15 - Общая схема взаимодействия технологически и инновационно динамичных компаний с научно-образовательными центрами

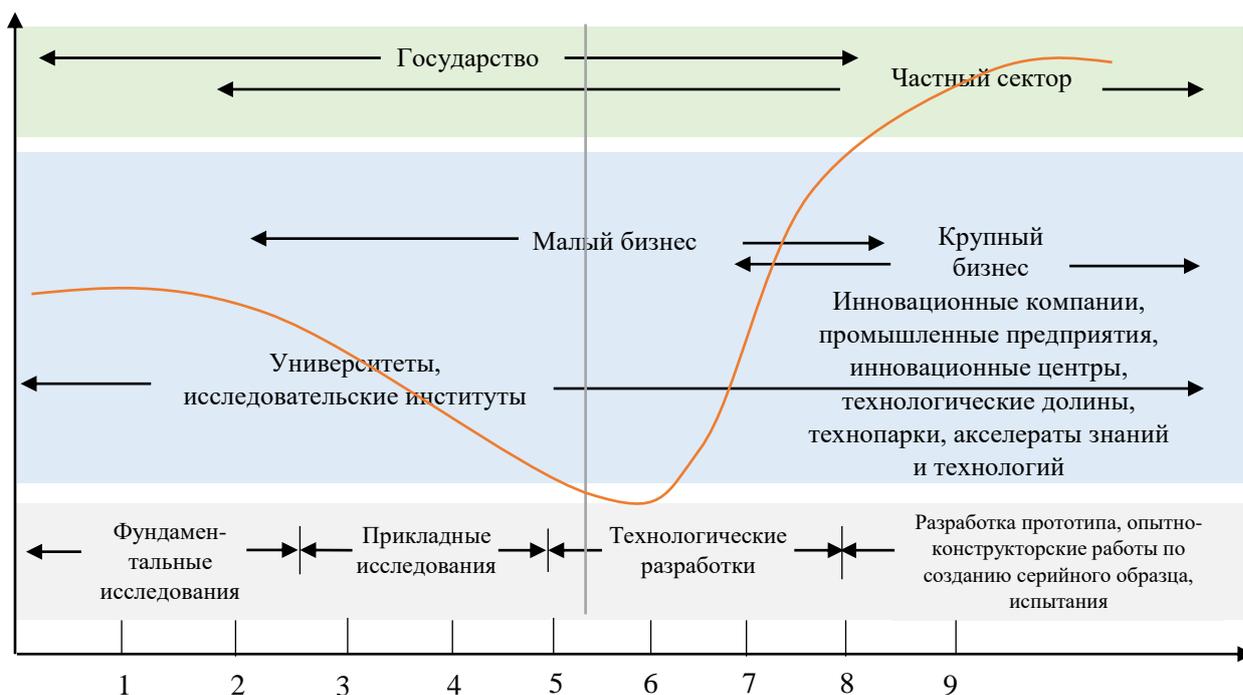


Рисунок 2.16 - Стадии инноваций и их трансфера в производство

Платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия использует современные разработки из различных областей знаний и прорывных научных исследований. В качестве примера можно привести новые исследования генной инженерии без вмешательства в генокод растения. Это один из самых современных высокотехнологичных методов селективного изменения свойств с усилением полезных и подавлением вредных свойств.

Альянс с промышленными партнерами усиливает мотивацию междисциплинарных научных исследований и их быстрого переноса в практику. Для платформы улучшенной сельскохозяйственной продукции большую перспективу представляют исследования в области генной инженерии с усилением естественных свойств растений за счет обработки РНК и подавлением вредных генов. Метод получил название РНК-интерференции и является новым направлением в области физиологии и селекции растений (в 2006 году американским ученым Э.Файеру и К.Мэллоу за открытия в области физиологии и медицины методом РНК-интерференции была присуждена Нобелевская премия). Метод не предполагает внедрение инородных ДНК методами генной инженерии, а селективном воздействии малоцепочечными РНК на собственные гены растений. Задача заключается в селективном целенаправленном усилении генов растения, ответственных за урожайность, стрессоустойчивость, плодоношение, устойчивость к болезням и подавление вредных генов. РНК-интерференция позволит создать практикоориентированный метод сельскохозяйственной продукции с различными направлениями ее использования: на улучшенные семена, улучшенные продукты питания, улучшенные корма для животных и птиц, инновационные продукты из растительного белка.

## **2.8. Оценка и контроль углеродного следа**

Усилия глобального сообщества по предотвращению изменения климата, преимущественно, сконцентрированы на сокращении выбросов

углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ). При этом метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), оксид серы ( $\text{SO}_2$ ) и другие парниковые газы (не содержащие  $\text{CO}_2$ ), выделяемые в процессе деятельности в области растениеводства и животноводства тоже способствуют глобальному потеплению.

Сельское хозяйство вносит свой вклад в увеличение выбросов углекислого газа: увеличение площади использования сельскохозяйственных угодий ведет к сокращению пространства механизмов поглощения  $\text{CO}_2$  (леса, залежные земли, почвы для ведения органического сельского хозяйства). Прямые и косвенные выбросы сельского хозяйства, связанные с использованием земли, учитываются в секторе сельского хозяйства, лесоводства и других видов землепользования (AFOLU).

Сельскохозяйственная деятельность: растениеводство, животноводство, производство продуктов питания различными способами способствует увеличению выбросов. К наиболее значимым парниковым газам, выделяющимся в сельском хозяйстве наряду с диоксидом углерода, относятся метан и закись азота. Причем сельское хозяйство является одним из значимых эмитентов (производителей) парниковых газов. В мировом балансе выбросов парниковых газов на долю сельского хозяйства приходится около 25% всей антропогенной эмиссии парниковых газов.

Использование сельскохозяйственных угодий может привести к увеличению доступности азота в почве и привести к выбросам закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Конкретные виды деятельности, которые способствуют выбросам  $\text{N}_2\text{O}$  на сельскохозяйственных землях, включают применение синтетических и органических удобрений, выращивание сельскохозяйственных культур, содержащих азот, некорректная агротехника, осушение органических почв и методы орошения.

На долю, связанную с управлением эксплуатацией сельскохозяйственных почв, приходится чуть более половины выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  в сельскохозяйственном секторе экономики.

Согласно недавно опубликованному Глобальному протоколу ФАО по органическому углероду в почве, «масштабы и темпы поглощения углерода в почвах могут сильно варьироваться в зависимости от различных видов землепользования и практики, характеристик почвы, растительности, рельефа и климата, а также от других почвообразующих факторов и процессов». Как показано на рисунке 2.17, процесс, регулирующий круговорот углерода между почвой и растениями, а также его улавливание и хранение в экосистеме является сложным.

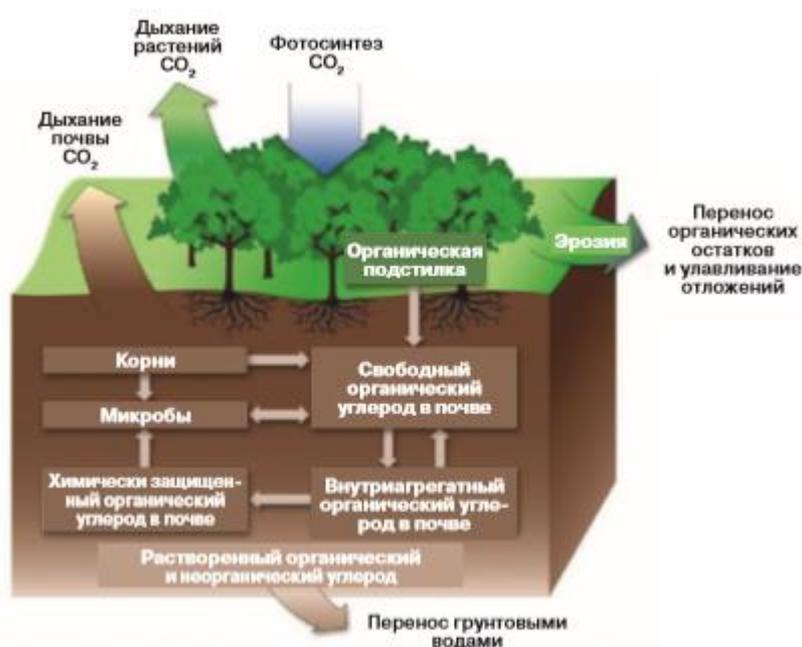


Рисунок 2.17 - Секвестрация углерода в почве

В связи с интенсификацией сельского хозяйства, увеличения объемов производства продукции животноводства, ростом количества сельскохозяйственных отходов, мероприятиями по известкованию кислых почв и т.д. количество выбросов парниковых газов в мире стабильно растет. ФАО - продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН приводит данные, что в период с 1961 год по 2011 год выбросы парниковых газов практически удвоились с 2,7 млрд  $\text{CO}_2$  – экв до 5,3 млрд  $\text{CO}_2$  – экв.

В последние годы в развитых странах выбросы сектора AFOLU снижаются за счет совершенствования практик землепользования (применение методов регенеративного сельского хозяйства, органических и

органо-минеральных удобрений, соответствующих адаптивных агротехнологий), которые способствуют поглощению углерода, и техническим изменениям, позволившим сократить объем выбросов на единицу продукции.

В России на долю сельского хозяйства приходится около 6% от совокупной эмиссии диоксида углерода всеми отраслями экономики (рисунок 2.18).

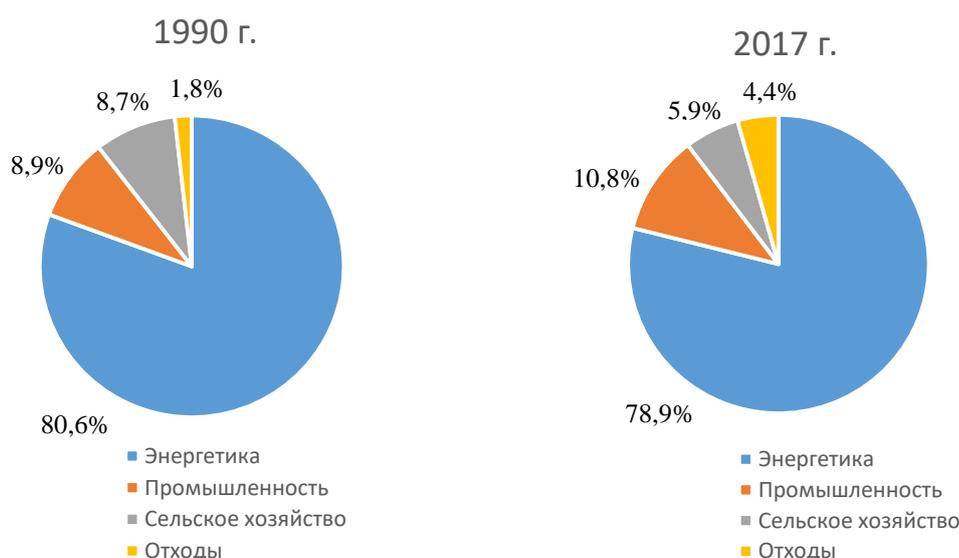


Рисунок 2.18 - Распределение общего выброса парниковых газов (CO<sub>2</sub> – экв) по секторам экономики в 1990 и 2017 гг.[20]

В абсолютных величинах выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве в 2017 году уменьшились относительно показателей 1990 года более, чем вдвое: с 276 млн. тонн CO<sub>2</sub> – экв до 128 млн тонн CO<sub>2</sub> – экв. В 2019 году вклад сектора «Сельское хозяйство» в совокупный выброс уменьшился до 5,5% [27].

«Климатически нейтральное» сельское хозяйство предполагает:

1) обязательное обеспечение воспроизводства плодородия почв, желательно, расширенное, достигающееся за счёт технологий, включающих оценку и корректировку расходных и приходных статей баланса элементов минерального питания растений в агроценозах;

2) максимально возможное использование ресурсов органического вещества, включая отходы животноводства, вернее, вторичные ресурсы;

3) запрещение декарбонизации - снижения запасов гумуса в пахотных почвах;

4) исключение их деградации и всех видов эрозии;

5) исключение неконтролируемого обращения и поступления углерод-, фосфор- и азотсодержащих соединений в окружающую среду [21]. Применение удобрений в сельском хозяйстве, как природных, синтетических (минеральных), так органических, микробиологических и других форм и видов оказывает значительное влияние на объем выбросов парниковых газов.

Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), сегодня в мире ежегодно применяется более 100 млн тонн синтетических азотных удобрений для выращивания сельскохозяйственных культур. Около половины этого объема используется для увеличения производства зерновых, преимущественно кукурузы, пшеницы и риса. Кроме того, ежегодно используется около 50 млн тонн фосфорных удобрений и более 40 млн тонн калия. Использование синтетических удобрений широко распространено в США, Канаде, Европе, Бразилии, Китае и Индии, где крупномасштабное механизированное сельское хозяйство является нормой.

Согласно специальному отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) за 2019 год об изменении климата на Земле, количество ежегодно используемых удобрений с 1960 года увеличилось почти в 10 раз. Данное увеличение использования удобрений шло рука об руку с увеличением урожайности продовольствия — за тот же период мировое производство зерновых выросло в три-четыре раза. Быстрое расширение использования синтетических удобрений совпало с «Зеленой революцией», крупномасштабным толчком к увеличению сельскохозяйственного производства во всем мире в 1960-х годах, особенно на глобальном юге.

«Зеленая революция» связана с выведением новых сортов сельскохозяйственных культур, генетически модифицированных для получения более высоких урожаев, а также более широким использованием агрохимикатов, ирригации и механизации. Но вся эта повышенная производительность стала возможной только благодаря расширению производства удобрений, считает ученый-эколог из британского Центра экологии и гидрологии Марк Саттон: «Генная инженерия была двигателем Зеленой революции, но топливом Зеленой революции для питания двигателя были удобрения».

Однако массовое внедрение синтетических удобрений повлекло увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду. Считается, что значительное накопление парниковых газов в части применения минеральных удобрений происходит в силу использования азотных удобрений.

В промышленных масштабах азотные удобрения производятся с использованием химической реакции, известной как процесс Габера-Боша: ископаемый газ сжигается для получения газообразного водорода. Затем полученный водород и азот, выделенный из воздуха, соединяются с образованием аммиака. Поскольку процесс Габера-Боша осуществляется при высокой температуре и давлении, связанные с ним выбросы парниковых газов значительны.

В отличие от азота, фосфор и калий содержатся в рудах и в ограниченных количествах – в почве. Из-за этого они создают свои собственные уникальные проблемы и свои собственные угрозы для окружающей среды. Фосфорная руда добывается, а затем обрабатывается серной кислотой для получения фосфорной кислоты, которая может быть преобразована в множество различных фосфорных удобрений. Мировые месторождения фосфора очень концентрированы: около 85% мировых запасов находится всего в пяти странах, а 70% общих запасов находятся в Марокко и

Западной Сахаре. Другими крупными странами-производителями являются Китай, США и Россия.

Как и в случае со многими ископаемыми ресурсами, наиболее качественные запасы фосфора часто истощаются первыми. По мере истощения более чистых месторождений необходимо добывать больше породы, чтобы получить такое же количество пригодного для использования фосфора. Эти менее чистые месторождения также требуют более интенсивной обработки для удаления вредных примесей, таких как кадмий, мышьяк и свинец. Если руду не обработать должным образом, эти загрязняющие вещества могут, в конечном итоге, распространиться по полям и попасть в растения.

Хотя дискуссии о воздействии удобрений на окружающую среду, как правило, сосредоточены на азоте, ограниченное количество качественного фосфора в Земле означает, что этот ресурс на самом деле является более насущной проблемой, считает Селин Ванекхаут, инженер-эколог из Университета Лавалья (Канада).

Еще одна проблема: энергоемкие процессы добычи и производства требуют сжигания значительного количества ископаемого топлива для превращения сырья в пригодные для использования удобрения и, соответственно, выделения углекислого газа.

Кроме того, многие виды удобрений транспортируются на большие расстояния. Как и в случае с выбросами, связанными с пищевыми продуктами, считалось, что транспорт составляет лишь небольшую часть выбросов парниковых газов от удобрений — всего несколько процентов от общего количества. Однако недавние исследования показали, что транспортные выбросы, связанные со всей продовольственной системой, включая транспортировку и использование удобрений, кормов для животных, значительно выше, чем предполагалось ранее. Например, при внесении в почву азотсодержащих удобрений часть химически активного азота поглощается растениями, а другая — теряется в окружающей среде. Сток

питательных веществ может способствовать цветению водорослей, выделяющих метан, что приводит к снижению содержания кислорода в водотоках, которое может вызвать гибель рыбы.

В шестом оценочном отчете Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) говорится, что в сельском хозяйстве преобладает рост выбросов закиси азота, особенно в результате внесения навоза и азотных удобрений. Однако полная картина круговорота азота и его роли в климате не так проста. Азот, применяемый для выращивания сельскохозяйственных культур, также может попадать в атмосферу в виде газообразного аммиака, который может образовывать твердые частицы, поглощающие или отражающие солнечный свет, создавая в результате согревающий и охлаждающий эффекты.

Охлаждение имеет краткосрочный эффект, а вот стремление к потеплению – долгосрочная тенденция, предупреждает Саттон. Такие твердые частицы также являются одним из основных источников загрязнения воздуха. Кроме того, чрезмерное использование удобрений может уничтожить микробные сообщества в почве. Причем избыток фосфора может закрепиться на органическом материале почвы или солях, что приведет к форме фосфата, непригодной для растений. Это уже стало проблемой для фермеров.

Задолго до разработки процесса Габера-Боша люди удобряли свои посевы разными способами. Например, известно, что фермеры эпохи неолита использовали навоз домашнего скота для повышения урожайности основных сельскохозяйственных культур. Органические удобрения в основном состоят из растительных остатков или остатков животных. Сегодня наиболее часто используемые органические удобрения во всем мире — это навоз, компост и костная мука. В последние десятилетия несколько стран попытались отказаться от использования синтетических удобрений. В Республике Шри-Ланка такая попытка отказа прошла не очень гладко. Весной 2021 года президент этой страны, Готабая Раджапакса объявил о запрете на импорт агрохимикатов в попытке сделать сельское хозяйство страны более

устойчивым. Ассоциация экономики сельского хозяйства Шри-Ланки предупредила президента, что урожайность и доходы фермерских хозяйств резко упадут в результате этой политики. Раджапакса вскоре отменил некоторые положения запрета, но все равно разразились протесты из-за роста цен на продовольствие и его нехватки.

Однако недавнее исследование, в ходе которого были проанализированы 30 длительных опытов на фермах в Европе и Африке, показало, что экологически устойчивые методы ведения сельского хозяйства «в целом положительно влияют» на урожайность, особенно при использовании в сочетании с небольшими количествами азотных удобрений.

Генеральный директор FAO Цюй Дуньюй обозначил шаги по устранению угроз глобальной продовольственной безопасности, один из них — «обеспечить лучшее и более эффективное использование имеющихся удобрений». «Все страны должны повысить эффективность удобрений, чтобы они соответствовали местным системам земледелия. В среднесрочной и долгосрочной перспективе существует острая необходимость инвестировать в более эффективное использование химических удобрений наряду с навозом, биоудобрениями и продуктами, основанными на новых технологиях», — сказал он. В начале 2022 года в ООН обсудили проект резолюции по устойчивому использованию азота, который в итоге был принят 2 марта. В резолюции отмечается негативное воздействие чрезмерного использования питательных веществ на виды, экосистемы и изменение климата, а также добавляется, что сокращение отходов азота «предлагает возможность сэкономить миллиарды долларов США ежегодно». Документ призывает за счет улучшения устойчивого управления азотом «ускорить действия по значительному сокращению отходов азота во всем мире к 2030 году и далее».

Некоторые страны уже начали принимать меры по сокращению отходов азота. Климатический план Канады, объявленный в декабре 2020 года, включает цель по сокращению к 2030 году выбросов, связанных с применением удобрений, на 30% по сравнению с уровнем 2020 года. Он

охватывает как прямые, так и косвенные выбросы, связанные с внесением удобрений, но не производство самих удобрений. В соответствующем документе эта цель называется «амбициозной, но достижимой». В юго-восточном индийском штате Андхра-Прадеш около шести миллионов фермеров при поддержке правительства переходят на метод ведения сельского хозяйства, известный как «естественное земледелие с нулевым бюджетом» (ZBNF), которое предполагает отказ от использования удобрений и других химикатов в пользу регенеративных и других устойчивых подходов. Переход, который затронет 8 млн га традиционно обрабатываемых сельскохозяйственных угодий, должен быть завершён к 2024 году. Однако в других частях мира государственная политика по-прежнему направлена на увеличение использования удобрений. Ранее в этом году правительство Бразилии опубликовало национальный стратегический план по удобрениям, направленный на снижение зависимости страны от импорта удобрений за счёт привлечения инвестиций и расширения внутреннего производства.

Некоторые компании по производству удобрений начали изучать «более экологичные» методы производства, в том числе за счёт использования процесса Габера-Боша с использованием возобновляемых источников энергии. Другие исследования сосредоточены на поиске альтернативных методов синтеза аммиака. Международный гигант по производству удобрений Yara заявляет, что к следующему году компания будет продавать «зеленые удобрения, не содержащие полезных ископаемых, произведенные с использованием возобновляемой электроэнергии вместо энергии ископаемого топлива». Утверждается, что углеродный след станет на 80-90% ниже. Nutrien - другая крупнейшая в мире компания по производству удобрений, заявляет, что у нее есть возможность производить около 1 млн тонн «низкоуглеродного» аммиака, и что она намерена «инвестировать в новые технологии и осуществлять переход на низкоуглеродные удобрения» [22].

Другим крупнейшим источником выбросов парниковых газов в АПК является кишечная ферментация кормов в процессе пищеварения в ЖКТ

животных с образованием метана. В 2011 году на этот процесс приходилось 39% от общего объема эмиссий парниковых газов в аграрном секторе. Выбросы в результате кишечной ферментации в период с 2001 по 2011 гг увеличились на 11%.

Закись азота и метан также могут образовываться при разложении навоза в условиях низкого содержания кислорода. Это часто происходит, когда большое количество животных содержится в замкнутом пространстве (например, на молочных фермах, откормочных площадках, свиноводческих и птицеводческих фермах), где навоз обычно хранится в больших кучах или утилизируется в лагунах и других системах управления навозом. Однако правильное хранение и применение соответствующих технологий переработки навоза приводят к снижению доли влияния животноводства в накоплении парниковых газов - закиси азота и метана.

Для снижения выбросов парниковых газов, образующихся в сельском хозяйстве, можно применить большое количество мер, основными из которых являются мероприятия по оптимизации использования удобрений, восстановление осушенных органических почв и использование прогрессивных агрономических методов.

По мнению экспертов, достижение углеродной нейтральности в сельском хозяйстве предполагается достигать за счет внедрения принципов точного земледелия, соблюдения норм и сроков внесения удобрений и агрохимикатов, использования технологий повышения урожайности в растениеводстве и продуктивности в животноводстве, использования биопрепаратов и энтомофагов вместо химических средств защиты растений, выращивание покровных агрокультур и агрокультур с мощной корневой системой, мульчирование почвы и так далее. Также необходимо обеспечить накопление углерода в почвах лугов, пастбищ и залежей [23]. В экспертном докладе НИУ «Высшая школа экономики»: «Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России» показано, что природно-климатические условия позволяют России быть не объектом, а активным субъектом мировой

углеродной политики, предлагать другим странам решения стоящих перед ними климатических вызовов и не только не потерять, но и выиграть в этих условиях [24]. Воздействие изменения климата имеет комплексный характер и создает значительные риски, прежде всего для населения, национальной инфраструктуры и климатозависимых отраслей экономики. К числу наиболее значимых относятся: риски экстремальных погодных явлений (например, масштабные наводнения или засухливые явления); риски совместного неблагоприятного воздействия (например, высокая температура и высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха); риски деградации различных экосистем в результате изменения термического и влажностного режима (например, деградация многолетнемерзлых грунтов и горного оледенения, ускоренное старение зданий) [25].

В Российской Федерации система государственного мониторинга выбросов парниковых газов и мер по сокращению выбросов парниковых газов основывается на следующих официальных документах:

1. «Климатическая доктрина Российской Федерации» (*утверждённая распоряжением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861-рп.*);

2. «Комплексный план реализации Климатической доктрины Российской Федерации за период до 2020 года» (*далее - Климатическая доктрина России*) (*утверждён распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 апреля 2011 г. № 730-р.*);

3. Указ Президента Российской Федерации от 30 сентября 2013 г. № 752 «О сокращении выбросов парниковых газов» (*в целях реализации Климатической доктрины России*);

4. «Концепция формирования системы мониторинга, отчётности и проверки объёма выбросов парниковых газов в Российской Федерации», (*утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 апреля 2015 года № 716-р.*);

5. «План мероприятий по обеспечению к 2020 году сокращения объёма выбросов парниковых газов» (*утверждён распоряжением Правительства Российской Федерации от 2 апреля 2014 года № 504-р*);

6. Парижское соглашение по климату (*принято 12 декабря 2015 г. на 21-й сессией Конференции Сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата*);

6. Указ Президента Российской Федерации от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» (*в целях реализации Российской Федерацией Парижского соглашения от 12 декабря 2015 г.*);

7. «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» (*утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р*).

Еще одним источником эмиссии парниковых газов является образование пищевых отходов. По оценкам ФАО ООН, в мире ежегодно выбрасывается треть произведенного продовольствия. Причем его нерациональное использование приводит к существенным экономическим и финансовым потерям, превышающим 1 млрд тонн продовольствия стоимостью более \$1 трлн в год. Большую часть таких отходов образуют домохозяйства, но потери также происходят во время сбора, транспортировки, хранения и переработки урожая, производства и продажи продуктов в магазинах и организациях общественного питания.

По данным Программы по окружающей среде ООН (United Nations Environment Programme, UNEP), продовольственные отходы ежегодно генерируют 8–10% глобальных выбросов парниковых газов. Продовольственные системы потребляют около 30% доступной мировой энергии, из которых 38% приходится на производство невостребованных продуктов. Объем воды, ежегодно используемой для производства продовольствия, которое теряется или выбрасывается (250 куб. км), фактически равен годовому стоку Волги. Около 28% сельскохозяйственных

угодий мира (1,4 млрд га) ежегодно приходится на производство не используемого в дальнейшем продовольствия.

В России ежегодно на свалки попадает больше 17 млн тонн продуктов. Это 895 тыс. грузовиков с едой. Если их выстроить в ряд, колонны машин вытянутся от Москвы до Владивостока и обратно. Наибольшая часть таких отходов производится домохозяйствами - 71%, магазинами и организациями общественного питания - 29%. [26]. Таким образом, вопросы изменения климата, связанные с антропогенными выбросами в сельском хозяйстве и продовольственной безопасности стали еще более взаимосвязанными и влияющими друг на друга. Необходимость увеличения урожайности на ограниченных сельскохозяйственных площадях с применением химических агрохимикатов и средств защиты растений фактически входят в противоречие со снижением выбросов парниковых газов. Поэтому необходима интегрированная (адаптивная) платформа производства сельскохозяйственной продукции (рис. 2.19), в равной степени учитывающая и агрономическую эффективность с экологическим и углеродным следом на всем протяжении жизненного цикла – от добычи первичных полезных ископаемых, состояния почв, водных источников до розничных продуктов питания.

## **2.9. Регенеративное сельское хозяйство**

### **Принципы и идеи регенеративного сельского хозяйства**

В 2022 году на форуме «Сильные идеи для нового времени» была представлена «Карта будущего: ожидания и сценарии 2020–2035», в которой были представлены четыре разворачивающихся сценария будущего развития Мира. Было отмечено, что для России желательная траектория такова: на равноправных основаниях с другими глобальными лидерами выйти к началу тридцатых годов на формирование «Зеленого посткапитализма», обязательным условием которого является переход к экологическим/регенеративным моделям в сельском хозяйстве и городах (рис. 2.20).

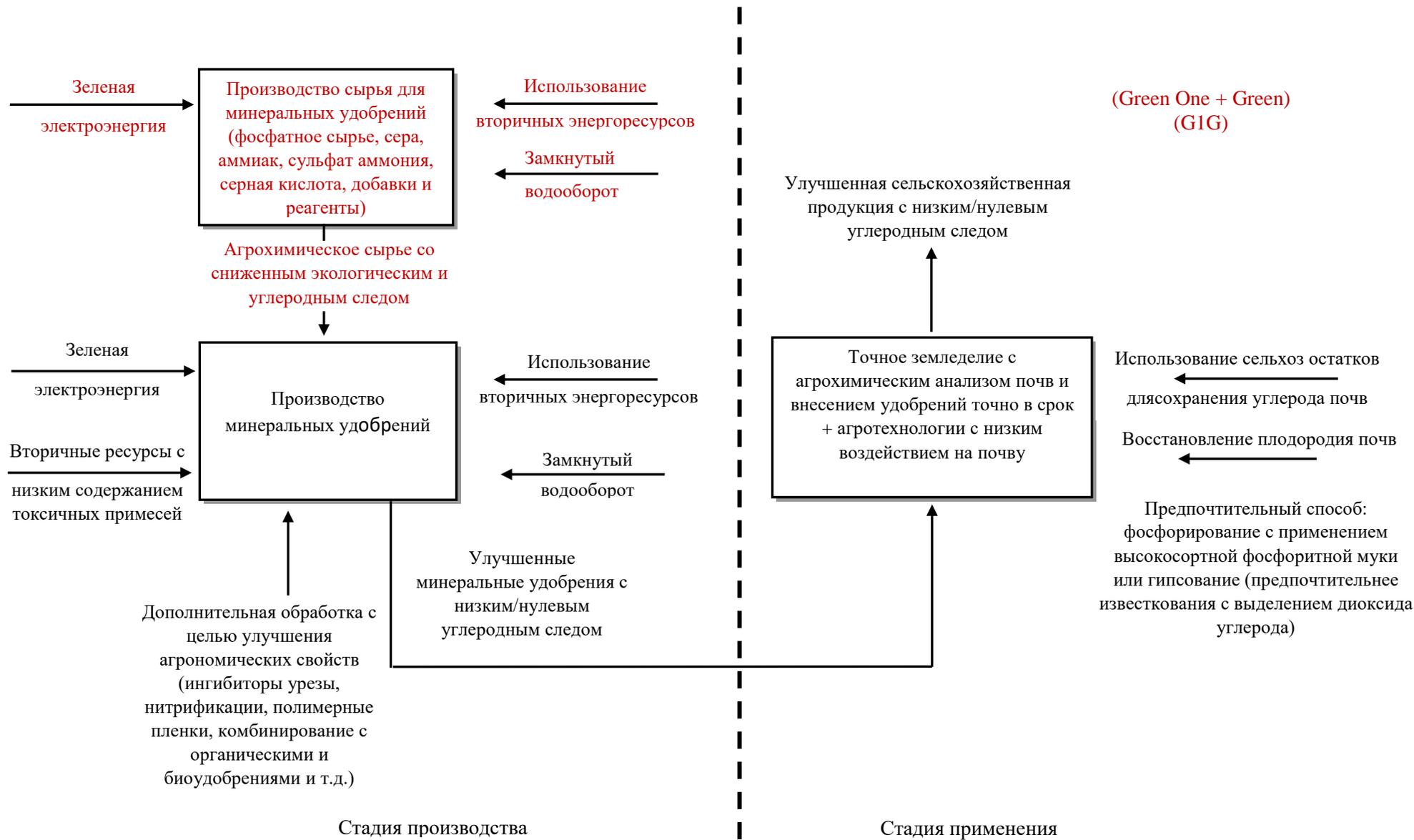


Рисунок 2.19 - Прослеживаемость агрохимикатов с пониженным экологическим и углеродным следом по цепочке «сырье-производство-применение»

Основная цель регенеративного сельского хозяйства сводится к взаимодействию с природой с целью ее сохранения. Концепцию регенеративного сельского хозяйства впервые была представлена Институтом Родаля в США в 1980-х годах. Однако дальше теории направление регенеративного сельского хозяйства не получило развитие, и вскоре о концепции забыли на несколько десятилетий.

Только в начале 2010-х годов регенеративное сельское хозяйство начало активно применяться на практике. Среди основных принципов этого подхода выделяют отказ от химических удобрений, минимальную обработку почвы, интеграцию производства сельхозкультур и животноводства, а также применение различных севооборотов, то есть, чередование высаживаемых культур. Так агрономы стараются сохранить здоровье почвы, восстановить ее верхний слой, повысить урожайность, увеличить биоразнообразие и замкнуть углеродный цикл.

Эти идеи отчасти перекликаются с концепцией органического сельского хозяйства, но на практике очевидна разница подходов. Органическое земледелие – это в основном отказ от синтетических удобрений и пестицидов. В случае «регенерации» речь идет о создании замкнутого цикла.

Известно, что масштабы и темпы поглощения углерода в почвах могут сильно варьироваться и процессы, регулирующие круговорот углерода между почвой и растениями, является сложным.

Почвенный органический углерод существует в почве в различных формах и с разным временем пребывания. Некоторые реакции с ним протекают быстро – например, микробное дыхание; в то время как другие формы углерода более устойчивы и могут разрушаться десятилетиями. Химически защищенный органический углерод, по сути, находится в «полупостоянном» состоянии и может разрушаться в течение столетий или даже тысячелетий.

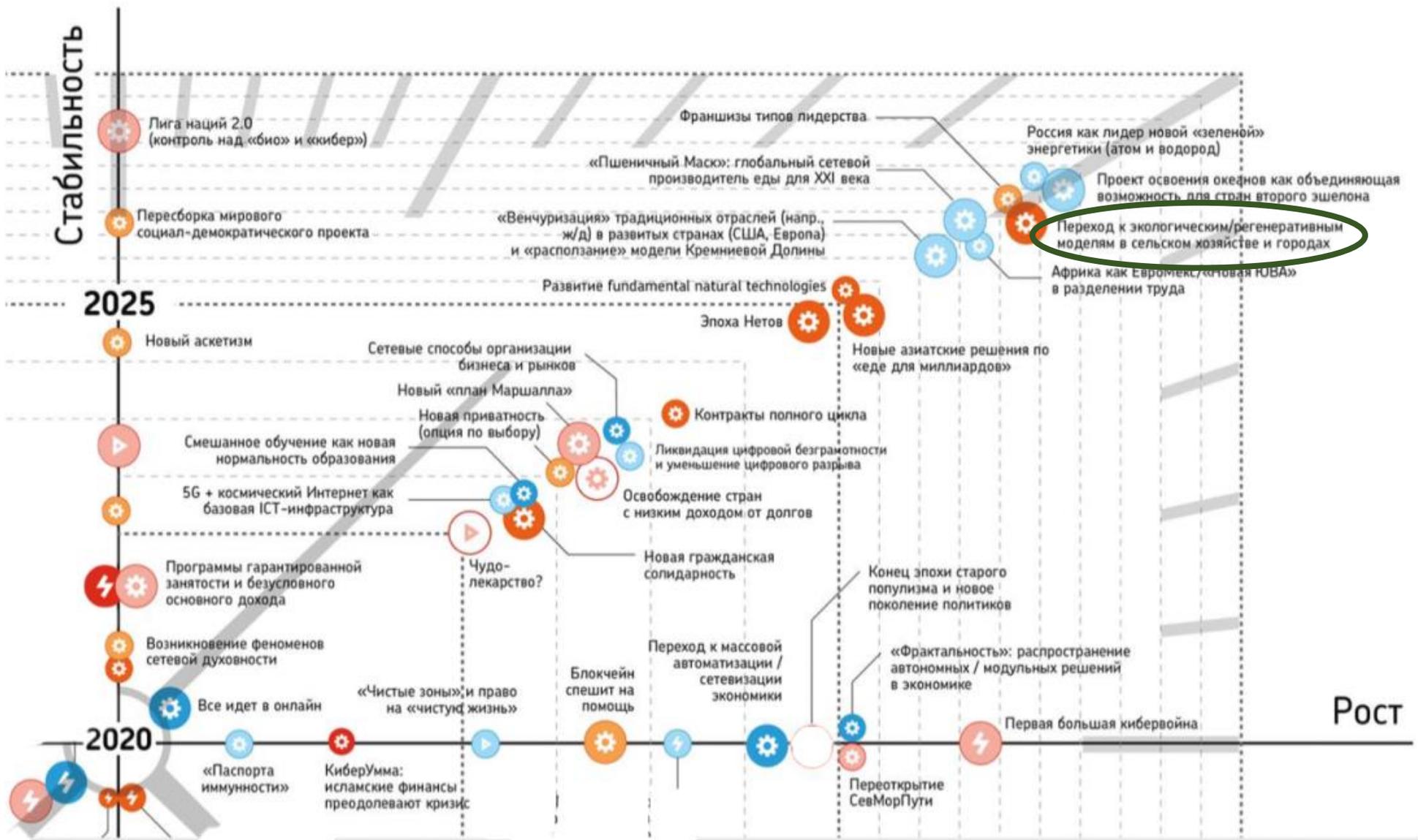


Рисунок 2.20 - Эволюция экосистемного подхода в мировой экономике

Недавно завершённый анализ методов ведения «углеродного» сельского хозяйства иллюстрирует диапазон эффективности естественных методов связывания углерода.

Адаптация определенных методов управления почвой для конкретного участка может стать одним из способов, с помощью которого сельскохозяйственные угодья могут превратиться в крупный поглотитель углерода. Скорость секвестрации в результате применения таких практик на сельскохозяйственных землях составляет от 0,2 до 0,8 т CO<sub>2</sub>/га в год.

В отличие от органического земледелия, которое имеет четкие стандарты, благодаря чему можно определить, что продукт – органический, регенеративное сельское хозяйство до настоящего времени не имеет единого определения или согласованного описания. Не существует единого набора правил, определяющих восстановительное сельское хозяйство.

Основной принцип регенеративного или восстановительного сельского хозяйства – «природа знает лучше». Идея регенеративного сельского хозяйства состоит в том, чтобы взаимодействовать с природой, а не контролировать ее. Такой метод хозяйствования ставит во главу угла здоровье почв, для чего используют растения и живые организмы с целью восстановить верхний слой почвы, замкнуть углеродный цикл и сократить эмиссию парниковых газов, повысить урожайность и устойчивость к изменению климата, увеличить биоразнообразие, повысив качество экосистемных услуг.

Регенеративное сельское хозяйство – довольно новое движение, стандарты которого еще только формируются. Например, в новой системе Regenerative Organic Certified все еще дорабатываются стандарты, поскольку появилось два конкурирующих подхода.

Первый рассматривает регенеративное сельское хозяйство, следуя за принципами органического АПК: целостное, общесистемное изменение для улучшения здоровья почвы и экосистем, которое должно повысить производительность, сократить бедность и улучшить питание во всем мире.

Второй - использует более сфокусированный подход с акцентом на секвестрацию углерода в сельском хозяйстве как стратегию изменения климата. Такой подход не обязательно исключает использование всех химических веществ или необходимость структурных изменений в отрасли. Требуется только улавливание углерода и борьба с эрозией, чтобы квалифицироваться как «восстановительное сельское хозяйство».

Как указано выше – не существует единого набора правил, определяющих восстановительное сельское хозяйство, но указанные ниже приемы хозяйствования, как правило, считаются частью процесса:

✓ ***Быть похожим на природу***

Цель – имитировать природу, обеспечивая постоянное пребывание живых корней в почве, что приносит пользу почвенным организмам и помогает уменьшить эрозию почвы от ветра или дождя.

✓ ***Держать землю покрытой***

Оставляя землю покрытой посевами, растительными остатками или почвенными культурами, реализуется задача защиты почвы от иссушения, почвенной деградации за счет дождя и ветра. Покровные культуры выращивают для защиты и обогащения почвы органикой. Обычно их высевают после сбора основной товарной культуры, затем происходит выпас сельскохозяйственных животных или механически/химически уничтожают посеvy покровной культуры, а пожнивныe остатки оставляют в поле перед посевом следующей товарной культуры.

✓ ***Увеличить плодородие почвы***

Осуществляется повышение плодородия почвы с помощью покровных культур, разнообразия севооборотов, компоста и навоза животных.

✓ ***Минимизация нарушения почвы***

Уменьшение нарушений структуры почвы путем изменения частоты, характера или глубины обработки почвы. Минимизация обработки помогает удерживать влажность почвы, как и сохранение растительных остатков на поверхности.

### ✓ *Разнообразие*

Создание большего разнообразия в системе земледелия за счет увеличения ассортимента выращиваемых культур помогает уменьшить влияние вредителей и болезней, а также способствует сохранению биоразнообразия и здоровья почвы.

### ✓ *Животноводство*

Выпас сельскохозяйственных животных на покровных культурах или остатках растений позволяет возвращать природный источник органического вещества обратно в почву. Однако на крупных сельскохозяйственных фермах этот прием не всегда возможен: не хватает кормовой базы.

### *Потенциальные преимущества регенеративного сельского хозяйства*

Почва – самое большое хранилище углерода в наземных экосистемах Земли. Ученые пришли к выводу, что с помощью использования почвенных процессов можно не только значительно сократить количество CO<sub>2</sub> в атмосфере, но также препятствовать потерям углерода в результате эрозии. Ускоренная эрозия может являться вторым по величине источником выбросов парниковых газов.

По оценке Глобального углеродного проекта (The Global Carbon Project) большинство сельскохозяйственных земель потеряли от 30% до 75% исходного органического углерода. Суть регенеративного земледелия – восстановление естественных циклов почв.

В регенеративном (восстановительном) сельском хозяйстве решение климатического кризиса увидели и политики. Так, французское правительство выступило с сельскохозяйственной Инициативой «4 на 1000» «Почвы для продовольственной безопасности и климата», чтобы побудить страны увеличивать содержание углерода в почве на 0,4% в год в первых 30-40 см почвы. Это позволит значительно снизить концентрацию CO<sub>2</sub> в атмосфере, связанную с деятельностью человека.

Темп роста не является нормативной целью для каждой страны, но призван показать, что даже небольшое увеличение запасов углерода в почве

(сельскохозяйственных, особенно на лугах и пастбищах, а также лесных почвах) имеет решающее значение для повышения плодородия почвы и сельскохозяйственного производства.

Инициатива «4 на 1000» направлена на увеличение содержания органического вещества в почве и секвестрации углерода за счет внедрения сельскохозяйственных методов, адаптированных к местным экологическим, социальным и экономическим условиям, как это предлагается, в частности, в таких направлениях деятельности, как агроэкология, агролесоводство, ресурсосберегающее сельское хозяйство или технология управления ландшафтом.

Инициатива «4 на 1000» призвана дополнить необходимые усилия по сокращению выбросов парниковых газов в глобальном масштабе и в экономике в целом. Она является добровольной: каждый участник сам определяет, какой вклад он хочет внести в достижение целей.

Аналитический центр Imaflora, занимающийся исследованиями в области экологии, провел оценку одной из ферм Бразилии, где выращивают кукурузу и сою с помощью регенеративных (восстановительных) методов. Эксперты пришли к выводу, что за год на гектар пахотных земель пришлось 1,9 тонны депонированного углерода. Для сравнения: гектар соснового леса поглощает 1-1,5 тонны углерода в год.

Некоммерческая организация Regeneration International утверждает, что переход только 10-20% мирового сельского хозяйства на регенеративные методы позволит сократить достаточное количество углекислого газа, чтобы обратить вспять изменение климата.

В Институте Родейла (США) подсчитали, что гектар регенеративных почв способен улавливать до 10 тонн углерода в год в зависимости от назначения земель и интенсивности их использования (рис. 2.21).

Исследования Института Родейла свидетельствуют о том, что методы регенеративного земледелия, хотя и приводят к временному снижению

урожайности на 28%, в долгосрочной перспективе увеличивают прибыль на 78%.

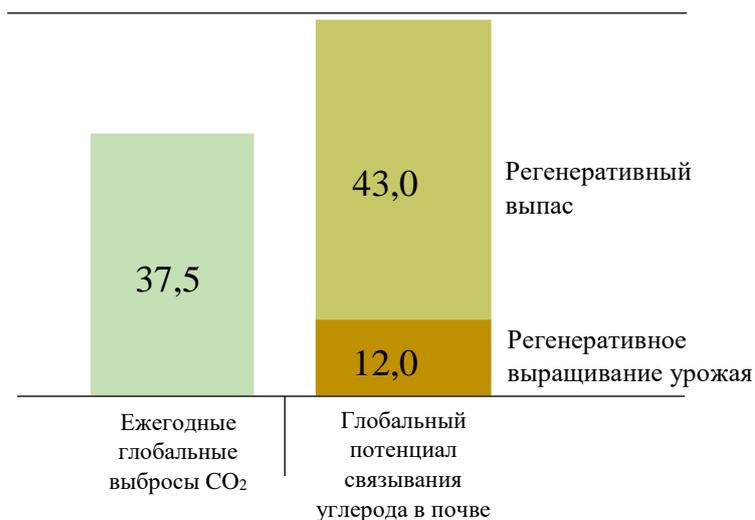


Рисунок 2.21 - Потенциал поглощения углерода регенеративным сельским хозяйством (CO<sub>2</sub> т/год) [27]

Определено, что в случае перехода сельскохозяйственного производства на регенеративные технологии почвы сельскохозяйственных угодий России могут восстановить почти 2,2 ГтС почвенного органического вещества (ПОВ). Это позволит успешно решать задачи устойчивого сельскохозяйственного развития, формировать базу для органического, экологически безопасного земледелия. Кроме того, регенеративные технологии могут играть значительную роль в уменьшении концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. Так, поглощение почти 2,2 ГтС ПОВ составляет более 3-х совокупных годовых выбросов CO<sub>2</sub> страны. Эта величина может быть существенным дополнительным резервом достижения обязательств России в смягчения климатических изменений [28].

### **Восстановительные практики в мире**

Европейские сельскохозяйственные компании разработали методологию оценки эффективности технологий регенеративного и бережливого земледелия, обеспечивающих не только сокращение выбросов парниковых газов, но и восстановление плодородия и здоровья почвы. В

России эти технологии не считаются наилучшими доступными технологиями земледелия.

В конце 2020 года компания Nestle представила план действий по снижению к 2030 году уровня выбросов CO<sub>2</sub> в два раза. Также к этому году компания рассчитывает закупать у поставщиков более 14 млн тонн сырья, произведенного с использованием регенеративного сельского хозяйства. Следующие пять лет компания намерена получать 20% ключевых ингредиентов с помощью методов восстановительного сельского хозяйства в России. В 2021 году компания объявила о намерении инвестировать \$1,8 млрд в развитие восстановительного сельского хозяйства по всей цепочке поставок. Проекты по регенеративному земледелию уже запущены в Ставропольском крае, Самарской и Орловской областях.

Компания Cargill (Миннесота, США) начала привлекать американских фермеров к участию в новой программе регенеративного сельского хозяйства, которая платит им за улучшение состояние почвы и положительные экологические результаты, включая оплату за тонну связанного углерода.

Американский информационный ресурс RegenConnect помогает фермерам расширить добровольное внедрение восстановительных методов ведения сельского хозяйства и соединяет их с растущим углеродным рынком. Фермеры, зарегистрированные в Cargill Regen Connect, внедряют методы регенеративного земледелия по своему выбору. Практики, которые будут соответствовать требованиям, включают покровные культуры, а также уменьшенную или нулевую обработку почвы.

Компания Cargill заключила партнерские отношения с фирмой Regrow, занимающейся измерением выбросов углерода, чтобы фермерам было проще измерять, сообщать и проверять углеродные результаты (MRV) с использованием полевых данных, дистанционного зондирования и моделирования состояния сельскохозяйственных культур и почвы. Платформа Regrow MRV обеспечивает простую регистрацию, безопасный

сбор данных и предоставляет фермерам прозрачные возможности измерения и проверки.

## 2.10. Зеленая химия

В последние годы растительное сырье приобретает все большее значение в качестве источника целевых компонентов для производства нового поколения поверхностно-активных веществ и синтетических моющих средств с низким экологическим следом. При этом значительно снижаются суммарные по всему жизненному циклу выбросы парниковых газов относительно традиционных многостадийных процессов переработки нефтехимического сырья.

Например, нормальные спирты с углеводородными радикалами C10-C14, обычно используемые для введения гидрофобных групп при синтезе неионных ПАВ и анионных ПАВ, получают либо гидрированием метиловых эфиров соответствующих жирных кислот, либо по реакции полимеризации этилена с триэтилалюминием в качестве катализатора. Оба способа производства распространены широко, и в обоих случаях получают неразветвленные алифатические спирты, которые мало отличаются по составу гомологов, поскольку он определяется процессом дистилляции.

В случае использования возобновляемого растительного (олеохимического) сырья, цикл переработки гораздо короче, в нем используется меньшее количество реагентов, исключены каталитические процессы, значительно сокращены энергозатраты и количество побочных продуктов и отходов производства.

За небольшим исключением все ПАВ (поверхностно-активные вещества) производятся в процессе органического синтеза, причем нередко в очень жестких условиях, когда неминуемо образуются побочные продукты. Например, моноглицериды широко распространены в природе, но ПАВ, поступающие на рынок как моноглицериды, получают в процессе промышленного гидролиза триглицеридных масел при температурах выше

200<sup>0</sup>С, что приводит к образованию побочных продуктов – ди- и трипроизводных глицерина.

С учетом природного в мягких условиях образования базовых длинноцепочечных жирных кислот, не требуется создание материалоемких промышленных установок и применение дорогостоящих конструкционных материалов, выдерживающих высокие температуры и давления.

Международный коллектив авторов, включая химиков РУДН, а также их коллег из США и Азербайджанской Республики, предложили экономичный и экологичный путь синтеза ПАВ. Новые соединения могут стать экологически чистой заменой традиционным химикатам. Наиболее экологичными и эффективными ПАВ являются «ПАВ – близнецы», в состав которых входят две гидрофильные («притягивающие») группы. Среди них выделяют ПАВ-«псевдоблизнецов», в которых гидрофильная и гидрофобная («отталкивающая воду») группы атомов связываются между собой. Международная коллаборация химиков с участием партнеров РУДН синтезировала несколько новых ПАВ-псевдоблизнецов и показала, что они не уступают существующим соединениям-аналогам по своим эксплуатационным свойствам. При этом метод получения таких ПАВ требует минимальных затрат – вещества получают при комнатной температуре без использования дорогих реагентов по принципам зеленой химии. Новые ПАВ, полученные инновационным методом синтеза, несут меньше экологических рисков, т.к. химические связи менее стабильны. Поэтому ПАВ-псевдоблизнецы биоразлагаемы и, предположительно, не будут накапливаться в окружающей среде.

В целом при правильном использовании и переработке растительного сырья можно получить более чистые целевые вещества и с меньшим экологическим следом по сравнению с промышленным органическим синтезом, что позволяет относить их к улучшенным промышленным продуктам.

С учетом широкого использования органических продуктов в областях с особо жесткими требованиями к экологичности (бытовая химия, фармацевтика, косметика, пищевая индустрия, животноводство и другие) получение экологически чистых веществ из возобновляемого сырья представляет актуальную и важную задачу. Ее решение начинается с применения улучшенной промышленной продукции.

В 1998 году П.Т. Анастас (глава Института зеленой химии американского химического общества) и Дж. С. Уорнер (президент и главный технолог Института зеленой химии Уорнера Бэбкока, Вуберн, Массачусетс) в своей книге сформулировали 12 принципов и направления «зеленой химии», которыми должны руководствоваться исследователи, работающие в данной области [29]. Принципы «зеленой химии» полностью отвечают целям и задачам платформы производства улучшенной промышленной, сельскохозяйственной продукции и продовольствия. Перечислим их:

1. Лучше предотвратить опасные потери, чем перерабатывать и чистить остатки.

2. Методы синтеза надо выбирать таким образом, чтобы все материалы, использованные в процессе, были максимально переведены в конечный продукт.

3. Методы синтеза следует выбирать так, чтобы используемые и синтезируемые вещества были как можно менее вредными для человека и окружающей среды.

4. Создавая новые химические продукты, надо стараться сохранить эффективность работы, достигнутую ранее, при этом токсичность должна уменьшаться.

5. Вспомогательные вещества при производстве, такие как растворители или разделяющие агенты, лучше не использовать совсем, а если это невозможно, их использование должно быть безвредным.

6. Обязательно следует учитывать энергетические затраты и их влияние на окружающую среду и стоимость продукта. Синтез, по возможности, надо проводить при атмосферном давлении и температуре, близкой к температуре окружающей среды.

7. Исходные и расходуемые материалы должны быть возобновляемыми во всех случаях, когда это технически возможно и экономически выгодно.

8. Где возможно, надо избегать получения промежуточных продуктов (присоединение блокирующих групп, создание и снятие защиты и т.д.).

9. Всегда следует отдавать предпочтение каталитическим процессам (по возможности, наиболее селективным).

10. Химический продукт должен быть таким, чтобы после его использования он не оставался в окружающей среде, а разлагался на безопасные продукты.

11. Нужно развивать аналитические методики, чтобы следить в реальном времени за образованием опасных продуктов.

12. Вещества и формы веществ, используемые в химических процессах, нужно выбирать так, чтобы риск химической опасности, включая утечки, взрывы и пожар, были минимальны.

Если группировать приведенные выше 12 принципов, то можно выделить главные направления развития химии, по которым призывает двигаться зеленая химия:

- замена традиционных органических растворителей, которые, как правило, получены из нефти;
- применение возобновляемых экологически безопасных исходных реагентов, как правило, получающихся не из нефти;
- разработка новых методов синтеза с использованием высокоселективных катализаторов;
- применение нетрадиционных способов осуществления химических процессов и необычных растворителей, например, применение ускорителей

электронов, использование в качестве растворителей сверхкритических флюидов.

Современная «зелёная агрохимия» в АПК включает принцип недопустимости неконтролируемого поступления химических элементов и веществ в окружающую среду; сокращение числа стадий, этапов или технологических операций полного цикла получения агрохимикатов и товарной продукции растениеводства; максимальное полезное использование отходов, растительных остатков, побочной продукции сельскохозяйственного производства (соломы, ботвы, костры, лузги) и сидератов. Основой любой системы земледелия остаётся севооборот [30].

Степень воздействия применяемого способа или технологии на окружающую среду четко отражают основные критерии «зеленой химии»:

✓ *Атомарная эффективность/экономичность* – второй, помимо E-фактора, показатель эффективности той или иной химической технологии. Если E-фактор оценивает отношение конечного продукта к использованному в его производстве сырью в килограммах, атомарная экономичность оценивает эффективность химической реакции, калькулируя соотношение атомных весов молекул «на входе» и молекул вещества конечного продукта. Таким образом, зелёный синтез — это атомарно эффективный синтез, максимально утилизирующий в конечном веществе вещества-компоненты.

✓ **Катализ.** Технологии, основанные на каталитических реакциях по определению «зеленее», поскольку минимизируют объём используемых реагентов. Правда, с учётом того, что большинство сегодняшних катализаторов имеют в основе металлы, сами по себе либо довольно токсичны, либо редки, одна из задач, стоящих перед «зелёными» химиками, — разработать «неметаллический» катализ, на основе органических компонентов (так называемый, органокатализ) либо на основе модифицированных энзимов.

## Растворители и агенты на основе CO<sub>2</sub>

Традиционные органические растворители, используемые сегодня, — это мишень «зелёной химии» номер один. Высокотоксичные и часто, в реальном производстве, объёмные, они затратны в утилизации и, в силу способности распространяться вместе с водой, всегда опасны для окружающей среды. Решая эту задачу, зелёная химия с надеждой смотрит в сторону CO<sub>2</sub>. В сверхкритическом состоянии (на грани фазового перехода между жидкостью и газом) при изменении давления углекислый газ позволяет без дистилляции сепарировать некоторые вещества, растворённые в воде. Кроме того, его высокую диффузионную способность можно использовать для химической очистки фармацевтических препаратов. Наконец, технологии с использованием в качестве агента или растворителя CO<sub>2</sub> промышленного происхождения и полученного как побочный продукт, не увеличат нагрузку на климат. Единственное препятствие, которое предстоит преодолеть при использовании CO<sub>2</sub> технологии, — снижение весьма высоких затрат на сжижение газа.

Практическим же применением данной технологии будет являться применение возобновляемой улучшенной продукции растениеводства, производимой на принципах экологически сбалансированного устойчивого сельского хозяйства для различных высокотехнологичных секторов экономики, сельского хозяйства, пищевой и фармацевтической промышленности, а также производству фармацевтических препаратов нового поколения, биологически активных веществ и продуктов для человека.

В производстве улучшенной промышленной продукции, в том числе минеральных удобрений, внедрение принципов «зеленой химии» происходит активно в следующих целевых направлениях:

1. Увеличение доли селективных каталитических процессов со снижением температуры и давления, например, в производстве аммиака;

2. Увеличение доли возобновляемых энергоресурсов (гидро-, ветро- и солнечная генерация) для замещения углеводородного сырья;

3. Создание новых биокombинированных форм минеральных удобрений и кормовых добавок с повышенной усвояемостью;

4. Вовлечение в переработку и полезное использование в различных направлениях и областях применения вторичных продуктов и энергоресурсов;

5. Увеличение глубины переработки минерального и углеводородного сырья и производство попутных продуктов, которые способны заменить изделия, производимые из первичного природного сырья. Например, производство фторида алюминия из кремнефтористоводородной кислоты для замещения плавикового шпата.

Еще одним направлением «зеленой химии», важным для экологически ориентированной платформы улучшенной продукции, является создание биопрепаратов для ускоренного расщепления накопленных в почве пестицидов и продуктов их частичного распада. Например, синтезирован биокатализатор на основе целлюлозы, содержащий гидроксамовые кислоты для связывания токсичных фосфорорганических соединений, например, пестицида Параохон. В результате образования прочных соединений гидроксамовых кислот с длиной углеродной цепи  $C_6$  с фосфорорганическими соединениями происходит детоксикация почв от накопленных пестицидов с возможностью производства улучшенной сельскохозяйственной продукции.

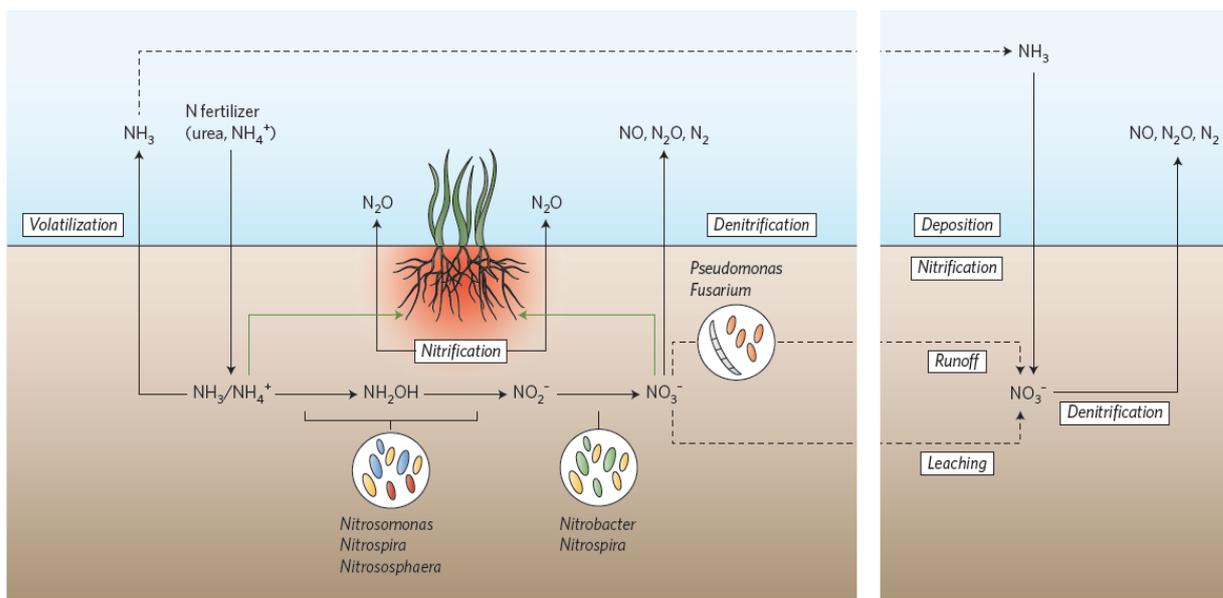
### **3. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ЗЕЛЕНАЯ ПЛАТФОРМА»**

Наряду с требованиями к содержанию экотоксичных примесей в минеральных удобрениях «зеленая» платформа включает технологии и приемы повышения эффективности применения минеральных удобрений, сокращения потерь питательных элементов и выделения в окружающую среду соединений с химическим и (или) углеродным следом.

Покажем это на примере применения азотных удобрений. На производство аммиака и азотных удобрений расходуется значительное количество первичных углеводов с выделением в виде парниковых газов диоксида углерода и закиси азота. Это технологически неизбежные выбросы парниковых газов, определяемые кинетикой и термодинамикой химических процессов парового риформинга метана с образованием молекул  $\text{CO}_2$  в производстве аммиака и молекул закиси азота  $\text{N}_2\text{O}$  в производстве азотной кислоты.

На стадии применения азотных удобрений эффективность использования азота резко снижается за счет протекающих в почве процессов их расщепления, катализируемых ферментами и микроорганизмами. Потери азота от исходно внесенного с удобрениями могут достигать 70%. При этом перенос соединений азота в окружающую среду приводит к загрязнению природных экосистем, например, эвтрофикации водоемов, загрязнению нитратами пресных вод, воздействию на озоновый слой и увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере.

На рисунке 3.1 изображена общая схема денитрификации, улетучивания и смыва азотных соединений из плодородного слоя почвы.



<p>Volatilization – испарительный перенос          N fertilizer (urea, <math>\text{NH}_4^+</math>) – азотные удобрения (карбамид, <math>\text{NH}_4^+</math>)          Nitrification - нитрификация          Denitrification - денитрификация  <i>Pseudomonas</i> - псевдомонады  <i>Fusarium</i> – фузариум</p>	<p>Deposition - отложение          Runoff - смыв          Leaching - вымывание</p>
--	--

Рис. 3.1 - Схема потерь азота из плодородного слоя почвы

### 3.1 Улучшенные удобрения, препараты и мелиоранты для «зеленой» платформы

#### Улучшенные минеральные удобрения

Проблема сбалансированного питания человека с содержанием усвояемых форм макро-, мезо- и микроэлементов приобретает все более острое и важное значение.

На примере жизненно важного элемента магния это видно особенно отчетливо. В статье показано, что при употреблении растительной пищи с высоким содержанием магния его усвоение блокируется растительными фитатами или щавелевой или фитиновой кислотами из-за образования плохо усвояемых практически нерастворимых оксалатов или фитатов магния [31]. Проблема улучшенного питания и усвоения магния может быть решена несколькими путями:

1. Введением в пищу органических добавок магния, например, цитрата магния;
2. Сбалансированным питанием без использования растительных продуктов питания;
3. Использованием магнийсодержащей питьевой воды.

В этой же работе отмечено, что питьевая вода в большинстве географических регионов недостаточна для компенсации суточной потребности организма в магнии (для взрослого человека потребность в среднем составляет 300 мг/сут). Кроме того, доступная большинству людей питьевая вода проходит многократные циклы очистки от органических примесей и токсичных элементов, прежде всего, тяжелых металлов ртути, свинца, кадмия. При очистке от тяжелых металлов удаляются и полезные двухвалентные ионы кальция и магния.

Поэтому поддержание чистоты природной воды имеет важное прикладное значение не только с точки зрения прямого попадания тяжелых металлов, но и обеднения питьевой воды после очистки по полезным элементам.

Отдельным направлением может стать производство улучшенной растительной продукции с содержанием магния в биоусвояемой органической форме. С этой целью можно использовать специальные магниевые добавки, например, цитрат магния или тиосульфат магния. При применении тиосульфата магния обеспечивается полная совместимость со всеми типами азотных и сложных удобрений, отсутствие хлорид-ионов, близкий к нейтральному pH раствора, оптимальное соотношение  $Mg:S = 4:10$ .

При этом магниевая добавка в виде тиосульфата хорошо сочетается с бесхлорными калиевыми добавками, например, водным раствором тиосульфата калия. Тиосульфаты калия и магния можно смешивать друг с другом и получать жидкие смеси с нужным соотношением  $K_2O:MgO$ .

Добавка тиосульфата калия позволяет создавать высококонцентрированные стартерные смеси для питания растения в период активной вегетации. В качестве базового раствора используют растворы полифосфатов аммония APP (11:37) или (10:34). Общая схема получения улучшенных жидких минеральных удобрений выглядит следующим образом (рис. 3.2):

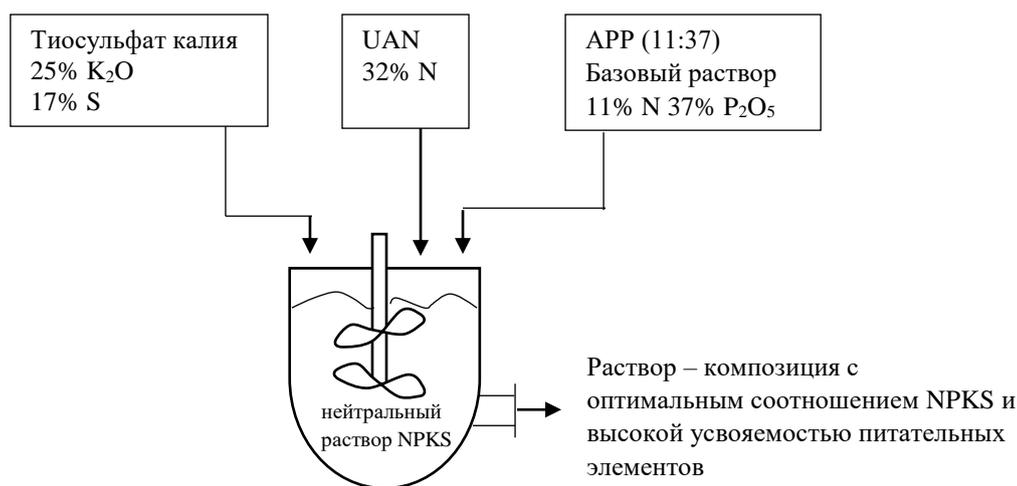


Рисунок 3.2 - Общая схема получения улучшенных жидких минеральных удобрений

Применение улучшенных жидких минеральных удобрений с высокой биоусвояемостью питательных элементов обеспечивает производство улучшенной растительной продукции с заданными свойствами, например, оптимальной пропорцией усвояемых форм Mg и S. При этом тиосульфат калия выполняет еще и функцию ингибитора нитрификации и повышает степень усвоения азота и сокращает образование побочных продуктов, например, N<sub>2</sub>O и их попадание в окружающую среду. Другими словами, обеспечивается взаимосвязанный эффект повышения эффективности удобрений и снижения экологической нагрузки. Например, с использованием совместно смеси APP (11:37) и UAN32 можно создать композицию NPKS 11:14:5:3S, содержащую азот во всех формах (аммонийной, амидной, нитратной), фосфор в орто- и полиформах, серу в виде тиосульфата с

оптимальным интервалом кислотности смеси  $6.0 < \text{pH} < 7.5$ , сохраняющим полную биосвоемость питательных элементов.

Отсутствие хлора не приводит к засолению почв и попаданию хлоридов в природные водоемы. Полученная жидкая смесь фактически является безбалластным удобрением и может применяться на всех этапах развития растений, в том числе для восстановления роста после абиотических стрессов (перепады температур, засуха и т.д.).

Смеси с тиосульфатом аммония эффективны для пролонгированного обеспечения растений усвояемыми формами серы за счет протекания в почвенном растворе следующих реакций



В отличие от обычных сульфатов тиосульфат аммония обладает распределенным действием: сульфатная форма работает на старте развития растений; окисление элементарной серы протекает во времени, обеспечивая потребности растения в период развития и роста (рис. 3.3).

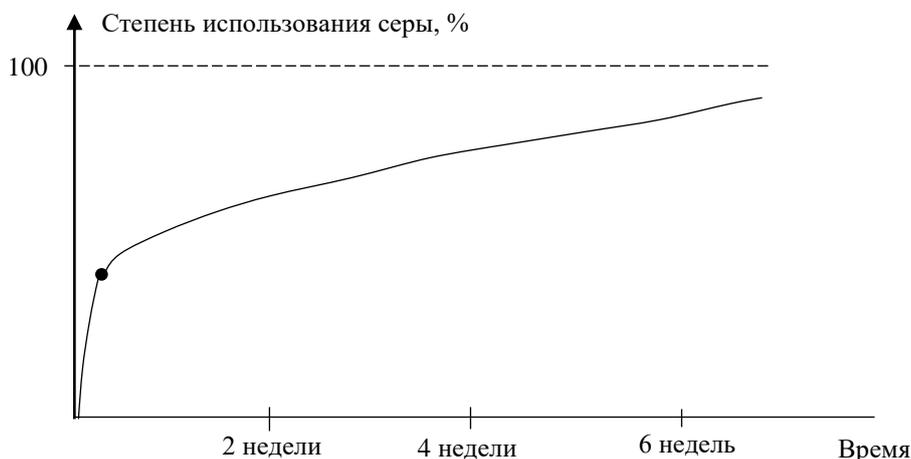


Рисунок 3.3 – Поглощение растениями серы из тиосульфата аммония

Кроме того, образующаяся тонкодисперсная коллоидная сера выполняет роль фунгицида и препятствует развитию патогенной микрофлоры в период вегетации растения, т.е. в период, когда оно наиболее чувствительно к влиянию вредных факторов.

Таким образом, сера в период вегетации растений присутствует в трех формах – сульфатной, сульфитной и элементарной, что обеспечивает оптимальное распределение форм серы и их биологическое усвоение растениями синхронно с процессами синтеза серосодержащих веществ: белков, аминокислот, прежде всего цистина, цистеина, метионина, липидов и других. Сера в различных степенях окисления эффективно ингибирует:

1. фермент уреазы, катализирующий процесс превращения иона аммония в аммиак с улетучиванием последнего в атмосферу.

2. Бактерии *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*, катализирующие процесс окисления иона аммония в нитрит- и нитрат- ионы и их вымывание из плодородного слоя почвы. Протекание в почвенном растворе реакции диспропорционирования с образованием микронизированной серы открывает дополнительные перспективы производства улучшенных и жидких и гранулированных удобрений. Для производства гранулированных удобрений с тиосульфитом аммония необходим подбор условий его ввода в смесь фосфатов и особенно температурного режима сушки (разложение тиосульфата аммония начинается выше температуры плавления 158°C). Тем не менее это направление является перспективным особенно при сравнении с более сложным процессом обработки элементарной серы с получением коллоидной серы и ввода последней в процесс производства сложных удобрений с получением так называемых *Mikroessentiae Fertieizer* (MES). В целом снижение потерь азота достигает 20-25%.

Сравнительный анализ технических и агрохимических свойств мультимодальных серосодержащих удобрений на основе тиосульфата аммония и смеси сульфат аммония/элементарная сера приведена в табл. 3.1.

Из-за большой удельной поверхности химически осажденной микронизированной серы, она обладает высокой реакционной способностью для образования биологически активных веществ, прежде всего серосодержащих аминокислот:

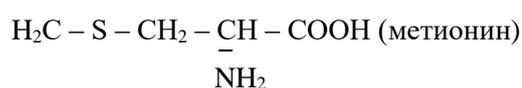
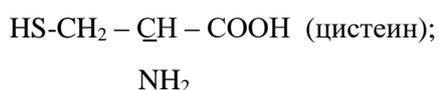


Таблица 3.1. Сравнительный технико-агрохимический анализ удобрений на основе тиосульфата аммония и смеси сульфат аммония/элементарная сера

№	Показатель	На основе тиосульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$	На основе сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и элементарной серы
1	Содержание серы в различных формах	В жидких удобрениях до растворимости тиосульфата аммония (в воде 1.750 г/л)	Ограниченный набор марок с пропорцией 50%сульфатной серы и 50% элементарной серы NPS + S (12:40:0:5+5) NPS + S (13:33:0:7,5+7,5)
2	Технические особенности	Простая система жидкого тиосульфата аммония в базовые растворы UAN и APP. Отсутствие пожаро- и взрывоопасности, и особых требований к промбезопасности. Отсутствие выделения газообразных соединений серы ( $\text{SO}_2$ , $\text{SO}_3$ )	Отдельные технологические операции для подготовки кристаллического сульфата аммония элементарной серы. Обеспечение жестких требований пожарной безопасности при измельчении серы на стадии получения коллоидной серы. Система контроля окисления серы и выделения в виде газообразных оксидов в виде $\text{SO}_2$ , $\text{SO}_3$
3	Агрохимическая эффективность	Высокая реакционная способность химически образованной микронизированной серы; Полная утилизация элементарной серы	Часть элементарной серы остается неиспользованной и остается в почве в элементарном неусвояемом виде

За счет изначальной жидкой формы тиосульфата аммония и создания жидких композиций с требуемым содержанием питательных элементов высокая степень усвоения и серы и азота проявляется и в засушливых условиях за счет синергизма компонентов и биологической активности форм серы и азота. На поврежденных и нарушенных почвах, например, засоленных, удобрения с тиосульфатом аммония также действуют эффективно, восстанавливая полезный микробиом почвы и усиливая обменные процессы, предоставляя комплекс усвояемых форм азота и серы.

За счет снижения потерь азота и серы расчетные дозы внесения удобрений с использованием тиосульфата аммония меньше, чем традиционных удобрений (аммиачная селитра, карбамид, КАС, сульфат аммония).

Таким образом, улучшенные свойства минеральных удобрений обеспечиваются спектром составляющих, содержащих питательные элементы с различными скоростями усвоения растениями.

Преимуществами обладают композиции с мультикомпонентным многопрофильным составом. Например, в отношении азота наиболее предпочтительными являются составы с аммонийной, амидной, нитратной и органической формами. При применении это обеспечивает решение комплексной задачи питания растений, связанной одновременно с внесением быстроусвояемых нитратных форм азота и созданием оптимальной концентрации азота на этапах жизненного цикла развития растений за счет трансформации азота в амидной, аммонийной и органической формах, например, метиленмочевины. Это решает и задачу вымывания и улетучивания азота в результате процессов в почве; потери азота значительно (в разы) сокращаются и, соответственно, снижается экологическая нагрузка на окружающую среду: загрязнение природных вод с последствиями в виде эвтрофикации водоемов и потере ими биоразнообразия, загрязнения атмосферного воздуха, включая выделение парниковых газов.

Общим подходом к созданию улучшенных минеральных удобрений, удобрений с повышенной агрохимической эффективностью являются:

- жесткое нормирование токсичных и опасных элементов и веществ;
- оптимальное содержание и пропорции питательных элементов и добавок и их форм по биоусвояемости;
- управляемой трансформации питательных элементов и добавок в почвенном растворе с образованием новых полезных форм и предотвращением побочных процессов, приводящих к потерям питательных веществ и загрязнению окружающей среды.

Для создания таких улучшенных комплексных композиций (рис. 3.4) с повышенной эффективностью используют:

1. улучшенные минеральные удобрения в соответствии с требованиями соответствующего национального стандарта;
2. неорганические вещества, содержащие макро- и мезоэлементы в переходных степенях окисления, полиформах, образующих в почвенных растворах спектр макроэлементов с различной биодоступностью;
3. органические вещества, содержащие макро-, мезо- и микроэлементы в медленно действующих формах; а также прекурсоры аминокислот;
4. высокомолекулярные соединения в качестве усилителей процессов трансформации питательных элементов и повышения их биодоступности.

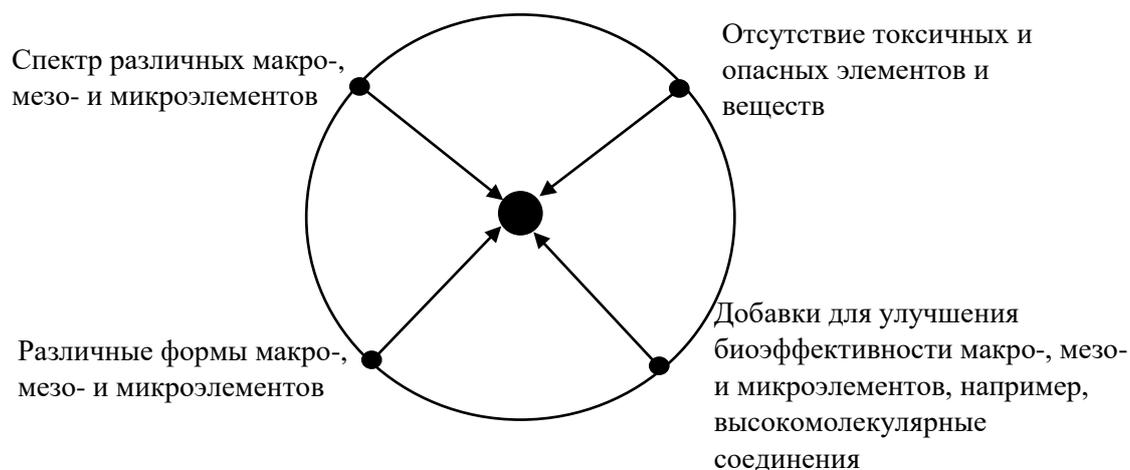


Рисунок 3.4 – Схема создания комплексных композиций веществ

Для снижения внесения загрязняющих веществ в почву необходимо оптимизировать практику внесения удобрений в соответствии с потребностями растений и увеличить использование чистых и высококачественных удобрений, не содержащих вредных примесей. Европейские страны уже многие годы стремятся решить проблему загрязнения и накопления в сельскохозяйственной продукции токсичных

веществ, вводя ограничения на содержание токсичных и опасных примесей в агрохимикатах. Ряд европейских стран еще в 80-х годах прошлого века начали вводить жесткие ограничения на содержание кадмия или других токсичных примесей в удобрениях.

В июне 2019 г. в Официальном журнале ЕС опубликован Регламент по регулированию требований к агрохимикатам в сельском хозяйстве ЕС, принят Советом ЕС 21 мая 2019 года и официально известен в дальнейшем как Регламент (ЕС) 2019/1009.

Еврокомиссия ввела законодательные ограничения на оборот минеральных удобрений с высоким содержанием тяжелых металлов на территории Европейского союза. Ограничения будут вводиться поэтапно:

- с 2022 года под запрет попадут фосфорные удобрения с содержанием кадмия выше 60 мг/кг;
- в 2026 году будет рассмотрено обоснование ввода более жесткой нормы - содержание кадмия не должно быть больше 40 мг на 1 кг  $P_2O_5$ .

Но уже сейчас Французское национальное агентство санитарной безопасности питания, окружающей среды и труда (ANSES) — крупнейшего европейского потребителя фосфорных удобрений — рекомендует установить предельный уровень кадмия в фосфатах в 20 мг/кг, иначе производимая на этих удобрениях продукция может нанести серьезный вред здоровью. [Карабут Г., The Green One для российской агропродукции. Продовольствие с улучшенными экологическими характеристиками будет выпускаться под специальной торговой маркой [32].

Регламент выделяет особую группу экологически предпочтительных минеральных удобрений с эталонно-низким содержанием кадмия, который составляет менее 20 мг Cd на кг  $P_2O_5$ . Для удобрений с содержанием кадмия менее 20 мг/кг введена добровольная экомаркировка с особым знаком.

В феврале 2021 г. вступила в силу официальная инструкция Европейской Комиссии, вводящая добровольную маркировку для таких экологически чистых минеральных удобрений.

Добровольная экомаркировка в первую очередь отвечает интересам сельхозпроизводителей, поскольку поможет им быстро и без усилий выделять и выбирать удобрения с особой экологической чистотой.

Указанная группа минеральных удобрений получила право на добровольную экомаркировку особым знаком:



Добровольная маркировка «низкое содержание кадмия» для удобрений, имеющих в составе ниже 20 мг кадмия/kg Cd P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

В целях снижения экологической нагрузки на почву и как следствие на окружающую среду, в целом, в Российской Федерации производятся улучшенные минеральные удобрения в соответствии с ГОСТ Р 58658-2019 «Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Удобрения минеральные. Общие технические условия». Стандарт определяет содержание тяжелых металлов (кадмия, мышьяка, свинца, ртути, хрома, никеля), а также примесей меди и цинка в российских минеральных удобрениях.

Указанный стандарт распространяется на минеральные удобрения с улучшенными экологическими характеристиками, включая калийные удобрения, получаемые химическими и физическими методами, и сложные и комплексные фосфорсодержащие удобрения, получаемые сернокислотным и азотнокислотным разложением российского апатитового концентрата или фосфатного сырья или их смесей, обеспечивающих улучшенные экологические характеристики минеральных удобрений. Стандарт не распространяется на органические и органоминеральные удобрения.

Отметим, что установленные в ГОСТ Р 58658-2019 лимиты кадмия и мышьяка, соответствуют европейским нормам для экологически чистых удобрений. При этом предельная концентрация для кадмия и мышьяка в улучшенных российских минеральных удобрениях, значительно жестче и ограничена - 20 мг/кг содержания фосфора (таблица 3.2).

При этом обращаем внимание, что для производства продукции органического производства, в соответствии с внесенными изменениями в ГОСТ 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации», в применяемых фосфатсодержащих удобрениях содержание кадмия не должно превышать 60 мг/кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [33]. Улучшенные минеральные удобрения с таким содержанием кадмия и мышьяка будут применяться при производстве сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками в соответствии с требованиями Федерального закона от 11 июня 2021 г. № 159-ФЗ «О сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками».

Таблица 3.2. Массовое содержание примесей загрязняющих веществ в удобрениях

№ п/п	Показатель	Европейские нормы содержания примесей загрязнителей в минеральных удобрениях	ГОСТ Р 58658-2019
1	Кадмий (Cd), не более мг/кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<b>60</b>	<b>20</b>
2	Ртуть (Hg), мг/кг сухого удобрения, не более мг	1	1
3	Мышьяк (As), мг/кг сухого удобрения, не более	<b>40</b>	<b>20</b>
4	Свинец (Pb), мг/кг сухого удобрения, не более	120	120
5	Никель (Ni), мг/кг сухого удобрения, не более	100	100
6	Хром Cr (VI), мг/кг сухого удобрения, не более	2	2
7	Медь (Cu), мг/кг сухого удобрения, не более	600	600
8	Цинк (Zn), мг/кг сухого удобрения, не более	1500	1500
9	Биурет (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> N <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ), г/кг сухого удобрения, не более	12	12
10	Маркировка с указанием «Низкое содержание кадмия, мг/кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> »	≤20	-

В настоящее время, органом по сертификации АНО «Роскачество» сертифицировано производство улучшенных сложных и комплексных

минеральных удобрений у предприятий, входящих в ПАО «ФосАгро», АО «ОХК Уралхим» и ПАО «Куйбышевазот».

Применение российских минеральных удобрений с особыми характеристиками будет решать проблему получения качественных и высоких урожаев и как следствие безопасных пищевых продуктов.

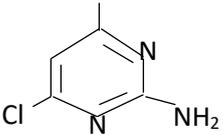
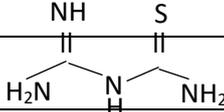
Необходимо отметить, что в создаваемой в настоящее время Минсельхозом России системе прослеживаемости агрохимикатов и пестицидов, вступающей в действие в 2022 году, улучшенные минеральные удобрения обеспечат идентификацию сертифицированных партий улучшенных удобрений и их применение для производства соответствующей улучшенной сельхозпродукции.

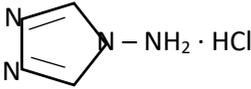
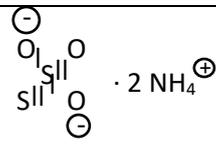
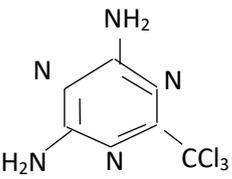
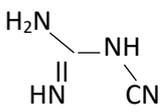
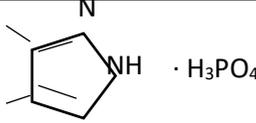
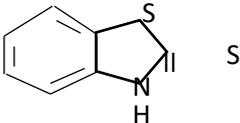
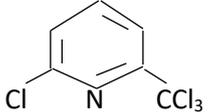
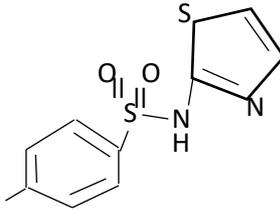
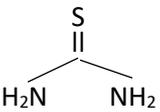
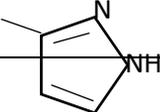
### ***Ингибиторы уреазы и нитрификации***

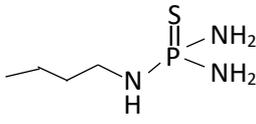
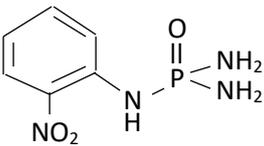
Научные исследования и практические приемы снижения потерь азота в почве до сих пор находятся в центре внимания научно-исследовательских проектов в сельском хозяйстве. Были разработаны несколько стратегий уменьшения потерь азота, включая модели и технологии согласования скорости растворения минеральных удобрений с потребностью растений в питании на разных этапах развития растений, улучшение практики управления сельскохозяйственными землями. В качестве эффективного средства применялись синтетические ингибиторы уреазы и нитрификации.

В таблице 3.3 представлены наиболее типичные распространенные коммерческие виды ингибиторов уреазы и нитрификации.

Таблица 3.3. Сводная таблица наиболее типичных распространенных коммерческих видов ингибиторов уреазы и нитрификации

Обозначение	Химическая формула	Наименование (ИЮПАК)	Торговая марка
AM	 <chem>Cc1nc(N)c(Cl)cn1</chem>	2-амин-4-хлор-6-метил-пиридин	-
ASU	 <chem>NC(=N)NC(=S)N</chem>	Гуанил-тиомочевина	-

ATC		4-амин-1,2,4-триазол-НСl	-
ATS		Тиосульфат аммония	-
CL-1580		2,4-диамин-6-трихлор-метилтриазин	-
DCD		дициандиаמיד	Nitrophos stabil, Nitrophoska stabil, Basammon stabil
			Guardian
			Didin, Alzon 46
DMPP		Фосфат 3,4-диметилпиразол	Entec, Entec liquid
MBT		2-меркапто-бензо-тиазол	-
Nitrapyrine		2-хлор-6-(трихлорметил)-пиридин	N-Serve
ST		2-сульфаниламидтриазол	-
Terrazole		5-этоксн-3-трихлорметил-1,2,4-тиадиазол	Dwell
TU		тиомочевина	-
3-MP		3-метилпиразол	Piadin

HQ		гидрохинон	-
NBPT		N-бутил-тиофосфор-триамид	Agrotain
2-NPT		N-(2-нитрофенил)-фосфор-триамид	-

### *Ингибиторы уреазы*

Исследованиями установлено, что увеличение урожайности незначительно, когда мочевины в комбинации с ингибитором уреазы вносятся в почву богатую азотом [34]. Также есть данные, что подобная комбинация может иметь фитотоксический эффект, например, ожоги на кончиках листьев [35, 36]. Однако, не определено, это прямое или косвенное влияние мочевины; случается ли это только в случаях, когда используется большое количество мочевины и ингибитора. Однако, достоинство NBPT – уменьшение улетучивания аммиака и увеличение урожайности – значительно важнее, чем краткосрочный некроз листьев.

NBPT представляет собой нормальную производную бутила тиофосфорных триамидов. Кроме гидрохинона в Китае и очень ограниченного регионального применения экстрактов нима в Индии, в настоящее время NBPT является единственным ингибитором уреазы, имеющим экономическое и практическое значение в сельском хозяйстве. Продаваемый под торговым наименованием Agrotain®, NBPT впервые был выведен на рынок в 1996 в США компанией IMC-Agrico. В 2000 г. компания Lange-Stegmann приобрела связанные с Agrotain активы и лицензии, и для развития и маркетинга Agrotain по всему миру была создана отдельная компания Agrotain International. Agrotain был зарегистрирован в нескольких странах: в Канаде, США, Бразилии, Австралии, Великобритании и

Европейском Союзе, и он доступен в 70 странах, там, где у компании Agrotain International есть лицензия, или там, где продается технология Agrotain. В числе лицензированных партнеров - компания Fertipar Fertilizantes do Paraná в Бразилии, компания Incitec Pivot в Австралии, компания Summit-Quinphos в Новой Зеландии, компания Philom Bios в Канаде и Yara International в Европе.

Его можно ввести в расплав карбамида перед грануляцией, нанести на поверхность гранул или прилл при периодическом или непрерывном производстве, или добавить к раствору карбамид-аммиачной смеси.

Применение NBPT не выявило никаких рисков для окружающей среды и индивидуальной безопасности. Для конечных пользователей NBPT не требуется никаких особых предупреждений или мер предосторожности, кроме следования базовым правилам техники безопасности по обращению с удобрениями и их применению [37]. NBPT разлагается на составляющие элементы N, P, S, C и H [38], и при повторных внесениях карбамида, обработанного NBPT, нет никаких признаков ни какого-либо длительного неблагоприятного воздействия на производство семян и кормовых культур, ни снижения эффективности при повторном внесении в ту же почву [39]. Соответственно NBPT демонстрирует свою способность замедлять активность фермента уреазы [40]. Его действие по замедлению уреазы в почве связано с активностью его производной, кислородным аналогом N-(n-butyl) phosphoric triamide [41]. Он предотвращает потери N, временно замедляя активность уреазы [42]. Замедление превращения карбамида в аммиак, катализируемое уреазой, минимизирует потери аммиака и дает время для абсорбции или рассеивания форм N в почве. В полевых условиях уменьшение летучести (испарения) аммиака из уреазы может варьироваться 75 до 80%. Наибольший агрономический эффект NBPT обеспечивает при нанесении на поверхность удобрений на основе карбамида, поскольку потери аммиака существенно снижаются, и существует возможность уменьшить ресурсоемкие операции и операции, требующие больших затрат времени.

Значительный прогресс в области снижения нагрузки на окружающую среду удалось достичь в обогатительном производстве минерального сырья и производстве минеральных удобрений за счет комплекса мероприятий:

1. Максимально достижимая степень переработки и использования первичного сырья за счет применения наилучших доступных технологий, интеграции производств по схеме «источник сырья и энергоресурсов – потребитель», использования замкнутого водооборотного цикла, использования селективных каталитических процессов для синтеза целевых продуктов и сокращения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов.

2. Применение биоразлагаемых веществ на стадиях флотационного обогащения минерального сырья и производства и применения минеральных удобрений.

В этом случае речь идет преимущественно о синтетических органических соединениях сложного состава и структуры. Развитие промышленного производства органических соединений позволило заместить ранее применявшиеся компоненты собирательной смеси на селективные вещества с низкой аккумуляцией в окружающей среде и высокой биоразлагаемостью без накопления в окружающей среде опасных остаточных веществ.

Использование селективных флотореагентов обеспечивает комплекс производственно-экологических эффектов:

1. высокие показатели технологического и товарного извлечения целевого компонента из минерального сырья, что соответственно означает снижение потерь первичного сырья и количества отходов флотационного обогащения;

2. технико-экономическую целесообразность вовлечения в переработку низкосортного труднообогатимого минерального сырья;

3. отсутствие попадания в окружающую среду прежде всего в природные водоемы опасных и токсичных веществ с длительным периодом

разложения. Особенно актуальным эти преимущества селективных флотореагентов проявляются в условиях Заполярья с медленными биологическими циклами трансформации веществ. Вещества не относятся к накапливающимся в окружающей среде (т.е. биоаккумулятивным), не являются персистентными в природных объектах (как само вещество, так и продукты его расщепления) не оказывают токсического и иного воздействия на живые организмы;

4. снижение удельного расхода собирательной смеси, содержащей и природные и синтетические компоненты для достижения целевого технологического выхода.

Применение замкнутого водооборотного цикла и селективных синтетических веществ для обогащения минерального сырья обеспечивают практическое исключение негативного воздействия на окружающую среду.

Переход на селективные биоразлагаемые компоненты собирательной смеси является важным фактором обеспечения улучшенных характеристик получаемых минеральных концентратов, которые затем используются для производства улучшенных минеральных удобрений.

Аналогичный подход для обеспечения низкого экологического следа реализуется и в производстве минеральных удобрений. При выборе сырья, материалов и агентов для улучшения физико-химических свойств улучшенных удобрений руководствуются экологическими принципами:

1. применяемое сырье и полупродукты, агента должны отвечать требованиям нулевого дополнительного загрязнения. Например, в производстве сложных минеральных удобрений базовым сырьем является фосфатное сырье, определяющее уровень содержания нормируемых веществ, прежде всего, кадмия в производственных минеральных удобрениях. В этом случае используемое сырье и полупродукты (аммиак, сера, хлористый калий, серная кислота, сульфат аммония, минеральные балластные добавки) не должны вносить дополнительные концентрации нормирующих веществ выше уровня их содержания в фосфатном сырье. Это гарантирует

выполнение требований к улучшенным характеристикам минеральных удобрений с большим запасом от установленных национальным стандартом;

2. все применяемые сырье и материалы, включая кондиционирующие добавки, не должны содержать органических веществ с общей или специфической токсичностью и обладать генными отрицательными эффектами: мутагенностью, терратогенностью и т.д.;

3. концентрации выбранных для использования синтетических веществ и рецептур должны строго выдерживаться на минимально необходимом технологическом уровне и не превышать установленных предельно допустимых концентраций по всей цепочке производства и применения улучшенных минеральных удобрений;

4. в качестве самоконтроля сырье, полупродукты и готовые формы минеральных удобрений должны отвечать критерию:

$$\sum \frac{C_j}{\text{ПДК}_j} \leq 1$$

где  $C_j$  – концентрация нормируемого вещества-загрязнителя, мг/л (г/м<sup>3</sup>)

$\text{ПДК}_j$  – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в анализируемой среде (вода, воздух, почва), мг/л (г/м<sup>3</sup>)

Желательным уровнем является приближение снизу к показателю:

$$\sum \frac{C_j}{\text{ПДК}_j} \leq 0,1 \text{ ПДК}$$

В сводном виде гигиенические нормативы в различных объектах окружающей среды установлены СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». (Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 г. № 2).

При этом накопленная производителями минеральных удобрений база данных позволяет выделить ограниченный перечень маркерных (характерных) веществ и обеспечить их постоянный аналитический

контроль. Выборочно могут проверяться вещества, токсикологические требования к которым были пересмотрены в сторону ужесточения, новые вещества, в также вещества с неполными данными о последствиях длительного воздействия на живые организмы.

Современная методическая и инструментальная база российских производителей минеральных удобрений позволяет обеспечить строгий контроль над фактическим содержанием маркерных веществ.

Общие принципы выбора рецептур и композиций на основе органических веществ для флотации минерального сырья и обработки минеральных удобрений для снижения экологического следа:

1. отсутствие стойких органических соединений – гликолей, бром- и хлорсодержащих соединений, растворителей, тяжелых ароматических соединений и легколетучих органических соединений, биоаккумуляций, характеризующихся длительным периодом полураспада и трансляцией по цепочке из окружающей среды в живые организмы;

2. отсутствие в рецептурах алкилфенолэтоксилатов (APEO-free) и веществ с аналогичными опасными факторами для окружающей среды;

3. при прочих равных условиях выбор веществ с низким фактором воздействия на окружающую среду и высокой биоразлагаемостью в окружающей среде за короткий период.

В этом плане последние разработки селективных флотоагентов явно выделяются по своим экологическим характеристикам относительно ранее применявшихся универсального действия. Регистрационное досье новых рецептур содержит развернутую информацию о факторах риска и воздействия на значительно большем количестве видов живых систем по сравнению с традиционными рецептурами. Обширная и глубокая информация об этих риск-факторах позволяет сделать обоснованный выбор в пользу новых классов селективных флотоагентов. Для комплексной оценки опасности химических веществ, их композиций и рецептур по воздействию на окружающую среду целесообразно использовать соответствующий

межгосударственный стандарт ГОСТ 32424-2013 «Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду».

Таким образом, основываясь на расширении знаний об опасных свойствах веществ, в том числе потенциальных рисках загрязнения окружающей среды и для здоровья человека, а также фундаментальных знаниях о свойствах и способах синтеза веществ с заданными свойствами общее направление в снижении нагрузки на окружающую среду можно выразить формулой «Применять наименее опасные вещества в низких концентрациях для достижения целевого технологического эффекта». В наглядном виде эта траектория приведена на рис. 3.5.



Рисунок 3.5 - Динамика снижения воздействия на окружающую среду с переходом на новые классы веществ

В фундаментальной монографии [43] приведена систематизированная классификация флотационных собирателей (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 - Классификация основных групп собирателей

В текущих условиях наряду с физико-химической флотационной и технологической эффективностью не менее важным являются экологические и гигиенические показатели применяемых реагентов.

Экологически предпочтительными являются селективные флотореагенты, эффективно работающие на всех типах руд, в том числе труднообогатимых, при низких рабочих концентрациях. В отличие от флотореагентов неизбирательного действия селективные флотореагенты эффективно работают без избыточных концентраций в растворе и без накопления в системе замкнутого водооборота.

Одним из направлений получения экологически предпочтительных флотореагентов является использование растительного сырья. Так, в патенте РФ № 2.186629 от 15.02.2001 «Способ флотации нефелинсодержащих руд» предложено использовать продукт окислительной модификации

растительного сырья – крахмала, частично гидролизованного белка, сахара, клетчатки, гидролизованных жиров. В качестве растительного сырья используют зерна кукурузы, рисовую муку, зерновые культуры и отходы сельскохозяйственного производства.

Полисахариды (крахмал, клетчатка, целлюлоза) подвергаются окислению с образованием карбоксильных групп, происходит частичный разрыв глюкозидных связей с уменьшением молекулярной массы крахмала. В результате окислительной модификации полисахарид приобретает высокую растворимость в воде, а водные растворы солей полимерных кислот, полученных из природных полисахаридов, проявляют себя как высокоэффективные поверхностно-активные вещества (ПАВ-вещества).

Под действием щелочи в присутствии катализатора происходит модификация белка, состоящая в гидролизе пептидных связей с образованием аминокислот. Кроме того, в присутствии окисленного полисахарида –NH группы аминокислот взаимодействуют с карбонильными группами модифицированного углевода с образованием амидных –CONH групп.

Конечным продуктом являются суспензии, содержащие в качестве растворимой части жирные кислоты, аминокислоты и карбоксилсодержащие производные углеводов (в виде солей). Суспензии могут быть высушены с применением стандартных методов, а флотореагент может быть использован как в сухом виде, так и в виде суспензии. Он является экологически чистым продуктом.

Общими принципами выбора органических веществ для использования в цикле обогащения апатит-нефелиновых руд и специальных агентов для объемной и поверхностной обработки минеральных удобрений являются:

- 1) наименьший класс опасности вещества для окружающей среды и здоровья человека;
- 2) отсутствие сохранения и трансляции в окружающей среде с высокоскоростной трансформацией в результате фотохимических

окислительно-восстановительных реакций, гидролитических и биохимических процессов;

3) не превышение классов опасности продуктов природного расщепления или биометаболитов класса опасности исходного вещества и отсутствие их биоаккумуляции живыми организмами;

4) возможность экстрагировать/ собрать/ изолировать вещество при аварийном попадании в окружающую среду;

5) ферментативное разложение исходного вещества до неопасных низкомолекулярных соединений или  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  без образования промежуточных персистентных и биологически активных соединений.

Классическим примером трансформаций исходного соединения сложной структуры в практически неопасные соединения служит биоразложение этиленбисдитиокарбамата (действующее вещество серосодержащего фунгицида) Технологические системы и химическая безопасность – Казанский (Приволжский) федеральный университет – Казань, 2012 г. (рис. 3.7)

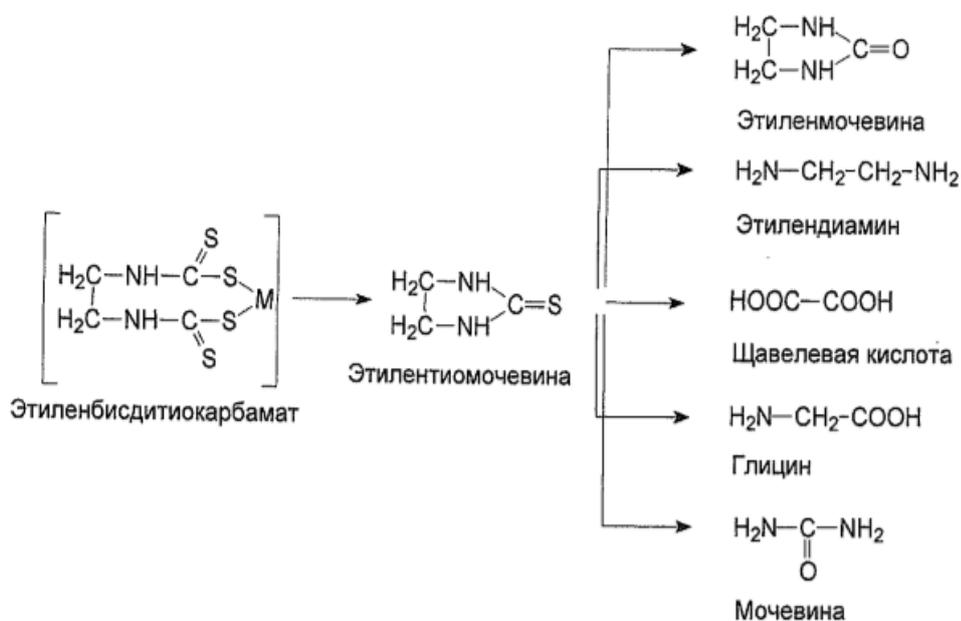


Рисунок 3.7 – Технологические схемы получения химических продуктов

При оценке экологического следа выбираемого органического вещества проводится комплексный анализ, включающий не только факторы

опасности самого вещества, но и его составных частей и трансформаций в окружающей среде.

### ***Ингибиторы нитрификации***

Аммиаксодержащие удобрения, измененные ингибитором нитрификации, могут повысить улетучивание аммиака в случае, если они не включаются в почву немедленно или вскоре после внесения. Однако, Linzmeier [44] обнаружил, что ASN плюс DMPP не вызывают повышения улетучивания аммиака, что подтверждено лабораторными испытаниями [45].

В зависимости от типа ингибитора нитрификации активность бактерий почвы может быть на некоторое время остановлена, а некоторые бактерии почвы могут быть уничтожены. Это могло бы быть расценено как нежелательное вмешательство в естественную почву – даже в случае локализации в области, где вносится ингибитор нитрификации.

Дициандиамид (DCD) был масштабным протестирован на агрокультурных и садоводческих посевах в США [46, 47]. Сделано заключение, что реакция посевов на DCD происходит только, если азот имеет тенденцию к потере путем выщелачивания или денитрификации и затем только, если эти потери вызывают дефицит азота, достаточный для уменьшения посевов. Если ингибиторы нитрификации используются с азотом уровни внесения всего азота немного выше оптимальных, увеличение посевов наблюдаются редко. Однако, ингибиторы нитрификации могут позитивно сказываться на урожайности, даже при отсутствии увеличения посевов.

Ионы аммиака, стабилизированные ингибиторами и не впитанные растениями, могут храниться в почве и использоваться следующими урожаями, таким образом уменьшая потребность в азоте [48]. Дициандиамид подвижен в почве. Его можно распределить по поверхности почвы и переместить в корневую зону с водой при орошении. При таком способе внесения DCD в почву минимально нарушается растительный покров.

Однако, поскольку DCD подвижен в почве, при обильных дождях или при избыточной ирригации он также может быть вымыт из почвенного профиля.

Влияние дициандиамида на нитрификацию продолжается не бесконечно, поскольку он также разрушается микроорганизмами и вымывается из корневой зоны. В общем, ингибирование нитрификации продолжается только в течение 4-6 недель. Высокие температуры и влажные условия ускоряют разложение DCD. Дициандиамид добавляют в азотные удобрения на уровне от 2 до 10% от общего содержания азота. Содержание азота в DCD составляет 65%, и его разложение вносит долю в общий неорганический азот почвы. Поэтому DCD считают еще и медленно высвобождающейся формой минерального азота.

Если бы ингибиторы нитрификации и уреазы были доступны в различных формах, например, жидкость, суспензия или гранулы, в частности для пастбищ и молочных ферм, это могло бы побудить фермеров их использовать [49].

Отметим, что азотный и углеродный циклы являются взаимосвязанными (рис. 3.8).

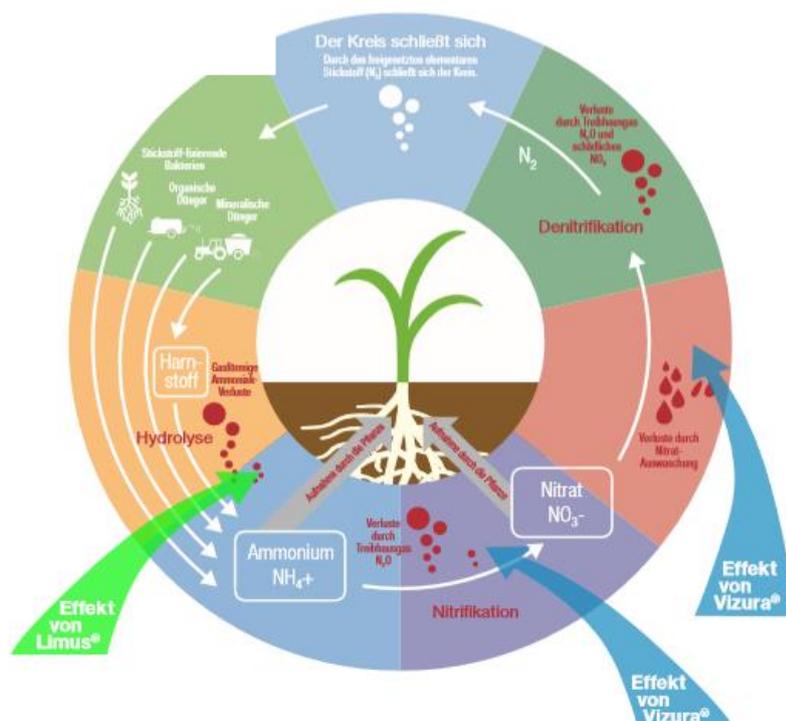


Рисунок 3.8 - Азотный цикл

Предотвращение нитрификации и процессов восстановления азота до закиси азота  $N_2O$  с участием органических соединений необходимо по следующим основаниям:

1. минимизировать потери азота при трансформации азота в почву;
2. минимизировать выбросы парниковых газов в виде  $CO_2$  и  $N_2O$  за счет окислительно-восстановительных процессов в почве;
3. сохранить накопленное количество органического углерода в почве.

Для обеспечения эффективности нитратсодержащих удобрений необходимо применение ингибиторов нитрификации. В настоящее время при выборе синтетических ингибиторов нитрификации при производстве улучшенной сельскохозяйственной продукции доминирует экологический и агрономический аспекты:

1. снижение содержания нитратов в сельхозкультурах; повышение содержания целевых показателей: протеинов, сахаров, клетчатки и т.д.;
2. исключение накопления в сельскохозяйственных растениях токсичных, канцерогенных и мутагенных веществ, например, диэтилнитрозоамина, диметилнитрозоамина и других;
3. отсутствие образования в почве продуктов метаболизма и расщепления ингибиторов нитрификации и их сорбция растениями;
4. угнетение микробиома почвы с изменением биоразнообразия;
5. отсутствие биологической непереносимости получаемой сельхозпродукции в качестве сырья для производства улучшенных продуктов питания.

Для большинства сельскохозяйственных культур использование традиционных ингибиторов нитрификации (нитрапирин, этридазол, дициандиамид, АМ, АТС и других), как правило, не приводит к фитотоксичным эффектам и изменениям их химического состава с накоплением остаточных содержаний ингибиторов и продуктов их метаболизма. Есть некоторые исключения из этого общего правила, в частности, угнетение развития бобовых культур при применении

нитрапирина. Существует точка зрения о бывшей чувствительности бобовых культур к соотношению нитратного и аммонийного азота, чем к остаточным концентрациям нитрапирина [50].

Некоторые ингибиторы нитрификации (нитрапирин, дициандиамида, 2-амино-4-хлор-6-метилпиримидин; 3,4-диметилпиразолфосфат) имели высокую эффективность в части снижения потерь азота за счет нитрификации, но обладали многими недостатками, включая сложности при внесении, воздействие на почву и попадание в пищевую цепочку.

Nitrapyrin (2-chloro-6-trichloromethyl pyridine) изначально производился как продукт N-Serve компанией Dow Chemical, которая подверглась ряду различных трансформаций – сначала DowDupont (Отдел сельского хозяйства), а сейчас Corteva Agriscience. По сравнению с DCD и DMMP, он обладает бактериальным эффектом на *Nitrosomonas*. Он впервые был зарегистрирован в 1974 году, и был первым ингибитором нитрификации, одобренным EPA. Его можно добавлять к растворам удобрений или аммиаку, когда он вносится в почву. Nitrapyrin имеет высокое давление пара и легко испаряется из почвы. С Nitrapyrin необходимо обращаться осторожно, поскольку он агрессивный и взрывоопасный. Существует новая формула Nitrapyrin, Insyinct, которая помещена в капсулу (покрыта), которая препятствует влиянию испарения.

DCD (dicyandiamine) получают из цианамида кальция. Принцип действия DCD бактериостатический, поэтому вместо того, чтобы убивать, он подавляет действие *Nitrosomonas* spp. Он не токсичен. Впервые представленный в 1984 году DCD можно вносить в почву, как жидкое, твердое удобрение или удобрение в виде суспензии, а также аммиак, хотя это требует оборудования, работающего под высоким давлением.

Недостатком DCD является то, что оно необходимо в относительно больших количествах (приблизительно 5-10% по сравнению с содержанием азота N). Кроме того, он может довольно быстро ухудшить почву. Для того, чтобы этому противостоять, в формулу DCD часто добавляют другие

ингибиторы нитрификации (NI), такие как 3-methyl pyrazole (3-MP) для снижения скорости проникновения в почву и увеличения времени сниженной активности (такие как Alzon). Один DCD может стабилизировать удобрения на основе аммония в период от 4 до 10 недель в зависимости от почвы и климата.

В последнее время все большее внимание уделяется биологическим средствам денитрификации с отсутствием химического воздействия на почву и попаданием остаточных количеств распада органических веществ в почву и цепочку продукции.

Удобрения на основе аммония (карбамид, безводный  $\text{NH}_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) включают наиболее широко используемые формы N, применяемого в сельском хозяйстве. В то время как, благодаря отрицательным зарядам поверхностей частиц почвы, многие почвы могут электростатически удерживать огромное количество катионов, таких как  $\text{NH}_4^+$ , в результате депротонизации такого иона образуется газообразный аммиак, который в больших количествах улетучивается в атмосферу (18% вносимого синтетического  $\text{N}_r$  по всему миру), тогда как подобное количество (19% по всему миру) теряется путем нитрификации  $\text{NH}_3$  в  $\text{NO}_3^-$ , за которой следует вымывание и смыв этого плохо связанного с почвой аниона. Обратный процесс, денитрификация, который представляет собой восстановление  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{NO}_2^-$ , оксида азота (NO),  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{N}_2$  также катализируется различным составом простейших бактерий и бактерий, относящихся к грибам. Частичное восстановление  $\text{NO}_3^-$  до  $\text{NO}_2^-$  неблагоприятно для окружающей среды, поскольку  $\text{N}_2\text{O}$  является не только парниковым газом (GHG), способность к теплоулавливанию которого в 300 раз больше, чем у  $\text{CO}_2$  на 1 молекулу, но и наиболее важным разрушителем озона в атмосфере.

В настоящее время большая часть (60-80%) мировых антропогенных выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  (равно как 10-12% всех антропогенных выбросов парниковых газов (GHG)) приходится на сельское хозяйство. Во время нитрификации также может выделяться существенное количество  $\text{N}_2\text{O}$  путем окисления

$\text{NH}_2\text{JY}$  и путем «денитрификации нитрификатора», такой, как в упрощенной последовательности реакций  $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O}$ . Последний процесс может насчитывать в севообороте до 97% выбросов  $\text{N}_2\text{O}$ , в то время как косвенные выбросы  $\text{N}_2\text{O}$ , образующиеся в результате переноса  $\text{N}_r$  из почв сельскохозяйственного назначения путем испарительного переноса, осаждения (намыва), вымывания и смывания; суммарно в результате этих процессов может теряться до трети агрохимического азота (N).

Поскольку исследование выделений биологических ингибиторов нитрификации все еще находится на этапе своего становления, за последние десять лет в данной области был достигнут существенный прогресс, от идентификации соединений биологических ингибиторов нитрификации в выделениях корней *V. Humidicola*, сорго и риса, до открытия их в современной пшенице и их тесной взаимосвязи с эффективностью применения азота. Однако, как было отмечено, для приведения открытий к сегодняшним насущным проблемам сельского хозяйства и ухудшения окружающей среды потребуются гораздо более фундаментальные работы. Они включают дальнейшие поиски биологических ингибиторов нитрификации для важных видов сельскохозяйственных культур и необходимость крупномасштабных полевых испытаний для получения основы для открытых данных. Это означает, что стимулирование синтеза биологических ингибиторов нитрификации и выделение путем разведения и условий роста также потребуют дальнейшего изучения, как и (потребуют этого) точные механизмы выделения биологических ингибиторов нитрификации в свете плюсов и минусов, таких как потери  $\text{NH}_3$ , вызванные биологическими ингибиторами нитрификации. Кроме того, может оказаться плодотворным исследовать выделения корней применительно к ингибированию или стимулированию прочих ключевых трансформаций N в почве, таких как гидролиз и денитрификация карбамида.

Выделение и активность биологических ингибиторов нитрификации (BNI) в почвах сельскохозяйственного назначения будут не панацеей, а

скорее будут рассматриваться как один из комплекса подходов при снижении потерь N и повышении эффективности применения азота на пастбищах и пахотных землях. Существующие инструменты из такого комплекса включают повышенное качество удобрений и практики внесения (например, более широкое применение карбамида, покрытого ингибиторами уреазы и нитрификации, удобрений с контролируемым высвобождением питательных веществ, улучшенное планирование и внесение N), и улучшение прочих агротехник, таких как управление оросительными системами, улучшение почв и удержание остатка. В идеале будущее сельское хозяйство должно подразумевать точное регулирование всех аспектов динамики азота в почвах, а также почерпнуть углубленные знания о сообществе микробов в пределах данного объема почвы. Перспективные технологии, такие как микропочвенный профиль и экспресс генотипирование микробиомов почвы, в данном случае уже доказали свою востребованность.

Необходимость повышения эффективности применяемых удобрений и снижение их воздействия на окружающую среду, приводит крупнейшие компании к необходимости поиска оптимальных решений в области питания растений со сниженной экологической нагрузкой.

Компания BASF обладает одними из лучших в мире компетенций в области оптимальных систем и продуктов питания растений. В 2015 году компания BASF начала производство ингибитора уреазы Limus с двумя активными компонентами 75% NBPT и 25% нового соединения N-(n-propyl) thiophosphoric triamide (NPPT). Это единственный ингибитор уреазы с двумя активными составляющими. Частью новой разработки ингибиторов уреазы являются поиски новых соединений группой по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам компании BASF. В почве есть ряд энзимов уреазы, которые происходят от растений, бактерий, грибов. Имеются похожие энзимы, но разные по размеру, форме и площади поверхности химически активных полостей, где гидролизует карбамид. Ученые из компании BASF установили, что смесь двух ингибиторов уреазы

позволяет регулировать более широкий спектр энзимов, чем имеющийся на рынке стандартный NBPT. Это открытие было перенесено из лаборатории в теплицы и, наконец, - в поля. Более 120 опытных полей на всех континентах и широкий спектр культур показали, что Limus на 40% более эффективен, чем NBPT. Это означает, что при той же норме внесения NBPT, Limus приносит на 2,1% большую урожайность. Либо Заказчики могут достигнуть тех же показателей, которых они ожидали от NBPT, при использовании Limus с нормой внесения 60% от нормы внесения NBPT. Исследования показывают, что 0,6 кг Limus соответствуют 1 кг NBPT.

Limus представляет собой жидкий состав, который можно наносить на твердый карбамид или смешивать с карбамидо-аммиачной смесью. Фермеры могут вносить обработанный твердый карбамид или карбамидно-аммиачную смесь с помощью имеющегося у них оборудования. Никакого специального оборудования не требуется, Limus можно непосредственно использовать в своем фермерском хозяйстве.

Химический класс thiophosphoric triamides (к этому классу принадлежат NPPT и Limus) очень чувствителен к гидролизу. Даже несмотря на то, что NPPT и Limus принадлежат к одному химическому классу, формула Limus обладает уникальными свойствами. Это привело к созданию уникальной запатентованной формулы, которая защищает активный ингредиент на карбамиде от ухудшения. Эта защита позволяет обращаться с карбамидом, обработанным Limus, в длительных логистических цепочках и даже в условиях тропиков. Таким образом, Limus представляет собой «двойную инновацию». Он сочетает активные ингредиенты с наилучшими свойствами в уникальной защищенной формуле, которые демонстрируют прекрасные результаты в логистической цепочке удобрений и для фермеров.

Длительные полевые опыты при рабочей дозе обработки карбамида ингибитором уреазы Limus в количестве 2 л/тонну показали следующие статистически значимые результаты:

1. увеличение урожайности зерновых на 3,5-6,2% относительно контрольных полей с необработанным карбамидом;
2. снижение потерь азота с газообразными соединениями на 60-70% относительно необработанного карбамида; отмечен эффект снижения потерь азота и относительно применения однокомпонентного NBPT;
3. агрономическая эффективность применения карбамида с Limus на озимой пшенице и кукурузе практически идентична применению аммиачной или известково-аммиачной селитры (AN/CAN);
4. эффективность усвоения азота растениями при применении карбамида или раствора КАС с Limus на 10%;
5. подтвержденная агрономическая эффективность, снижение потерь азота в различных климатических зонах в Европе от южных до северных стран;
6. подтвержденным по современным методикам сниженным экологическим воздействием, в том числе по методикам РВТ (персистентность/биоаккумуляция/токсичность) и наличием озоноразрушающих веществ в соответствии с Директивой ЕС Regulation 1005/2009; продукты расщепления составляющих ингибитора уреазы NBPT/NPPT являются низколетучими и частично испаряются в атмосферу; они также слабо мигрируют в почве, что предотвращает ее загрязнение; исходя из коэффициента распределения n-октанол/вода не следует ожидать переноса по пищевой цепочке;
7. сохранение активных свойств ингибитора уреазы Limus в течение более длительного времени по сравнению с однокомпонентными ингибиторами на основе NBPT (12 месяцев против 6 месяцев соответственно);
8. улучшение физико-механических свойств карбамида, обработанного ингибитором Limus по сравнению с необработанным карбамидом, прежде всего истираемость, которая приводит к образованию пыли и слеживаемости карбамида; ингибитор уреазы Limus, нанесенный на

поверхность карбамида, образует защитную полимерную пленку, предотвращающую прямой контакт прилл или гранул карбамида и образование пыли при хранении и перевалках карбамида.

Разработанное компанией BASF решение является комплексным и направлено на повышение эффективности применения азотных удобрений, снижение потерь азота и загрязнения окружающей среды, связанных с выделением соединений азота в атмосферу и природную водную экосистему. Оно полностью вписывается в платформу устойчивого развития и ответственного применения минеральных удобрений [50.1, 50.2, 50.3, 50.4].

Российские производители минеральных и специальных удобрений предлагают большой ассортимент удобрений повышенной эффективности. Новые виды удобрений с повышенной эффективностью постепенно занимают свою нишу на российском рынке (рис. 3.9).

#### ***Удобрения повышенной эффективности (EEFs)***

По определению Ассоциации американских официальных представителей по контролю за качеством питательных веществ для растений (AAPFCO), удобрения повышенной эффективности (EEFs) – это удобрения, характерными свойствами которых являются повышенное содержание питательных веществ для растений и пониженные потери питательных веществ в окружающую среду по сравнению с соответствующими продуктами.

В 1924 году был выдан первый в мире патент на удобрение с медленным высвобождением мочевины и формальдегида (UF), а в 1955 году UF был запущен в коммерческое производство как старейшее удобрение с медленным высвобождением. Твердое мочевиноальдегидное удобрение с медленным высвобождением имеет самую долгую историю исследований, использования и производства среди удобрений с медленным высвобождением. Изданы общие требования (Fertilizers and soil conditioners - Solid urea aldehyde slow release fertilizer - General requirements), к методам

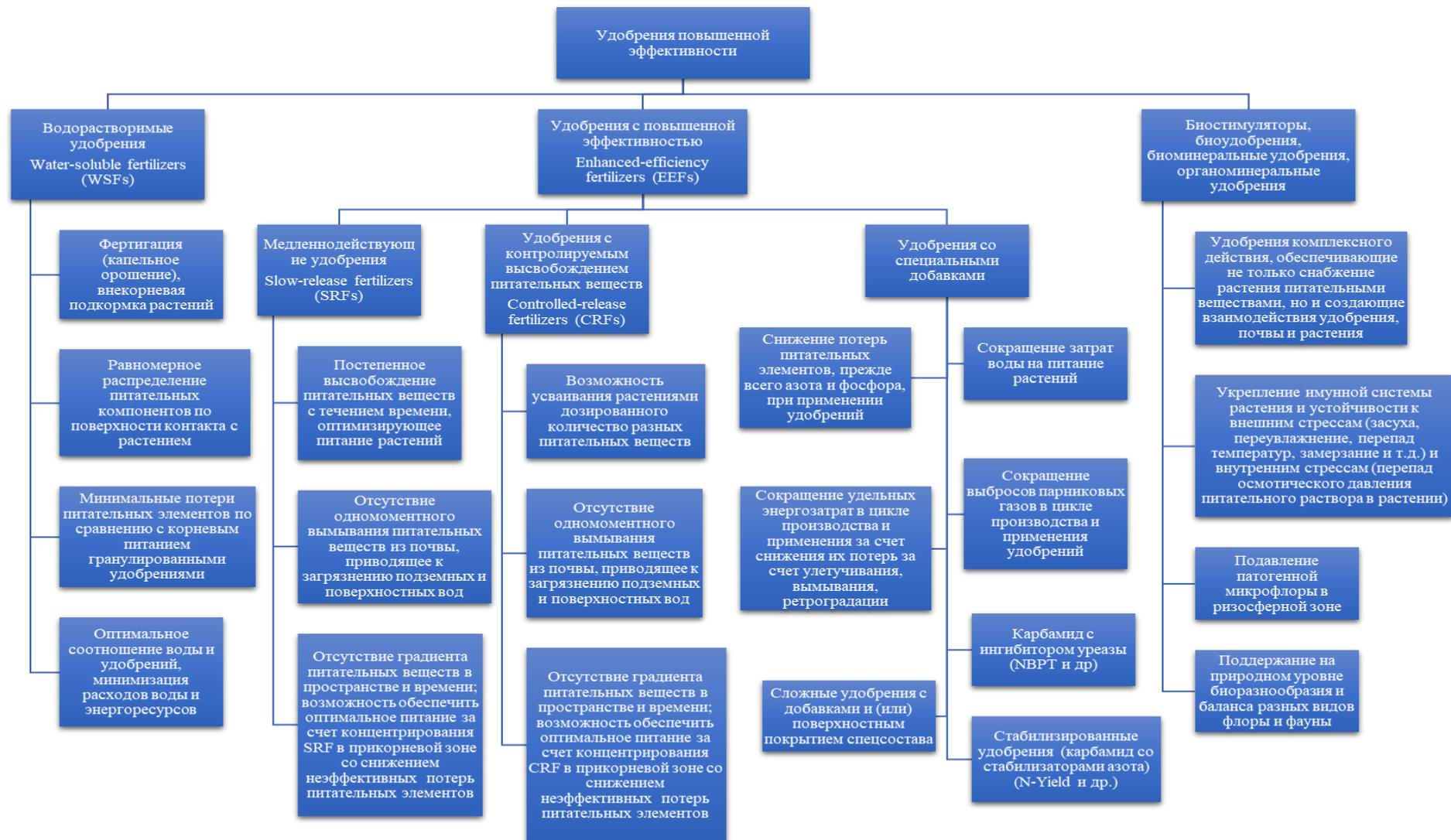


Рисунок 3.9 - Условная классификация удобрений повышенной эффективности

анализа, отбора проб и подготовку тестируемого образца, маркировку и упаковку, транспортировку и хранение твердого удобрения с медленным высвобождением карбамидоальдегида. Требования применяются к чистым твердым удобрениям с медленным высвобождением карбамидоальдегида, т.е. карбамидоформальдегиду (UF), метиленмочевине (MU), кротонилиденмочевине (CDU), изобутилиденмочевине (IBDU) [51].

В настоящее время относительно высокое соотношение доходов и расходов во многом ограничивает внесение удобрений повышенной эффективности (EEFs) применительно к травяному покрову (газонам) и декоративным растениям, плодоовощным культурам и ценным товарным зерновым культурам. Ситуация начнет меняться. В крупных хозяйствах все больше применяют удобрения повышенной эффективности (EEFs) для зерновых культур, поскольку большие объемы продаж снижают производственные затраты, а понимание их преимуществ растет.

Удобрения повышенной эффективности (EEFs) предлагают фермерам очевидные экономические преимущества над обычными удобрениями, которых они достигают наряду с потенциальным увеличением урожайности, благодаря существенной экономии производственных ресурсов, трудозатрат, энергозатрат и времени. Кроме того, они выгодно повышают эффективность использования питательных веществ и воды и снижают негативное воздействие на окружающую среду при внесении удобрений в почву.

Удобрения повышенной эффективности (EEFs) благоприятно воздействуют на зерновые культуры, благодаря тому, что позволяют избежать избыточных и потенциально токсичных уровней (содержания) питательных элементов в почве, которые возникают, когда удобрения слишком быстро растворяются в почве. Также они могут смягчить негативное воздействие применения удобрений на окружающую среду путем снижения потерь питательных веществ, предотвращая вымывание нитратов и выделение  $\text{NO}_x$  и ограничивая испарительный перенос аммиака.

Для достижения желаемых свойств, таких как более медленное или контролируемое высвобождение питательных веществ, в удобрениях повышенной эффективности (EEFs) содержание питательных веществ либо преобразуется химически, либо физически заключается в оболочку с помощью покрытия. Как уже говорилось выше, удобрения повышенной эффективности (EEFs) подразделяются на три основных типа: медленнодействующие удобрения, удобрения с контролируемым высвобождением питательных веществ и стабилизированные удобрения.

### ***Удобрения с контролируемым высвобождением питательных веществ (CRFs)***

Удобрения с контролируемым высвобождением питательных веществ (CRFs) для регулирования выделения питательных веществ используют внешнее физическое покрытие. Удобрения с контролируемым высвобождением питательных веществ (CRFs) подходят для ландшафтной (садово-парковой) архитектуры, плодовоовощных культур и пахотных (возделываемых) культур на открытых полях.

Например, в качестве таких удобрений может использоваться композиция на масляной основе для снижения улетучивания аммиака в удобрениях на основе карбамида. Заявку на патент на использование такой композиции подала компания YARA UK Ltd. –производитель минеральных удобрений [25].

Существует неопределенность, относить ли продукты, покрытые серой, к категории удобрений с контролируемым высвобождением питательных веществ (CRFs), или вместо этого включать их в группу медленнодействующих удобрений (SRFs). Это связано с тем, что выделение питательных веществ, на которое сильное влияние оказывают условия почвы, сложно спрогнозировать, и оно относительно плохо контролируется. Поэтому, например, Международная ассоциация производителей удобрений (IFA) классифицирует продукты, покрытые серой, как медленнодействующие. Другие организации, например, Ассоциация

американских официальных представителей по контролю за качеством питательных веществ для растений (AAPFCO), классифицируют медленнодействующие удобрения (SRFs) и удобрения с контролируемым высвобождением питательных веществ (CRFs) вместе, т.о. избегая этого разграничения.

### ***Удобрения покрытые серой (SCU)***

Удобрения покрытые серой, такие как покрытый серой карбамид (SCU), прежде всего, предназначены для рынка удобрений для травяного покрова. Они содержат сердцевину из карбамида, покрытую серой (рис. 3.10). Для предотвращения повреждения хрупкого покрытия серой при обращении обычно наносится восковой герметик. Содержание азота (30-40%) и серы варьируется в зависимости от толщины покрытия серой. Помимо того, что сера является дешевым и эффективным материалом для покрытия, она еще и все больше ценится сама по себе как питательный элемент для урожайности.

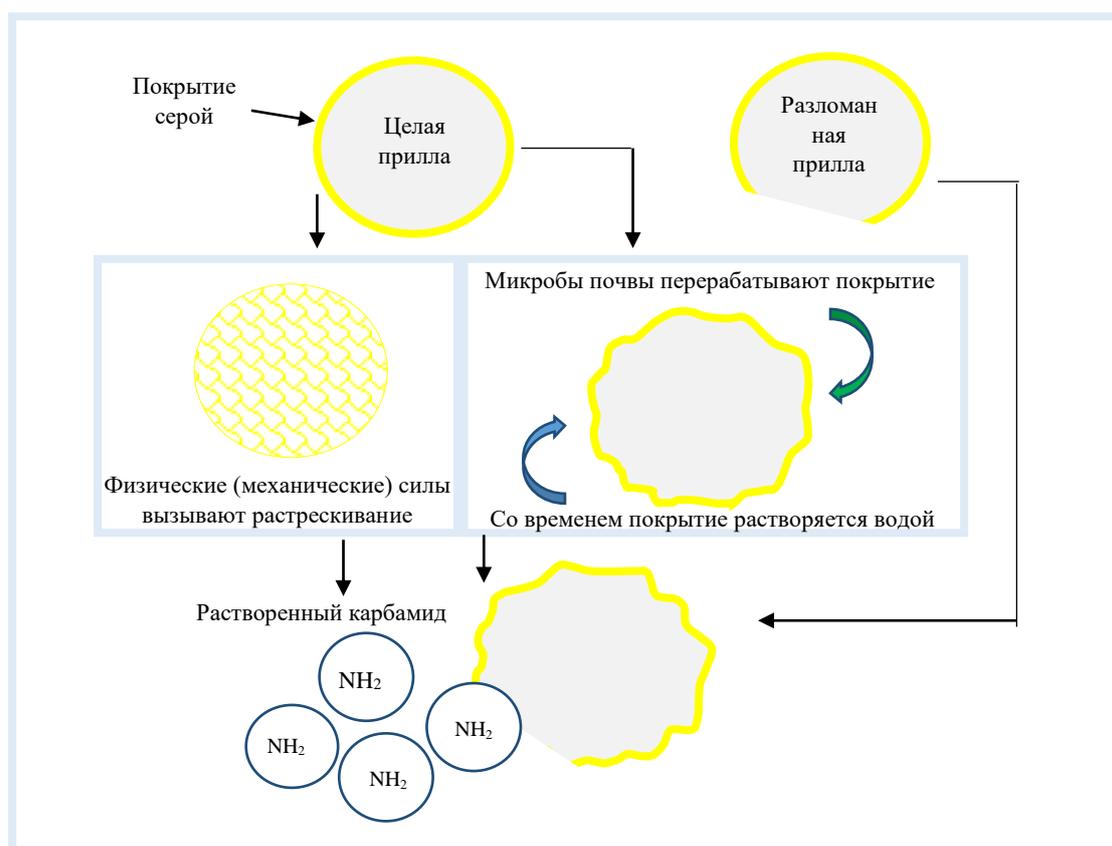


Рисунок 3.10 - Покрытый серой карбамид: выделение азота

Продукты, содержащие покрытый серой карбамид (SCU), обычно выделяют питательные вещества в течение 6-16 недель. Скорость выделения азота зависит от толщины и равномерности покрытия, а также температуры почвы, pH, влажности и активности бактерий.

### ***Удобрения с полимерным покрытием (PCU)***

Продукты, содержащие карбамид с полимерным покрытием (PCU), выделяют азот (42-44%) до трех месяцев. Сферы применения (внесения) включают обычные зерновые культуры (зерно (кукуруза), ячмень, картофель, пшеницу, рис, хлопок, т.д.), а также зеленые (листовые) овощи, фрукты, растущие на деревьях дыни и виноградную лозу. Продукты, содержащие карбамид с полимерным покрытием (PCU), также предназначены для рынка (удобрений) для травяного покрова.

Так, для получения улучшенных агрохимикатов используются полимерные композиции на основе соединений малеиновой и итаконовой кислот с ускорителем сушки полимерной композиции, в качестве которых выбирают многоатомные спирты и кетоны.

В качестве ускорителя сушки полимерного покрытия используют небольшие количества борной кислоты за счет образования связей бор-полимер поливиниловый спирт с образованием высокомолекулярного соединения. Еще большую эффективность показывают бимодальные виниловые полимеры с высокомолекулярными и низкомолекулярными цепями.

В качестве примера можно привести сополимер на основе кальциевых солей малеиновой и итаконовой кислот в соотношении 1:1 с pH около 3,5. Полимерное покрытие под торговой маркой Nutrisphere-N® предназначен для нанесения преимущественно на азотные удобрения: гранулированный карбамид, гранулированный сульфат аммония, аммиачную селитру, но также может использоваться и для сложных удобрений, таких как аммофос и диаммонийфосфат.

При внесении минеральных удобрений с высокомолекулярным полимерным покрытием в почву обеспечиваются следующие условия оптимального (улучшенного) питания:

1. медленное высвобождение питательных элементов в результате диффузии через дефекты полимерного покрытия;
2. нахождение питательных элементов в связке с органическими соединениями, способствующими их усвоению растениями, насыщающими корневую зону растений органическими веществами с близким к оптимальному соотношением C:N, поддерживающими оптимальное осмотическое давление растворов для капиллярного поглощения растениями;
3. повышает стрессоустойчивость растения в начальных фазах развития к внешним факторам за счет создания стабильной буферной зоны в корневой системе растения с относительно стабильными физическими и химическими свойствами
4. наличие бора в комплексной форме, усвояемой корневой системой растений.

Неиспользуемые остатки высокомолекулярных соединений, а также составляющих полимерного покрытия в виде многоатомных спиртов и кетонов не наносят вреда окружающей среде, распадаясь под действием ферментов до безопасных диоксида углерода и воды.

Другим примером являются удобрения «Аквадон-Микро» и «Кóра», которые представляют собой водно-полимерные высокомолекулярные комплексы длинных углеводородных цепочек с закрепленными на них микро- мезо- и макроэлементами. Их главное отличие от других удобрений заключается в том, что питательные вещества находятся в составе полимерной матрицы.

Функциональные группы атомов полимерной основы формируют разветвленную сеть – полимерную матрицу, которая удерживает в своей сотовой структуре азот, фосфор и калий за счет образования водородных, ионных и электростатических связей. Сотовая структура полимера защищает

питательные вещества от негативных воздействий внешней среды – инсоляции, гидролиза, окисления, жесткой воды и взаимодействия с солями почвы, доставляя макроэлементы к поверхности листа или корневой системы растений в биодоступной, легкоусвояемой ионной форме.

Полимерная основа обеспечивает длительное и усиленное воздействие микро- и макроэлементов, позволяя резко уменьшить их концентрацию в составе удобрений. А при совместном применении удобрений со средствами защиты растений, стимуляторами роста в составе баковой смеси, полимерная матрица повышает эффективность этих агрохимикатов. Действующие вещества удобрений «Аквадон-Микро» и «Кóра» находятся в составе полимерной матрицы.

Это означает, что полимерные макромолекулы не только физически удерживают микроэлементы, но и химически захватывают их, образуя крепкие координационные связи в своей матричной структуре. Сотовая структура полимера защищает микроэлементы от негативного воздействия влаги, кислорода и солнечного излучения, сохраняя питательные вещества в биодоступной, легкоусвояемой ионной форме.

Повышение эффективности средств защиты растений при совместном применении с полимерными удобрениями в составе баковой смеси обусловлено несколькими факторами. Улучшение характеристик рабочего раствора средств защиты растений: При приготовлении баковой смеси полимерная матрица повышает растворимость малорастворимых соединений (эффект Ребиндера). Одновременно, за счет сорбции полимерных макромолекул на поверхности твердых частиц предотвращается их возможная агломерация и они распределяются в баковой смеси более равномерно.

Пролонгация действия агрохимикатов: в баковой смеси полимерная матрица захватывает действующие вещества других агрохимикатов из раствора, включает их в свою сотовую структуру и при применении передает растению (рис. 3.11).

При обработке по листу (протравливании семян) полимерная матрица закрепляется на обрабатываемой поверхности, создавая воздухо- и влагопроницаемый практически мономолекулярный слой. Полимерный слой с включенными в него средствами защиты растений устойчив к инсоляции и не смывается водой, тем самым значительно увеличивается срок действия агрохимикатов. Полимерная матрица экологически безопасна, через 2-3 недели после применения, отдав все питательные вещества удобрения и захваченные агрохимикаты, распадается на углекислый газ и воду.

Снижение токсического эффекта: постепенное высвобождение действующих веществ средств защиты растений из полимерной матрицы снижает их негативное влияние на сельскохозяйственные культуры, например, уменьшается срок «гербицидной ямы».



Рисунок 3.11 – Варианты повышения эффективности компонентов баковых смесей

«Аквадон-Микро» не аккумулируется в почве, не изменяет ее кислотность и не взаимодействует с гуминовыми кислотами грунта, не образуя в нем нерастворимых солей. Удобрение безопасно для обитателей рек и озер, не содержит тяжелые металлы и другие потенциально опасные соединения. Таким образом, удобрение обеспечивает экологическую

безопасность почвенного покрова, грунтовых вод и атмосферы. Высокий уровень экологической безопасности подтверждается сертификатом системы «Эколосертик» [52].

### ***Удобрения покрытые серой и полимерным покрытием (PCU)***

Неравномерное выделение питательных веществ покрытым серой карбамидом стимулировало развитие гибридных продуктов, содержащих покрытый серой карбамид с полимерным покрытием (PCSCU). Тонкое наружное полимерное покрытие применяется для герметизации лежащего под ним покрытия серой. Обычно они содержат 38-42% азота, 11-15% серы и менее 2% полимерного герметика.

Продукты, содержащие покрытый серой карбамид с полимерным покрытием (PCSCU), являются попыткой совместить качество удобрений с полимерным покрытием с более низкой стоимостью покрытия серой. Обычно они выделяют питательные вещества в течение 6-10 недель. Высвобождение питательных веществ схематически показано на рисунке 3.12. Обычно их вносят на травяной покров либо в качестве обычного удобрения, либо в составе смесей NK или NPK.

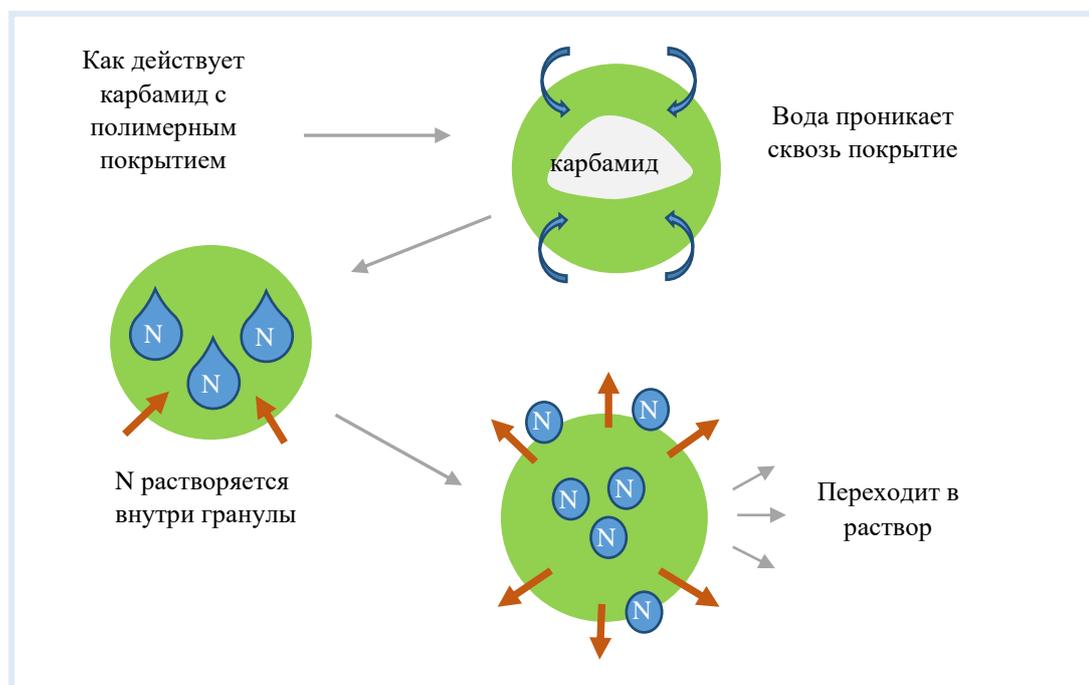


Рисунок 3.12 - Карбамид с полимерным покрытием: выделение азота.

Двумя заметными продуктами, содержащими покрытый серой карбамид с полимерным покрытием (PCSCU), на рынке являются XCU компании Koch и Poly-S компании Everris/ICL. По сведениям компании Koch, XCU обладает наибольшим содержанием азота (43%) и наименьшим содержанием серы (4%) из всех продуктов, содержащих покрытый серой карбамид с полимерным покрытием (PCSCU).

При производстве ассортимента продуктов Polyon компании Koch Agronomic Services используется запатентованный процесс (нанесения) слоя химически активного покрытия. Удобрения заключаются в оболочку ультратонкого полиуретанового покрытия. Данный процесс можно применять к различным веществам, включая карбамид, моноаммонийфосфат (MAP), нитрат поташа (MOP), сульфат поташа (SOP) и NPK.

В технологии Multicote компании Haifa Group и Plantacote компании SQM Vitas также используется полиуретановое покрытие. Технология Nutricote компании Chisso-asahi, наоборот, основана на полиэтилене, тогда как покрытия из алкидной смолы лежат в основе технологии Osmocote, которую использует компания ICL/Everris.

### ***Стабилизированные удобрения (SFs)***

Стабилизированными удобрениями (SFs) является группа продуктов, содержащих питательные вещества для растений, которые включают стабилизирующий агент, обычно для азота. Стабилизирующие агенты относятся к одному из двух типов:

- ингибиторы нитрификации (NI): они тормозят бактериальное окисление аммонийной формы азота в нитраты. Это помогает предотвратить вымывание нитратов и последующее выделение  $N_2O$  из почвы;
- ингибиторы уреазы (UI): они тормозят гидролиз карбамида и мочевино-аммониевого нитрата (UAN) в аммиак и  $CO_2$ , реакцию, катализатором которой является фермент уреазы. Это помогает предотвратить испарительный перенос аммиака и связанные с ним потери азота.

Введение ингибитора нитрификации в минеральные удобрения позволяет стабилизировать аммоний и снизить риск потери азота удобрений, например, при его вымывании из плодородного слоя почвы (рис. 3.13).

В дополнение к снижению вымывания нитратов внесение N-удобрений с ингибитором нитрификации (рис. 3.14) также улучшает качество выращиваемых культур, особенно зеленых листовых овощей [53].

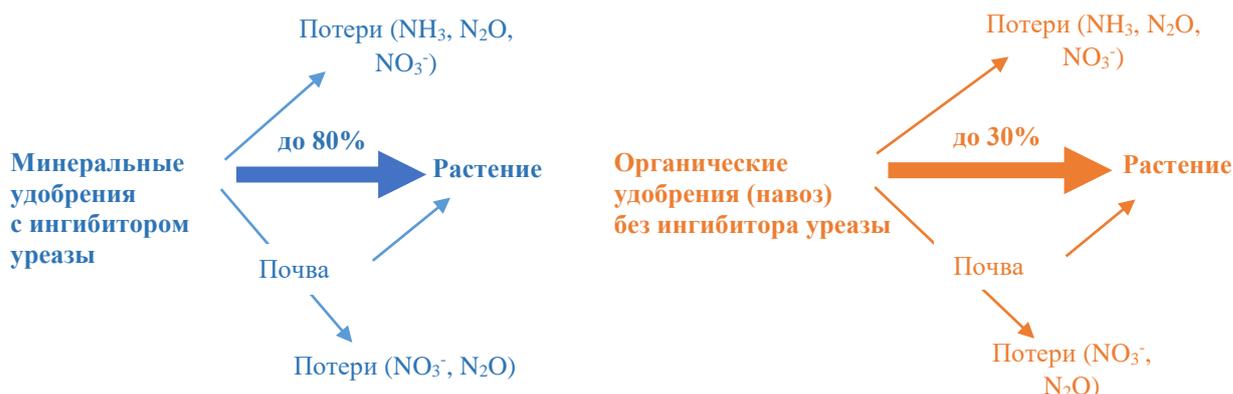


Рисунок 3.13 - Потери азота минеральных и органических удобрений при стратегии ВМР удобрения (Guster, 2006)

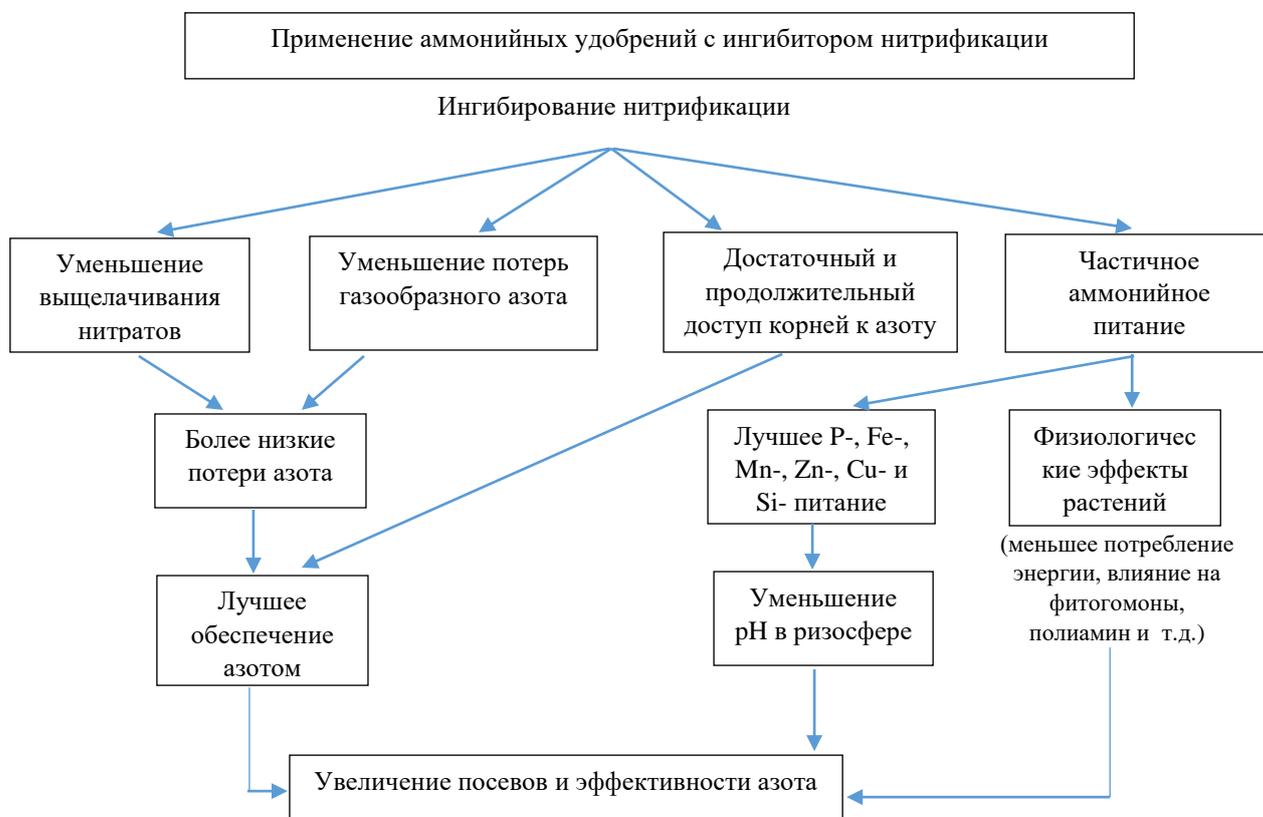


Рисунок 3.14 - Аммонийное питание ингибитором нитрификации [54]

Азот, присутствующий в карбамиде, безводном аммиаке и удобрениях, содержащих мочевино-аммониевый нитрат (UAN), выделяется в почву в аммонийной форме. Действие ингибиторов нитрификации (NIs) состоит в том, чтобы не позволить нитрифицирующим бактериям превратить этот аммоний в легко вымываемые нитраты. Таким образом, они также предотвращают последующее превращение нитратов в газообразные оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) путем денитрификации бактерий. Стабилизированные ингибиторами нитрификации (NI) удобрения наилучшим способом работают, когда их вносят во влажную или плохо осушенную почву в районах обильного увлажнения. Их обычно рекомендуется вносить осенью и для почвы после нулевой (гербицидной) обработки.

Ключевые игроки на рынке ингибиторов уреазы нитрификации (NI) и основные торговые марки стабилизирующих агентов перечислены в таблице 3.4.

В результате биохимических процессов на поверхности почвы карбамид и мочевино-аммониевый нитрат (UAN) могут превратиться в газообразный аммиак (испарительный перенос), диоксид углерода и воду. Данная реакция известна как гидролиз, направляется энзимом уреазой, естественным катализатором почвы. Функцией ингибиторов нитрификации (Nis) является блокировать этот энзим и, таким образом, остановить гидролиз, когда карбамид и мочевино-аммониевый нитрат (UAN) вносятся в первый раз. Это предотвращает испарительный перенос аммиака и предоставляет время, чтобы удобрения проникали вниз в почву.

Ингибиторы уреазы эффективны как для твердого карбамида, так и для жидких удобрений, содержащих мочевино-аммониевый нитрат (UAN). Они приносят наибольшую пользу при поверхностном внесении в почву после нулевой обработки или ограниченной обработки.

Поскольку главным образом рекомендуется предпосевное поверхностное внесение удобрений, стабилизированных ингибиторами уреазы (UI), их можно использовать для послепосевого и довсходового

внесения при корневой или внекорневой подкормке. Поскольку ингибиторы уреазы (UI) рекомендованы для почв при высоких потерях аммиака, они также предоставляют фермерам большую гибкость при регулировании времени внесения. Данный тип стабилизированных удобрений был изначально разработан для относительно жарких и сухих условий произрастания.

Таблица 3.4. Ключевые игроки на рынке ингибиторов уреазы нитрификации (NI) и основные торговые марки стабилизирующих агентов

Innovar	NEON	Сочетание ингибиторов уреазы и ингибиторов нитрификации	Карбамидно-аммиачная смесь (UAN)/ карбамид
Helena Agri-Enterprises	NFIXX	(ингибитор уреазы)	Карбамидно-аммиачная смесь (UAN)/ карбамид
Koch Agronomic Services	ANVOL	DUROMIDE (ингибитор уреазы)	Карбамид
Koch Agronomic Services	CENTURO	Pronitridine (ингибитор нитрификации)	Безводный аммиак, карбамид, растворы карбамидно-аммиачной смеси (UAN)
Koch Agronomic Services	SuperU	Карбамид + NBPT + DCD	Карбамид
Koch Agronomic Services	Agrotain	NBPT (ингибитор уреазы)	Карбамидно-аммиачная смесь (UAN)/ карбамид
Koch Agronomic Services	UMAXX	Карбамид 46-0-0 с ингибиторами уреазы и ингибиторами нитрификации	Карбамид
Life-T	Slowlife	Ингибитор нитрификации	Твердый N/ NP/ NPK
Ravensdowne	Eco-N	DCD (ингибитор нитрификации)	Карбамид
SKW Piesteritz	Alzon	DCD и 1 Н – 1,2,4 -triazone	Жидкий/ твердый N
Tessenderlo Kerley	Accu-N	DCD (ингибитор нитрификации)	Карбамидно-аммиачная смесь (UAN)/ карбамид
Tessenderlo Kerley	Xact N	NBPT (ингибитор уреазы)	Карбамидно-аммиачная смесь (UAN)/ карбамид
Weyerhaeuser (Gavilon distributor)	Arborite	NBPT	Карбамидно-аммиачная смесь (UAN)/ карбамид

Обычно они менее эффективны при более влажной и более теплой погоде, поскольку при этих условиях почвы быстро восполняются энзимом уреазы.

Ведущие мировые торговые марки продуктов, содержащих ингибиторы уреазы, такие как Agrotain компании Koch, Agro N-Protect компании Solvay,

Limus компании BASF, основаны на агенте стабилизации NBPT (N-(N-бутил) тиофосфорном триамиде), тогда как Limus также содержит другой агент ингибитор уреазы (UI), N-(2-нитрофенил) фосфорный триамид. N-Protect компании Solvay и Super-U компании Koch являются инновационными продуктами, поскольку они оба объединяют ингибитор нитрификации (DCD) и ингибитор уреазы вместе в одном стабилизированном удобрении.

### ***Побочные продукты и отходы других производств для производства улучшенных минеральных удобрений (на примере мелассы)***

Обеспечить жесткие улучшенные нормы нормируемых веществ можно не только с использованием побочных продуктов и отходов других производств. Однако, это необходимо делать с соблюдением контрольных требований к входящему сырью и материалам.

На рис. 3.15 приведена примерная схема производства улучшенных



Рисунок 3.15 - Схема межпроизводственного использования отходов и побочных продуктов с сохранением улучшенных характеристик продукции (на примере улучшенных минеральных удобрений)

минеральных удобрений с вовлечением в переработку побочных продуктов и отходов смежных производств – пищевой промышленности, цветной металлургии, химической промышленности.

Их поглощение производством улучшенных минеральных удобрений обеспечивает не только прямой эффект в виде полезного использования ресурсов, но и исключение затрат природных ресурсов на их утилизацию, например, известняка на нейтрализацию отходящей серной кислоты и территории на складирование техногенного гипса как продукта нейтрализации.

Сквозной эффект снижения образования отходов достигается именно созданием такой комплексной межотраслевой схемы, в которой производство улучшенных минеральных удобрений выступает квалифицированным потребителем побочных продуктов и отходов производств другого профиля, которые по объективным причинам могут только обращаться с ними как с отходами с соответствующими требованиями к определению класса опасности и объектам размещения отходов, эксплуатация и последующая ликвидация которых являются затратными мероприятиями.

В результате интеграции с производством улучшенных минеральных удобрений реализуется принцип устойчивого производства:

1. Удельные затраты производства каждого участника цепочки стремятся к наименьшим, и значительно меньше удельных затрат на производство продукции без интегрированной цепочки;

2. Удельный выход отходов, отнесенных к выпуску продукции каждого участника, в интегрированной цепочке существенно меньше, чем без нее

$$\sum_{L=1}^n \frac{V_i^j}{M_i^j} \ll \sum_{M^j}^n \frac{V^j}{M^j}$$

где  $V_j$  – образование отходов  $j$ -го участника, т;

$M_j$  – выпуск продукции  $j$ -ым участником, т;

$V_{ij}$  – образование отходов  $j$ -го участника в интегрированной цепочке, т.

**Меласса** Мелассой (свекловичная патока) называют последний маточный раствор – оттек, получающийся при отделении кристаллов сахарозы на центрифугах.

В мелассе содержатся несахара сока сахарной свеклы или сахарного тростника, не удаляемые при его химической очистке, и сахароза, которую выделять классическим методом кристаллизации уже экономически невыгодно. При выработке сахара из свеклы выход мелассы в расчете на безводную колеблется от 3,5 до 5% от ее массы. С мелассой отходит от 10 до 15% всего сахара, содержащегося в перерабатываемой свекле.

В соответствии с видом исходного сырья для производства сахара различают свекловичную и тростниковую мелассу. В нашей стране сахарный тростник не произрастает, но на сахарных заводах после свеклы на белый сахар перерабатывают импортный сахар-сырец. Получаемую при этом мелассу называют сырцовой.

Меласса представляет собой густую вязкую жидкость темно-коричневого цвета со специфическим запахом карамели и меланоидинов; свекловичная меласса имеет еще и запах триметиламина и других летучих аминов, образующихся при разложении бетаина.

#### ***Химический состав свекловичной мелассы***

Свекловичная меласса имеет сложный и непостоянный химический состав, зависящий от почвенно-климатических условий вегетации, вносимых удобрений, способов уборки, условий и продолжительности хранения сахарной свеклы, технологии сахароварения и других факторов.

В свекловичной мелассе содержится в среднем 80% сухих веществ и 20% воды, значительная часть которой находится в связанном состоянии вследствие гидратации в растворе коллоидов, молекул сахарозы и ионов минеральных веществ.

Общее содержание сухих веществ в свекловичной мелассе непосредственно после центрифугирования утфеля (кристаллизованного сахарного раствора) составляет около 85%. Концентрация реализуемой (товарной) мелассы несколько меньше, так как она разбавляется водой и конденсатом при промывании и пропаривании трубопроводов, по которым транспортируется в баки. Благодаря снижению концентрации не образуются кристаллы сахара при хранении, уменьшается вязкость, в результате чего облегчаются отгрузка мелассы, особенно в холодное время года, и зачистка баков.

Сухие вещества свекловичной мелассы, по данным П.М. Силина, состоят из следующих компонентов (в среднем, масс. %): сахарозы - 60,0; безазотистых органических веществ - 16,7; азотистых веществ - 14,8 и минеральных веществ (зола) - 8,5.

В свеклосахарном производстве ведут учет только сахарозы – основного продукта, в соответствии с чем другие сахара относят к группе безазотистых органических веществ. В спиртовом производстве учитывают все сахара, полностью или частично сбраживаемые дрожжами на спирт, и сумму сахаров называют сбраживаемыми сахарами.

### ***Сахароза и сбраживаемые сахара***

Количество сахарозы в свекловичной мелассе колеблется от 48 до 62% к ее массе и сильно зависит от состава нес сахаров свеклы. Обычно принято считать, что меласса должна быть раствором, насыщенным сахарозой, однако практически она представляет собой несколько перенасыщенный раствор, поскольку в производстве кристаллизация ограничена временем. Кроме того, на содержание сахарозы существенно влияют исходная плотность сиропа и конечная температура кристаллизации: чем выше плотность и ниже температура (в допустимых пределах), тем меньше в мелассе остается сахара.

Инвертированный сахар – это смесь эквимолекулярных количеств глюкозы и фруктозы. В мелассе обычно больше глюкозы, чем фруктозы, поэтому правильнее было бы эту смесь именовать «редуцирующие сахара».

Так как обычно под инвертированным сахаром подразумевают одновременное присутствие только этих моносахаридов, в дальнейшем оба термина будем принимать за равнозначные.

Количество инвертированного сахара – 0,4-1,5% к массе мелассы. При переработке долголежалой и порченной свеклы, а также при хранении мелассы в неблагоприятных условиях содержание в ней инвертированного сахара может резко возрасти.

Из трисахаридов в мелассе присутствуют раффиноза (0,5-2,0%), кестоза и неокестоза (0,5...1,6%), плантеоза (0,01%). Раффиноза (мелитриоза, госсипоза) состоит из остатков молекул фруктозы, глюкозы и галактозы; кестоза и изокестоза – из двух остатков молекул фруктозы и одного остатка молекулы глюкозы. Раффиноза переходит в мелассу из свеклы. Кестоза и неокестоза в свекле не содержатся, и появление их, как и других олигосахаридов в мелассе, по-видимому, объясняется деятельностью микроорганизмов в процессе сахарного производства. Тетрасахариды представлены стахиозой (0,02%).

Из свеклы в мелассу переходит небольшое количество пектиновых веществ и сопутствующие им арабана и галактана. На спирт полностью сбраживаются сахароза, инвертированный сахар и манноза. Раффиноза под действием  $\beta$ -фруктофуранозидазы (сахаразы, инвертазы) дрожжей расщепляется на фруктозу и дисахарид – мелибиозу. Так как в спиртовых дрожжах классических рас нет  $\alpha$ -галактозидазы (мелибиазы), то раффиноза сбраживается ими только на 34%. Однако в новых гибридных расах дрожжей (Г-67, Г-73 и др.) этот фермент присутствует, поэтому раффиноза почти полностью сбраживается. Содержание других сахаров невелико, они или частично сбраживаются, или (как пентозы) не сбраживаются, и потому к сбраживаемым сахарам обычно относят сахарозу, инвертированный сахар и раффинозу, при этом количество двух последних сахаров пересчитывают на сахарозу.

### ***Безазотистые органические вещества***

К безазотистым органическим веществам в сахарном производстве относят все сахара мелассы, за исключением сахарозы, продукты химической и термической деструкции сахаров и органические кислоты.

Инвертированный сахар, особенно фруктоза, в щелочных растворах сахарного производства при нагревании быстро разлагается. Вначале вследствие кето-енольной таутомерии происходят взаимные превращения глюкозы и фруктозы и образование новых моноз, например, маннозы и психозы. При разложении моносахаридов появляются нелетучие окрашенные кислоты – глюциновая, апоглюциновая, сахарумовая, меляссиновая и более высокомолекулярные гуминовые кислоты, немного молочной и летучих кислот – муравьиной и уксусной.

**Карамели** – собирательное название сложной смеси продуктов, образующихся при термическом разложении сахарозы и моносахаридов. В состав карамелей входят ангидриды сахаров, темноокрашенные и другие малоизученные соединения.

**Меланоидины** – также собирательное название не менее сложной смеси продуктов, получающихся при химическом взаимодействии редуцирующих сахаров с аминокислотами. Кроме нелетучих окрашенных соединений, содержащих небольшое количество азота, присутствуют алифатические альдегиды, метилглиоксаль, диацетил, ацетоин и др. Р. Тресселу удалось обнаружить в мелассе около 40 летучих соединений меланоидиновой реакции, в основном производных пиразина и фурана – от  $7 \cdot 10^{-6}$  до 0,01%.

Окраска мелассы обусловлена красящими веществами, образующимися при меланоидиновой реакции и щелочном разложении моноз. Они имеют частицы размером от 0,7 до 4,2 нм, лежащим на границе между молекулярной и коллоидной дисперсностью. Большая часть красящих веществ образует истинные водные растворы.

Для всех красящих веществ характерна зависимость интенсивности окраски от величины активной концентрации водородных ионов: с

понижением рН она уменьшается, с повышением увеличивается, что, возможно, связано с изменением диссоциации хромофорных групп. Во многих красящих веществах присутствуют карбонильные и карбоксильные группы, благодаря чему они способны соответственно редуцировать окисленные соединения и проявлять кислотные свойства. Некоторые функциональные группы могут обратимо окисляться, восстанавливаться и влиять на окислительно-восстановительный потенциал растворов.

Цветность мелассы выражают в миллилитрах 0,1 N раствора йода, который надо добавить к 94 мл дистиллированной воды, чтобы получить такую же интенсивность окраски, как у 2%-ного раствора мелассы. Цветность колеблется в широких пределах – от 1,2 до 4,6, чаще 1,5-2 мл 0,1 N раствора.

В мелассе 4-6% веществ находятся в коллоидном состоянии со средним радиусом частиц от 45 до 80 нм. Различают необратимые и обратимые коллоиды. Первые после осаждения спиртом или спирто-эфирной смесью вновь не растворяются в воде, окрашены в интенсивный темно-коричневый цвет (обуславливают до 85% цветности мелассы) и содержат около 9% азота; вторые растворяются в воде, окрашены менее интенсивно, беднее азотом (около 4%). Основная масса коллоидов – обратимые.

Органическая часть, составляющая 90-95% массы коллоидов, мало изучена. В обратимых коллоидах выявлено присутствие приблизительно 25% арабана и некоторого количества гексозанов. Значительная доля в составе коллоидов, особенно необратимых, по-видимому, приходится на высокомолекулярные окрашенные кислоты.

Коллоиды, содержащие окрашенные продукты щелочного разложения моносахаридов, имеют отрицательный электрокинетический потенциал, поэтому коагулируют в кислой среде при следующих оптимальных условиях: рН=3,2; концентрация сухих веществ мелассы - 20-30%; температура 80°C. Коллоиды с окрашенными продуктами меланоидиновой реакции заряжены положительно и коагулируют в щелочной среде при рН=8 и выше.

Органические кислоты свеклы, образующие с гидроксидом кальция нерастворимые соли (щавелевая, лимонная, оксалимонная и винная), в основном удаляются из диффузионного сока в процессе дефекации. В мелассу переходят, главным образом, кислоты, не осаждаемые известью, – глутаровая, малоновая, адипиновая, янтарная, трикарбаллиловая, аконитовая, гликолевая, молочная, глиоксиловая и яблочная. Из нелетучих жирных кислот обнаружены следы капроновой, каприловой, каприновой, лауриновой, миристиновой и пальмитиновой. Из летучих кислот присутствуют муравьиная (0,1-1,2%), уксусная (0,6-1,3%), пропионовая (0,02-0,3%), н-масляная (до 0,6%), н-валериановая (до 0,2%) и следы около 20 кислот ароматического ряда. Уксусная кислота образуется в процессе дефекации при щелочном разложении пектиновых веществ и моносахаридов. Но большая часть уксусной кислоты, как и других летучих кислот и молочной кислоты, появляется в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Практически все летучие и нелетучие кислоты находятся в мелассе в виде солей калия и кальция.

#### *Азотистые вещества*

Содержание этих веществ в мелассе составляет от 5 до 20% от ее массы. Оно существенно зависит от количества внесенных под свеклу азотистых удобрений, выпавших осадков, температуры в период вегетации, а также продолжительности хранения свеклы: повышается с увеличением дозы удобрений и уменьшается с возрастанием количества осадков, понижением температуры и с увеличением продолжительности хранения свеклы.

Аминокислоты (таблица 3.5) переходят в мелассу из свеклы только на 50-60%. Аминомасляная кислота не содержится в свекле и образуется в процессе ее переработки из глутаминовой кислоты при декарбоксилировании. Глутаминовая кислота легко отщепляет воду, превращаясь в циклическую пирролидинкарбоновую кислоту, в виде которой она в основном (75%) и находится в мелассе.

Бетаин свеклы практически полностью сосредоточивается в мелассе. Амиды свеклы, аспарагин и глутамин, под влиянием щелочи гидролизуются (омыляются) до аммиака и соответствующей аминокислоты. В небольших количествах в мелассе присутствуют летучие амины, образующиеся при частичном распаде бетаина, и меланоидины. Выделено 14 летучих аминов: диметил- и триметиламин, этиламин, диамин и др.

Содержание в мелассе азота, усваиваемого дрожжами, составляет от 12 до 20% от всего азота, причем возрастает с увеличением его количества. Например, при общем содержании азота 1% усваиваемый азот составляет 0,15%, при 1,3 – 0,25, при 1,7% – 0,35%. Для нормальной жизнедеятельности дрожжей достаточно 0,25% усваиваемого азота.

Таблица 3.5. Аминокислотный состав свекловичной мелассы

Аминокислота	Содержание, % к массе мелассы	Аминокислота	Содержание, % к массе мелассы
Лейцин + изолейцин	0,6...2,9	Треонин + глицин	0,2...0,9
Фенилаланин	Следы	Глутаминовая кислота	0,6...1,8
Валин + метионин + триптофан	0,4...1,3	Серин	0,7...2,5
γ-Аминомасляная кислота	0,7...1,8	Аспарагиновая кислота	0,2...0,5
Тирозин	0,8...0,9	Аргинин + гистидин + лизин	Следы – 0,7
Пролин	Следы	Цистин	Следы
Аланин	0,5...2,3		

### ***Витамины***

В мелассе содержатся следующие витамины (средние данные в мг на 100 г.): биотин 0,01, тиамин 0,3, рибофлавин 0,04, пиридоксин 0,54, никотиновая кислота 5,1, пантотеновая кислота 8,0, фолиевая кислота 0,02, инозит 700.

### ***Минеральные вещества***

Среднее количество минеральных веществ 8,5% соответствует так называемой чистой золе, т.е. сумме окислов карбонатной золы, которая образуется при обычном озолении, больше – около 14%. Для ускорения сжигания добавляют концентрированную серную кислоту, получая сульфатную золу; ее еще несколько больше (карбонатная зола = сульфатная зола • 0,9).

В чистой золе отечественной мелассы содержится около 40%  $K_2O$ , от 1,5 до 4,5%  $MgO$  и 7,3-13,8%  $CaO$  к массе.

Около 97% находящегося в свекле фосфора теряется в процессе производства сахара (осаждается в основном при дефекации). В чистой золе мелассы, получаемой при переработке здоровой свеклы с нормальной натуральной щелочностью, содержится 0,3-0,6%  $P_2O_5$ , или 0,03-0,06% к массе мелассы. В случае снижения натуральной щелочности свеклы до 0,01%  $CaO$  и меньше на многих сахарных заводах с целью более полной очистки соков от растворимых кальциевых солей, коллоидных веществ и предотвращения инверсии сахарозы сок II сатурации подщелачивают тринатрийфосфатом до рН 8,3-8,5. При этом содержание фосфора в мелассе резко возрастает – до 1,2-2,0%  $P_2O_5$  к массе золы, или до 0,12-0,20% к массе мелассы.

Содержание сульфитов изменяется от 0,05 до 0,2% в расчете на сернистый ангидрид и на массу мелассы. Оно возрастает с усилением сульфитации сиропа или сока II сатурации для снижения цветности и вязкости сахарных растворов.

Кроме макроэлементов в свекловичной мелассе присутствуют микроэлементы (таблица 3.6). Такие элементы, как алюминий, железо, кремний и стронций, могут содержаться в макро- и в микроколичествах.

Нормальная меласса имеет слабощелочную или близкую к нейтральной реакцию (рН 8,9-7,2) и щелочность 2-0,5 моль/дм<sup>3</sup>  $H_2SO_4$  в 1 см<sup>3</sup>.

Слабокислая реакция товарной мелассы может быть следствием развития кислотообразующих бактерий. Для маскировки кислотности на

некоторых сахарных заводах в мелассу добавляют известь, вследствие чего еще более усиливается развитие бактерий и ухудшается качество мелассы.

Наличие в мелассе сильных оснований и слабых кислот придает ей буферные свойства. Буферная емкость характеризуется количеством 1 Н раствора серной кислоты в миллилитрах, необходимым для снижения рН до 4,5 в 100 г. мелассы при разведении водой 1:1, и изменяется от 14 до 45.

Таблица 3.6. Содержание минеральных веществ в свекловичной мелассе

Элемент	Количество, мг на 100 г мелассы	Элемент	Количество, мг на 100 г мелассы
Бор	0,20...0,42	Никель	0,16,...0,76
Железо	8,3...26,6	Олово	0,10...0,41
Кобальт	0,10...0,76	Свинец	0,21...0,61
Кремний	6,6...54,7	Стронций	4,0...59,4
Марганец	1,0...7,6	Титан	0,21...0,70
Медь	0,50...9,8	Фтор	0,21...0,70
Молибден	0,02...0,26	Цинк	2,0...3,3

### ***Посторонние примеси***

К посторонним примесям относятся загрязнения нефтепродуктами из-за недостаточно хорошо проведенной подготовки цистерн для перевозки мелассы по железной дороге и пеногасителями, применяемыми в сахарном производстве при диффузии и при упаривании соков.

В мелассу, по-видимому, переходит также некоторая часть пестицидов, используемых для борьбы с насекомыми-вредителями и микробами – возбудителями болезней во время культивирования свеклы, химикатов, добавляемых при хранении свеклы с целью предупреждения прорастания и загнивания.

Количество посторонних примесей иногда может быть значительным, например, пеногасителей 1-2% к массе мелассы.

### ***Применение мелассы как удобрения***

Меласса используется в качестве удобрения для растений как при органическом выращивании, так и при использовании минеральных удобрений. Меласса – превосходный источник большого количества питательных веществ, которые необходимы для растений: железа, калия, углерода, серы, кальция, магния, меди и марганца. Поэтому необработанную мелассу обычно добавляют в органические удобрения, чтобы дать растениям необходимые углеводы и микроэлементы.

Мелассу рекомендуется использовать перед сбором урожая, для очистки растений от азотистых соединений и улучшения вкуса готовой продукции. Внесение мелассы в грунт усиливает развитие микроорганизмов, которые связывают азот, содержащийся в почве.

Мелассу можно добавлять в воду и распылять на листья растений или проводить полив почвы. Когда меласса распыляется непосредственно на листья растений, питательные вещества и сахар быстро усваиваются, и питательные вещества сразу же становятся доступными.

Проводимые аграрными ВУЗами исследования мелассы совместно с производственными предприятиями, позволяет выявить ее новые качества.

Исследования Мичуринского ГАУ совместно с АО «Биохим», позволили разработать новое удобрение для сельхозкультур — барду мелассную. Это отходы производства спирта одного из предприятий Тамбовской области. Применение барды мелассой в сельском хозяйстве само по себе не новое. Однако раньше, в течение многих десятилетий, этот продукт использовали, прежде всего, в качестве корма в животноводстве. Однако, как показали исследования, содержащиеся в барде мелассой азот, фосфор и кальций весьма полезны и для растений. Ученые уже испытали удобрение и дали рекомендации на злаковых, овощных, цветочных культурах. По данным исследователей, оно повышает урожайность, улучшает структуру почвы, увеличивает количество гумуса.

### ***Удобрения - стимуляторы роста растений***

Специальные виды удобрений-стимуляторов роста растений содержат необходимый набор аминокислот, пептидов, белков, микроэлементов.

Последовательность расположения отдельных аминокислот жестко определяет характер и функцию соответствующего белка. Аминокислоты (АК) участвуют в обмене веществ, причем все они могут синтезироваться через очень энергозатратный механизм в растительном организме (у животных синтезируется только часть аминокислот, остальные они должны получать с пищей), а часть аминокислот является основой для синтеза других аминокислот. Растение с помощью генов регулирует синтез аминокислот, изменяя структуру ранее синтезированных (эндогенных) либо попавших извне (экзогенных) АК. Часть АК может быть просто разобрана на составные части и использована в различных биохимических реакциях: цикле карбоновых кислот, синтезе углеводов и жиров. В результате поступления через листья АК включаются в процесс обмена веществ без больших энергозатрат. Часть в результате различных стрессов клетки растений направляют все силы и ресурсы на устранение негативных последствий: синтезируют защитные белки и активные вещества, перераспределяют ресурсы в пользу защитных реакций, при этом останавливают ростовые процессы. Экзогенные АК резко увеличивают пул свободных аминокислот в растении, который можно пустить как на защитные реакции, так и на продолжение нормальных ростовых процессов и полноценного функционирования белкового комплекса. Этим объясняется стрессоснижающее действие АК. Иными словами, поступающие извне АК являются дополнительным «строительным материалом» для создания всех белков, а прежде всего ферментов во вновь образующихся клетках. При этом увеличивается скорость деления клеток. Этим объясняется ростостимулирующее действие АК.

Аминокислоты, пептиды и белки являются отличными комплексонами, т.е. веществами, чьи органические молекулы координируются вокруг заряженных ионов неорганических и органических веществ. В результате

таких реакций появляются сложные вещества – комплексы. Особую биологическую роль играют комплексы с различными металлами: железом, магнием, марганцем, цинком, медью, молибденом, кобальтом и другими. Немаловажные функции выполняют комплексы с углеводами, жирами, витаминами.

Буферные свойства АК – способность стабилизировать определенный показатель рН (концентрацию ионов водорода) в водном растворе, в результате чего заданный уровень рН не меняется при добавлении кислот или щелочей. Это свойство очень важно для поддержания нормального рН, например, флоэнного сока и, соответственно, нормального транспорта по флоэме сахаров, белков, жиров и других сложных продуктов органического синтеза.

Реологические свойства АК. В водном растворе АК являются растворителями и пленкообразователями, в составе аминокислот есть как гидрофильные так и гидрофобные группы, и на границе раздела вода-листовая поверхность АК выполняют функцию смачивателей: гидрофобные молекулы АК активно прикрепляются к липофильным группам поверхности листа и увеличивают растекание рабочего раствора, соответственно, увеличивая площадь обработанной поверхности и сопутствующие эффекты: коэффициент поглощения действующих веществ, эффективность обработок и т.д.

Продукт распада аминокислот и пептидов обладает отпугивающим эффектом на грызунов и репеллентным эффектом на насекомых-вредителей и их личинок. Эта особенность аминокислотных препаратов вызвана тем, что под воздействием кислорода и микроорганизмов происходит распад серосодержащих аминокислот и пептидов с образованием продуктов распада с резким запахом, что обусловлено выделением сероводорода, меркаптанов, а также полиаминов.

Важным показателем является относительная эффективность применения азота. На рисунке 3.16 приведена зависимость использования

азота (в дозах) от внесенной дозы азота. Зависимость позволяет определить зоны оптимального внесения азота без риска загрязнения почв и окружающей среды, с одной стороны, и снижения урожайности ниже предельного минимума, с другой стороны.

В то же время агрохимическими и агротехнологическими приемами можно добиться высокой степени полезного использования азота с достижением максимума биологической урожайности сельскохозяйственных культур без негативного влияния на почву и окружающую среду.

Работы в области таких минеральных удобрений ведутся как в России, так и за рубежом ведущими инжиниринговыми и отраслевыми компаниями.

В качестве одного из инновационных приемов можно привести разработку компании Thyssen Krupp Industrial Solutions по технологии удобрений с управляемой скоростью растворения с полимерным биоразлагаемым покрытием.

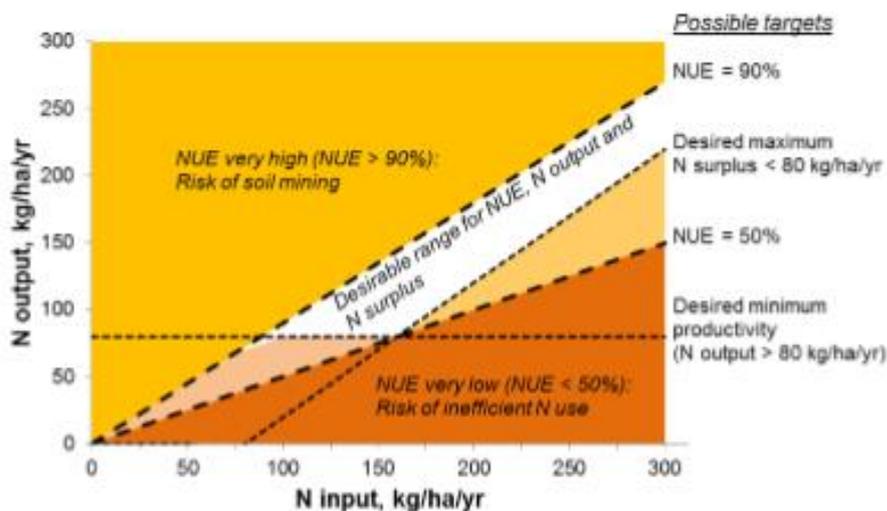


Рисунок 3.16 - Зависимость использования азота (в дозах) от внесенной дозы азота

Особенностями технологии являются:

- выбор полимерного материала из полностью биоразлагаемого материала – полилактата, не оставляющего никаких остаточных загрязнений и продукты распада которого (молочная кислота) являются питательной средой для полезных микроорганизмов;

- возможность варьирования в зависимости от толщины и плотности покрытия периода задержки растворения питательных веществ. Например, для карбамида с полилактатным полимерным покрытием возможно заблаговременное внесение в почву за несколько месяцев до сезона, что открывает новые возможности для сельхозпроизводителя по сокращению затрат на обработку почвы и внесению удобрений.

Растворение карбамида происходит в период максимальной потребности растения в азоте в вегетационный период. Примерный график растворения карбамида с полимерным лактатным покрытием приведен на рисунке 3.17.

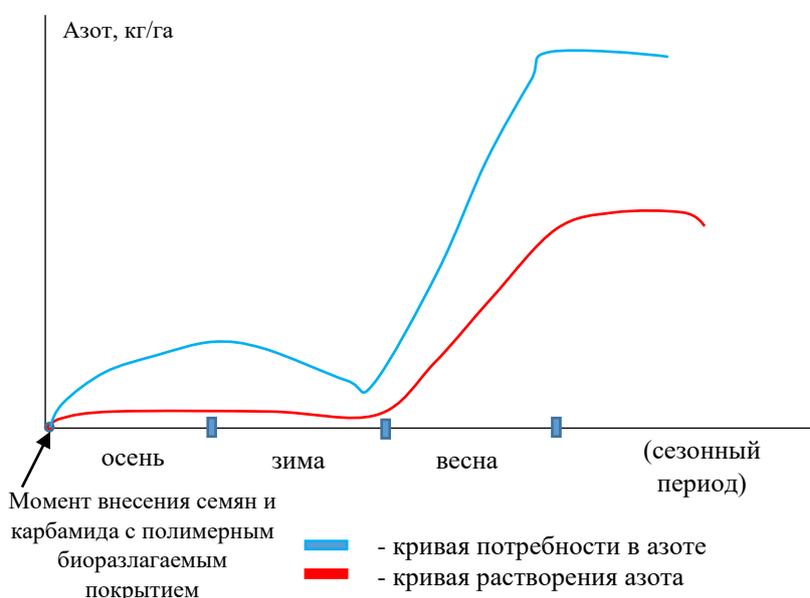


Рисунок 3.17 - Примерный график растворения карбамида с полимерным лактатным покрытием

Синхронизация кинетических кривых потребности растения в азоте с кривой растворения – один из важнейших факторов достижения максимума биологической эффективности при минимуме потерь питательного вещества (в данном случае азота). При этом эффективность использования азота (в % от внесенного в почву) может достигать 80-90%.

Все указанные продукты направлены на решение триединой задачи:

1. повышение биологической урожайности сельскохозяйственных культур и агрономической отдачи от внесенных питательных элементов за счет сохранения их в почве и сокращения потерь;

2. снижение экологической нагрузки на окружающую среду в результате ингибирования побочных процессов трансферментации питательных элементов – улетучивания и смывания азота, ретроградации фосфора, нитрации калия в глубокие слои почвы и природные водоемы;

3. кардинальное уменьшение углеродного следа по всему жизненному циклу от производства сырья до производства улучшенной сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, для производства улучшенной сельскохозяйственной продукции при выборе решений по повышению эффективности минеральных удобрений превалирует экологический критерий: для достижения одинаковых показателей урожайности и качественных характеристик сельскохозяйственной продукции необходимо выбирать решения с нулевым/низким экологическим следом. Для рассматриваемого направления повышения эффективности азотного питания есть выбор решений от применения азотных удобрений с управляемой скоростью растворения, дробного внесения аммонийных удобрений (например, сульфата аммония) до применения нитратных форм удобрений с ингибиторами нитрификации.

### ***Вспомогательные вещества для повышения эффективности агрохимикатов***

На платформе «Зеленый эталон» дальнейшее развитие получает применение улучшенных вспомогательных веществ - адьювантов, которые, в свою очередь, улучшают биоэффективность основных активных компонентов, снижая их расход и потенциальные потери с негативными последствиями для окружающей среды.

При этом, адьювант не должен иметь негативных последствий с точки зрения биоаккумуляции и негативного воздействия на окружающую среду.

В последние годы благодаря развитию химии и технологии поверхностно-активных веществ разработаны улучшенные сельскохозяйственные адьюванты.

В качестве примера можно привести патент Российской Федерации №2370954 на «Применение фосфатированных алканолов в качестве диспергаторов, эмульгаторов, гидротропных агентов, смачивающих агентов и агентов совместимости в сельскохозяйственных композициях».

Изобретение относится к применению фосфатированного 2-пропилгептанола или фосфатированных алкоксилатов 2-пропилгептанола в качестве гидротропного агента в сельскохозяйственных готовых формах композиций. Более конкретно, оно относится к сельскохозяйственному адьюванту, который включает, по крайней мере, одно фосфатированное гидроксильное соединение. Адьювант изобретения может эффективно использоваться в качестве диспергатора, эмульгатора, гидротропного агента, смачивающего агента, агента совместимости и/или аналогичных в сельскохозяйственных готовых формах композиций. В этой связи авторы обнаружили, что фосфатированный 2-пропилгептанол или фосфатированный алкоксилат 2-пропилгептанола, в котором алкоксилат включает в среднем 1-20, предпочтительно 1-15, более предпочтительно 2-10 и наиболее предпочтительно 2-6 бутиленоксизвеньев, является эффективным гидротропным агентом и агентом, улучшающим активность, в сельскохозяйственных готовых формах композиций. Адьюванты изобретения улучшают смачивание и поглощение активных ингредиентов растением, приводя в результате к более высокой активности при заданной норме расхода.

### **3.2. Мелиоранты для «зеленой» платформы**

**(на примере фосфоритной муки и фосфогипса)**

#### ***Фосфоритная мука***

Негативное воздействие сельскохозяйственных предприятий на почвы связано в основном с нерациональным ведением сельскохозяйственного производства. Под нерациональностью в данном случае подразумевается, как чрезмерный уровень нагрузки на агроэкосистему, являющийся результатом интенсивной системы земледелия, так и недостаточный уровень вложений, связанный со снижением применения минеральных и органических удобрений, химических мелиорантов, а также ухудшением качества обработки почв. С минеральными удобрениями в почву попадают многочисленные токсичные элементы и тяжелые металлы, малоподвижные в почвенной среде (As, Ni, Cu, Cd, Pb, Cr, Zn,).

Тяжелые металлы (ТМ) считаются основным классом загрязнителей и очень опасными для сельскохозяйственных культур и здоровья человека. Быстрый рост загрязнения тяжелыми металлами в течение последних лет соотносится с быстрой индустриализацией, сжиганием ископаемого топлива, выпадением атмосферных осадков, утечкой нефтепродуктов, добычей полезных ископаемых, сельскохозяйственными практиками и утилизацией отходов с высоким содержанием металлов непосредственно на сельскохозяйственные земли и водоемы. Глобальный экономический урон от загрязнения тяжелыми металлами оценивается в 10 млрд долларов в год. Предыдущие исследования показали повышенное содержание тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах и почвах как результат значительного антропогенного и индустриального отложения отходов. ТМ нарушают окислительно-восстановительный гомеостаз путем стимулирования свободных радикалов и повышая производство ROS, что вызывает клеточный окислительный стресс путем изменения структуры клетки, разрушения проницаемости мембраны и функциональности белка. Далее, ТМ накапливаются в теле человека через еду и вызывают проблемы со здоровьем: диабет, гипертензию, сердечно-сосудистые заболевания и рак.

Одним из эффективных мелиоративных приемов повышения плодородия низкоплодородных кислых почв и снижение поступления

токсичных элементов и тяжелых металлов в цепочку «почва – растение – пища – человек» является фосфоритование. При этом происходит улучшение фосфатного режима почв, эффективность применения минеральных удобрений и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур.

Платформа производства улучшенной сельскохозяйственной продукции органично вписывается в решение системной задачи сохранения и повышения плодородия почв и агробиоценозов, увеличение урожайности сельскохозяйственных культур.

Для традиционных способов повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование) также создаются новые возможности расширения спектра применения. Необходимо отметить, что в Российской Федерации такие виды работ по повышению плодородия практически не ведутся. Например, в 1990 году известковалось 4,4 млн. гектар, при этом в 2020 году произвестковано около 0,4 млн. гектар. В 2020 году проведено гипсование солонцовых почв – 4,5 тыс. гектар и фосфоритование на площади 21,2 тыс. гектар.

В отношении применения фосфоритной муки соответствующего качества (низкое содержание тяжелых металлов, в том числе кадмия и других токсичных примесей) достигается синергетический эффект и для производства улучшенной сельскохозяйственной продукции, и для продукции органического производства.

Необходимо отметить, что Россия имеет существенные запасы качественной фосфоритной муки. Кроме того, фосфоритная мука поставляется и из-за рубежа. В 2021 году Министерство сельского хозяйства Российской Федерации выдало свидетельство о государственной регистрации фосфоритной муки сирийского происхождения [26], что позволяет сделать вывод о ее высокой доступности для сельскохозяйственных производителей.

Типичный состав концентрированной фосфоритной муки приведен в таблице 3.7. По содержанию углевого компонента ( $P_2O_5$ ) компонентов

(CuO, MgO, SiO<sub>2</sub>) и негативных примесей (полупрозрачные оксиды + токсичные элементы).

Таблица 3.7. Типичный состав концентрированной фосфоритной муки

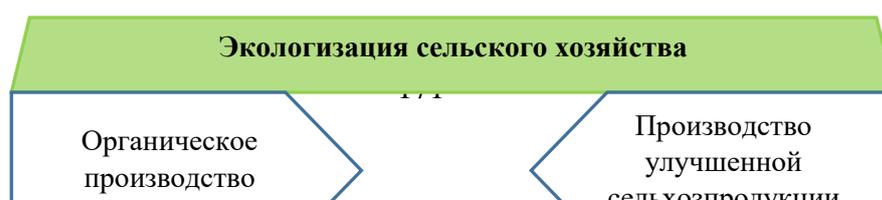
Наименование определяемого компонента, ед. измерения	Результаты измерений
	Фосфоритная мука
<i>Массовая доля:</i> общих фосфатов (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ), %	28,1
оксида кальция (CaO), %	45,9
диоксида углерода (CO <sub>2</sub> ), %	9,7
нерастворимый остаток, %	8,1
оксида кремния (SiO <sub>2</sub> ), %	5,8
фтора (F), %	2,8
углерода органического (C <sub>орг</sub> ), %	0,056
оксида магния (MgO), %	1,5 1,6
сульфатов (SO <sub>3</sub> ), %	0,69
оксида натрия (Na <sub>2</sub> O), %	0,59
оксида калия (K <sub>2</sub> O), %	0,035
хлоридов (Cl), %	0,038
мышьяка (As), %	0,00012
ртути (Hg), мг/кг	0,020
свинца (Pb), %	0,00094
кадмия (Cd), %	0,00075 0,00069
оксида алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	0,29
оксида железа (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	0,18
марганца (Mn), %	0,0015
оксид стронция (SrO), %	0,17
оксид титана (TiO <sub>2</sub> ), %	0,0034
кобальта (Co), %	не обнаружено
цинка (Zn), %	0,017
меди (Cu), %	0,0021
никеля (Ni), %	0,0012
хрома (Cr), %	0,015

В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ Р 33980-2016 «Продукция органического производства. Правила производства, переработки, маркировки и реализации» в качестве фосфоросодержащих удобрений рекомендуется использовать природные фосфаты с содержанием кадмия на более 90 мг/кг  $P_2O_5$  и алюминиево-кальциевые фосфаты также с содержанием не более 90 мг/кг  $P_2O_5$  (приложение А к ГОСТ Р 33980-2016. «Удобрения и почвоулучшающие вещества, разрешенные в органическом производстве»). Для улучшенных минеральных удобрений в соответствии с национальным стандартом ГОСТ Р 58658-2019 «Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Удобрения минеральные. Общие технические условия». устанавливаются более жесткие требования к содержанию кадмия не более 20 мг/кг  $P_2O_5$ .

Концентрированная фосфоритная мука соответствует требованиям зеленой платформы производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и органического производства.

Фосфоритная мука высокого качества, удовлетворяющая требованиям к улучшенным минеральным удобрениям, пригодна для применения также и в органическом производстве, в том числе и в высоких дозах для восстановления и поддержания в течение длительного времени плодородия почв. Применение фосфоритной муки наряду с применением природных веществ и биоматериалов является одним из общих ресурсов для органического производства и производства улучшенной сельскохозяйственной продукции (рис. 3.18).

Высокосортная фосфоритная мука содержит более 25%  $P_2O_5$  и характеризуется относительно низким соотношением примесей прежде всего полуторных оксидов металлов (Fe, Al), приводящих к связыванию ортофосфатов в малорастворимые соли.



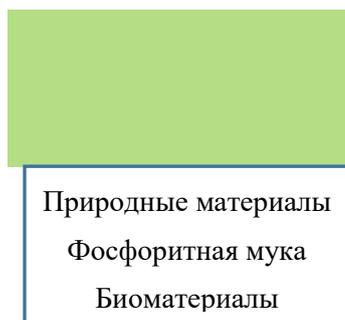


Рисунок 3.18 - Зоны перекрытия платформ органического производства и производства улучшенной сельскохозяйственной продукции по применяемым агрохимикатам

Основные агрохимические свойства фосфоритной муки:

- эффективное минеральное удобрение, которое, кроме основного элемента питания – фосфора ( $P_2O_5$  17-29%), содержит кальций (до 33%), кремний (16,0-20,0%), серу, магний (1,0-1,4%) и широкий спектр микроэлементов: Fe (4,0-4,7%), Cu, B, Mn, Mo, Zn, Co, причем содержание микроэлементов в фосфоритной муке адекватно их среднему нормальному уровню концентраций в почвах. В фосфоритной муке содержится более 11 элементов, необходимых для питания растений;
- способствует повышению урожайности всех сельскохозяйственных культур, устойчивости культур к различным заболеваниям, засухе, морозу, благоприятно влияет на качество сельскохозяйственной продукции;
- стимулирует развитие корневой системы растений: она сильнее ветвится и глубже проникает в почву, что улучшает снабжение растений питательными элементами и влагой;
- при внесении в почву ослабляет вредную для растений и микроорганизмов кислотность почвы;
- улучшает физико-химические свойства и структуру почвы, повышает её биологическую активность, плодородие, влаго- и воздухопроницаемость;
- обладает существенным экономическим и экологическим преимуществом по сравнению с водорастворимыми фосфорными удобрениями: 1 кг  $P_2O_5$  в фосфоритной муке значительно дешевле 1 кг  $P_2O_5$  в аммофосе с учётом

коэффициента использования водорастворимых фосфорных удобрений (не более 30%);

- 1 т внесенной фосфоритной муки может дать прибавку урожая за пятилетнюю ротацию до 1,5-2,0 т зерновых культур;
- незаменимое фосфорное удобрение при выращивании многолетних кормовых трав;
- внесение с физиологически кислыми азотными удобрениями повышает коэффициент их использования на 15-20%, в результате чего снижается их норма внесения;
- применение в высоких дозах (1-3 т/га) позволяет в достаточно короткий срок увеличить в почве содержание подвижного фосфора в пахотном слое на 40-100 мг/кг и довести его до оптимального уровня;
- не загрязняет токсичными компонентами почвенные воды и водоемы, не оказывает негативного влияния на почвенную среду и растения даже при использовании сверхвысоких доз;
- не вымывается из почвы в течение пяти-семи лет и более [55].

В таблице 3.8 приведены характеристики высокосортной и высококачественной фосфоритной муки с уникальным сочетанием свойств.

Таким образом, можно отметить следующее резкое сочетание агрохимических свойств высокосортной фосфоритной муки:

- высокая реакционная способность фосфоритной муки за счет структуры природных минералов фторапатита и развитой поверхности;
- низкое содержание полуторных оксидов, что предотвращает ретроградацию фосфора в почве за счет образования малорастворимых солей  $FePO_4$  и  $AlPO_4$ ;
- чистота относительно содержания токсичных примесей (тяжелых металлов и мышьяка);
- радиационная чистота.

Фосфоритная мука является самым дешевым, быстропроизводимым, экологически безопасным и в то же время высокоэффективным фосфорным

удобрением на почвах с низкой обеспеченностью фосфором и кислой реакцией среды.

По агрохимической эффективности фосфоритная мука имеет высокие характеристики, особенно на физиологически кислых почвах. Кривая усвояемости  $P_2O_5$  растениями может приближаться к динамике потребности растениями на фазах развития.

Применение высокосортной и высококачественной фосфоритной муки с низким содержанием примесей в пределах норм национального стандарта на улучшенные минеральные удобрения обеспечивает переход от производства массовой сельхозпродукции к улучшенной сельхозпродукции с дальнейшей возможностью целевого перехода к производству органической продукции.

Таблица 3.8. Характеристика высокосортной/ высококачественной фосфоритной муки

№	Показатель	Ед. изм.	Величина	Примечание
1	Массовая доля $P_2O_5$ не менее средний интервал	%	25,0 27-32	
2	Массовая доля полуторных оксидов Не более Средний интервал	%	0,5 0,20-0,40	Минимальное связывание фосфора при растворении фосфорной муки в почве
3	Массовая доля токсичных примесей, не более	мг/кг		
3.1	Кадмий Средний интервал		20 5-15	
3.2	Мышьяк, не более Средний интервал		5 1-2	
3.3	Ртуть, не более Средний интервал		1	
3.4	Свинец, не более Средний интервал		50 10-20	

4	Эффективная (удельная) активность радионуклеидов по ряду U 238 и Th232 Не более Средний интервал	Бк/кг	1000 400-500	Находятся в пределах требований НРБ-99 Au + 1,5 Ath ≤ 1000 Бк/кг СанПин 2.6.1.2523-09
5	Общая удельная поверхность, не менее Средний интервал	м <sup>2</sup> /Г	5 6-15	
6	Доля усвояемых фосфатов (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) от общего содержания, не менее Типичный интервал	%	70 75-80	
7	Доля фосфатов, растворимых в растворе цитрата аммония, от общего содержания не менее Типичный интервал		20,0 22-28	

В общем виде схема перехода может выглядеть следующим образом (схематично показано на рис. 3.19).

В данном алгоритме действий исключается непроизводительный переходный период к производству органической продукции, за счет внесения фосфоритной муки поддерживается плодородие почв и за счет выноса загрязнителей почвы с урожаем реализуется ее биоремедиация.

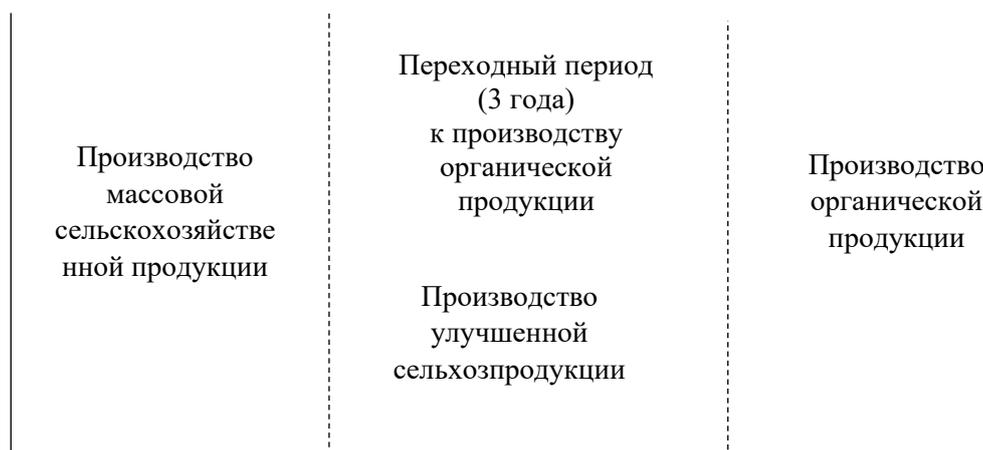


Рисунок 3.19 - Общая схема перехода от производства массовой сельхозпродукции к улучшенной и органической на загрязненных почвах

С применением фосфоритной муки осуществляется бесшовный переход от массового производства сельскохозяйственной продукции к

улучшенной и органической с сохранением рентабельности производства и соблюдением всех экологических требований.

Необходимо отметить наличие в составе высокосортной фосфоритной муки и органического и неорганического углерода. Органический углерод участвует в обменных процессах с органической составляющей почвы. Неорганический углерод в виде анионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$  включается в обменные процессы «почва-корневая часть растения» и влияет на поглощение корнями растений питательных элементов (макро-, мезо- и микроэлементов). Наличие в ризосферной зоне в составе комплекса анионов карбонатов и гидрокарбонатов является важным фактором, поддерживающим оптимальный pH почвенного раствора и регулирующего скорость ионного обмена почвенного раствора с корнем растения. Кроме того, роль карбонатов заключается еще и в связывании избыточных ионов кальция в малорастворимые карбонаты кальция; удаление части кальция из почвенного раствора снижает степень ретроградации фосфора в почвенных растворах.

### ***Фосфогипс***

Плодородные почвы мира часто имеют тяжелый гранулометрический состав. Это обуславливает их склонность к слитизации, осолонцеванию, образованию тупиковых пор, засолению и другим негативным процессам, вытекающим из условий генезиса и факторов текущей эволюции. Мелиорация улучшает условия эволюции почвы с точки зрения питания растений, открывает возможность повысить отклик агрофитоценоза на дополнительное удобрение. Практически все средства химической мелиорации являются одновременно минеральными макро- и микроудобрениями широкого спектра действия [56].

Фосфогипс – один из лучших побочных продуктов химической технологии в фокусе использования в качестве мелиоранта почвы [57-60].

Фосфогипс может использоваться для мелиорации и солонцеватых, и кислых почв путем:

- а) замедления деградации почв;
- б) повышения проницаемости почв, которая может уменьшить поверхностные стоки и эрозию почвы;
- в) повышения усвоения органических веществ и фосфора в почве;
- г) улучшения солевой обработки и выщелачивания, сохраняя влагу в почве, защищая от засухи и заболачивания;
- д) сокращения испарения аммиака в процессе компостирования и повышения эффективности использования азота [Limin Chuan. Применение фосфогипса в сельском хозяйстве в Китае].

Потребность в фосфогипсе по всей России для устранения щелочности и засоленности почвы составляет ~ 3 млн. тонн. [61], уменьшает прочность почвы на сжатие [63], а также улучшает ее структуру. Фосфогипс по своей природе является кислым, его рН варьируется от 1 до 4,5. Поэтому его можно напрямую использовать для предотвращения растрескивания поверхности, снижения липкости на солонцевато-солончаковых почвах и сухих красноземах. Прямое внесение фосфогипса может понизить рН почвы и существенно улучшить её химические свойства. Замена  $\text{Ca}^{2+}$  на  $\text{Na}^{+}$  в почве может превратить глину, насыщенную натрием, в глину, насыщенную кальцием, что повышает водопроницаемость почв и способствует росту растений [64].

Сегодня особо обострилась проблема серного обеспечения сельскохозяйственных культур. За последние десятилетия увеличилась продуктивность злаковых культур, растут площади посевов рапса, сои, бобовых культур – все они являются активными потребителями серы, как источника белковой структуры. Ещё академик Д.Н. Прянишников ставил серу в один ряд с такими элементами питания, как азот, фосфор и калий. Давно состоявшийся переход химической промышленности на выпуск сложных и концентрированных удобрений, не содержащих серу, увеличение

за последние годы поставок минеральных удобрений снизило обеспеченность растений этим элементом питания.

Вынос серы из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур оценивается в 20-50 кг/га в год, вынос из корнеобитаемого слоя – в 20-40 кг/га в год. Обеспеченность плодородных почв РФ подвижной серой низкая на 55% земель и средняя на 35% земель. Более 90% почв нуждаются в применении серосодержащих удобрений [65]. Массовое применение фосфогипса с учетом его доступности в качестве серосодержащего материала может полностью решить проблему недостаточного обеспечения почв подвижной серой.

Действие фосфогипса в дозе 8 т/га изучали при ирригации на каштановой почве в комплексе с солонцами. После внесения мелиоранта количество поглощенного натрия в почве в слое 20-30 см снизилось с 15,1 до 1,7 %; содержание подвижного фосфора (по Мачигину) в слое 0-20 см составило 3,91 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г, а в слое 20-40 см – 2,49 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г. В результате урожайность кукурузы на силос возросла с 26,0 до 33,0 т/га (или на 27 %). [66]. Также эксперименты, проведенные сельскохозяйственными институтами в Китае [67], показали, что фосфогипс существенно увеличил урожайность и плодородность почв (таблица 3.9). Китайская академия сельскохозяйственных наук провела несколько полевых исследований для изучения воздействия внесения фосфогипса в почву на урожай зерновых пшеницы и маиса. Результаты, представленные в таблице 3.10, показали, что при внесении фосфогипса в почву урожайность пшеницы и маиса существенно повысилась [68].

Таблица 3.9. Влияние внесения фосфогипса в почву на рост культур

Культуры	Внесение фосфогипса кг/ 667 м <sup>2</sup> )	Воздействие
Рис	75	Сильные стебли, уменьшилось полегание
Хлопок	150	Листья распускаются быстро, повысилась устойчивость производства хлопка

Соевые бобы	200	Урожайность повысилась на 16%
Ячменный солод	100-300	Урожайность повысилась на 43,3%-50,9%
Грибы	Фосфогипс замещает гипсовый порошок и часть удобрений	Количество увеличилось, цвет улучшился

Таблица 3.10. Влияние внесения фосфогипса в почву на урожайность пшеницы и маиса

Культуры	Типы почв	Количество внесения фосфогипса (кг / 667 м <sup>2</sup> )				
		Контрольный вариант	500	1000	2000	4000
Урожайность пшеницы (кг / 667 м <sup>2</sup> )	Аллювиальная (наносная почва)	218,7	290,0	369,2	377,4	378,4
	Слегка засоленная аллювиальная (наносная почва)	110,1	222,0	351,4	354,8	351,6
Урожайность маиса (кг / 667 м <sup>2</sup> )	Аллювиальная (наносная почва)	420,4	598,0	618,5	612,6	630,2
	Слегка засоленная аллювиальная (наносная почва)	350,4	564,3	570,9	578,4	597,9

Фосфогипс и органоминеральные мелиоративные смеси на его основе можно рассматривать как кальциевое, серное, кремниевое удобрение и источник микроэлементов [69].

При внесении 1 т/га фосфогипса нейтрализованного в качестве многокомпонентного удобрения в почву поступает (кг): Са – 265, S – 215, Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> – 20 и SiO<sub>2</sub> – 9,8 [70]. Кальций и сера могут способствовать образованию корневых клубеньков бобовых растений, в частности овощей. Широкое применение фосфогипса может сэкономить много ресурсов серы и кальция, он может быть полезным удобрением при внесении в почвы с дефицитом фосфора [26]. При внесении фосфогипса на соевые бобы, в количестве не более 50 кг/667 м<sup>2</sup>, урожайность повысилась на 12 ~ 19 %. Подобным образом в случае с семенами рапса и кунжутом внесение

мелиоранта 30~50 кг/667 м<sup>2</sup> привело к увеличению урожайности на 15% [71]. Исходя из результатов полевого опыта, проведенного на чернозёме выщелоченном с высоким содержанием карбонатов возможна оптимизация системы удобрения сельскохозяйственных культур путём внесения фосфогипса в дозе 4 т/га. После его внесения, в сравнении с контролем, содержание подвижного фосфора в почве под соей в фазе 4-5-ти листьев увеличилось на 18-23 %, в фазе бутонизации – на 4-26 %, в фазе полной спелости – на 17-28 %; а в почве под кукурузой в фазе 4-5-ти листьев – на 6-14 %, в фазе цветения – на 3-8 % и в фазе полной спелости – на 12-26 %.

Внесение в почву фосфогипса, апатита и сульфата калия усиливало всхожесть семян и развитие корневой системы проростков, увеличивало содержание кальция и кремния в стеблях, а также содержание сульфатной серы в зерне озимой пшеницы и овса. [72]. Фосфогипс повышает качество компоста, предотвращая потерю аммиака, усиливая активность микрофлоры, снижая численность гельминтов, ослабляя минерализацию навоза и органического вещества почвы. Мелиоранты и компосты дают удобрительный эффект, обеспечивая химическую фиксацию азота и других ингредиентов органического вещества. [73,74]. За счет применения фосфогипса на черноземах обыкновенных прибавка урожайности зерна кукурузы и корнеплодов сахарной свеклы составила 11 % [75,76]. В результате использования такого компоста усиливается кущение пшеницы (на 21%) и снижается засоренность посевов. При этом можно снизить норму высева на 20%. Кроме того, наблюдалось повышение качества зерна озимой пшеницы: увеличилось содержание белков, углеводов, провитамина А, витаминов группы В, аминокислот, растворимых полисахаридов и микроэлементов [77, 78].

В серии исследований за счет внесения фосфогипса в почву численность микроорганизмов, усваивающих органические формы азота, увеличилась на 10 %, количество микроорганизмов, ассимилирующих минеральный азот, – на 8 %, актиномицетов – на 11 %,

целлюлозоразрушающих микроорганизмов (в основном, за счет рода *Pseudomonas*) – на 16 %, число колоний азотобактера – на 8% [79]. Вместе с этим, фосфогипс может не только оказывать влияние как удобрение, но и тормозить активность почвенных бактерий и уменьшить количество случаев корневой гнили капусты [80]. Фосфогипс применяют для производства медленно действующего азотного удобрения. Азотные удобрения, карбамид или карбонат аммония, при смешивании с фосфогипсом могут работать в почве как медленно действующие удобрения. Исследования медленно действующих азотных удобрений показали, что фосфогипс может абсорбировать ионы аммония, тем самым понижая скорость нитрификации в почве и снижая потери азота путем испарения аммиака более, чем на 13%. Карбамид или бикарбонат аммония в смеси с фосфогипсом (1:1~2) могут создать медленно действующее азотное удобрение по сравнению с равным количеством азота, вносимого с карбамидом или карбонатом аммония, и повысить урожайность на 13~14 % [81].

Глубокий и детальный обзор эффективности применения фосфогипса в земледелии на различных типах почв и под различные сельскохозяйственные культуры дан Калиниченко В.П. [82]. Так, относительно применения фосфогипса в качестве многокомпонентного удобрения, приведены убедительные данные о том, что при внесении нейтрализованного фосфогипса в почву в дозе около 1 т/га в почву поступает (кг): кальция–265; серы–215; фосфора (в расчете на  $P_2O_5$ ) – 20 и кремния (в расчете на  $SiO_2$ ) – 9,8 [83]. При системе удобрения риса  $N_{120}P_{80}K_{60}$  внесение в основной прием 4 и 6 т/га фосфогипса обеспечивает такой же уровень фосфора в лугово-черноземной почве и растениях, как и внесение 150 кг/га аммофоса. Урожайность риса за счет внесения фосфогипса при этом увеличилась на 0,57 т/га или 9% в 2013 году. Варианты питания растений  $N_{120}P_{80}K_{60}$  и  $N_{120}K_{60}$  + 4 т/га фосфогипса были практически идентичны по степени действия на азотный, фосфорный и калийный режим почвы.

Фосфогипс используют для защиты почв и водоемов. Образование корки (заиливания) на поверхности почвы во время ливневых дождей снижает впитывание ливневых вод и приводит к увеличению стоков и эрозии почвы. Было обнаружено, что нанесение на поверхность растворенного полиакриламида в смеси с гипсом очень эффективно для снижения образования корки (заиливания), стоков с почвы и эрозии [84]. Показана возможность рекультивации загрязненных нефтью почв с использованием фосфогипса [85]. При среднем нефтяном загрязнении сельскохозяйственных земель (до 15-16 л нефти/м<sup>2</sup>) рекультивацию верхнего слоя почвы можно провести без вывоза загрязненного грунта с использованием мелиоранта и органических удобрений. Концентрация нефтепродуктов в течение 1 года снижается в 70-80 раз. На 3-й год на сильно загрязненном нефтепродуктами участке всхожесть семян озимой пшеницы была аналогичной незагрязненной почве. Проростки в варианте совместного внесения перегноя и фосфогипса имели лучшую жизнеспособность.

Экологические аспекты для почвы и безопасности культур, связанная с фосфогипсом показаны в работе Wang et al. [86]. Были проведены вегетационные опыты, использовали однофакторный индекс и синтезированные методы числового индекса Н.Л. Немерова для оценки и анализа изменений показателя загрязнения тяжелыми металлами (Cd, Hg, Pb, Cr, As) в результате внесения фосфогипса в почву. Результаты показали, что биологическое производство и урожайность зерна соевых бобов при внесении небольшого количества фосфогипса были относительно высокими. Следовательно, внесение фосфогипса не вызывает загрязнения почвы тяжелыми металлами. Однако, норма внесения фосфогипса должна определяться ежегодно. При норме внесения 3 тонны фосфогипса на гектар индекс тяжелых металлов в зернах соевых бобов находился в допустимом диапазоне.

Большое количество полевых экспериментов с фосфогипсом проводилось Китайской Академией сельского хозяйства для того, чтобы

проанализировать накопление вредных элементов в зернах пшеницы (Таблица 3.11). Общее содержание фтора составило 635,6 мг/ кг, а растворимого в воде фтора 5-,5 мг/кг. При внесении фосфогипса содержание фтора в зернах пшеницы увеличилось, но продолжало находиться в допустимом диапазоне. Рекомендуемое количество фосфогипса составило 100 ~ 200 кг/ 667 м<sup>2</sup>. Растворимый в воде фтор в почве будет осаждаться Са<sup>2+</sup> и прочими катионами и будет контролировать загрязнение [87]. Фосфогипс – безусловно ценный для почвенного плодородия ресурс; его системное применение позволит увеличить потенциал обрабатываемых сельскохозяйственных угодий и вовлечь в эффективное земледелие миллионы гектаров, которые в настоящее время простаивают.

Таблица 3.11. Воздействие внесения фосфогипса на содержание фтора, ртути и мышьяка (мг/кг) в зернах пшеницы

Загрязняющий элемент	Контролирующий стандарт	Дозировка фосфогипса (кг/ 667 м <sup>2</sup> )				Оценка загрязнения
		Контрольный образец	1000	2000	4000	
Фтор	< 5.000	1.899	2.092	2.903	3.540	Отсутствие загрязнений
Мышьяк	<0.700	0.063	0.063	0.063	-	Отсутствие загрязнений
Ртуть	<0.020	0.004	0.005	0.006	-	Отсутствие загрязнений

Поэтому в интересах устойчивого развития сельского хозяйства необходимо разрабатывать и внедрять в производство комплексы мероприятий по восстановлению и поддержанию плодородия нуждающихся в мелиорации почв.

### 3.3. Углерод - фактор сохранения плодородия почв

Для сохранения длительного плодородия почв и поддержания правильной пропорции между почвенными микроорганизмами и грибами в корневой зоне необходимо выдерживать необходимое соотношение углерода к азоту C:N = 25:1. Это среднее соотношение близко к оптимальному и

обеспечивает сбалансированное состояние органической и минеральной частей почвы и поддержание ее плодородия и биоразнообразия.

Соотношение углерода к азоту в почве можно менять с помощью культур, входящих в севооборот и с помощью азотных удобрений. Каждая культура оставляет после себя пожнивные остатки с разным соотношением углерода к азоту.

Отрицательный эффект падения урожайности сельскохозяйственных культур в переходный период от традиционной агротехнологии на органическое производство связан не только с отсутствием минерального питания, но и из-за нарушения баланса углерода и азота. При отсутствии внесения азотных удобрений в почву с растительными остатками поступает дополнительный органический углерод. Поэтому микроорганизмы и ризосферные грибы начинают поглощать азот из почвы и постепенно соотношение углерода и азота выравнивается с близким к оптимальному соотношению, но на более низком уровне.

Для поддержания оптимального соотношения углерода и азота в почве применяют ряд агротехнических приемов:

1. щадящая механическая обработка почвы без переворота пласта для предотвращения прямого контакта органической составляющей почвы с кислородом воздуха и улетучивания углерода в виде  $\text{CO}_2$ , что увеличивает и климатическую нагрузку;
2. точное внесение азотных удобрений в сочетании с азотфиксирующими растениями с исключением залповых доз азота;
3. наличие паров в севообороте для восполнения органического углерода за счет растительных остатков;
4. посев покровных культур в промежутке между продуктивным сельским хозяйством. Сохранение углерода обеспечивается за счет дополнительного внесения органического вещества и предотвращения эрозии почв, за счет которой происходит унос или смыв плодородного слоя;

5. внесение органических удобрений и оставление растительных остатков для пополнения запасов органического углерода в почве.

Внесение органических удобрений в виде компоста, перегноя, навоза и так далее будет увеличивать содержание углерода в почве при условии, что почва не будет обрабатываться.

Органический углерод и гломалин, который вырабатывается микоризой, участвует в создании структурных агрегатов почвы. Такая структурированная почва напоминает губку, она отлично впитывает в себя влагу. Один процент органического углерода в почве способен удерживать до 200 тонн воды на гектар. Особенно повышение органического углерода в почве актуально для степных зон и для легких песчаных и тяжелых глинистых почв. Также структурированная почва с помощью гламолина и с помощью углерода меньше подвержена ветровой и водной эрозии.

Следующей важной функцией углерода в почве является то, что углерод – это источник питания для микроорганизмов. Чем более разнообразен состав культур в севообороте и покровных культур, тем более разнообразную почвенную биоту можно накормить. Растения через грибы и бактерии получают и питание в виде микро- и макроэлементов в дополнительную влагу с более глубоких слоев. Чем более разнообразная популяция микроорганизмов, тем меньше в этом общем пироге содержится патогенной микрофлоры, то есть растения в такой почве меньше болеют грибковыми заболеваниями.

В таблице 3.12 приведены усредненные данные по выделению диоксида углерода при различных агротехнологиях.

Таблица 3.12. Влияние агротехнологий на выделение диоксида углерода

Агротехнический прием	Тонн CO <sub>2</sub> / га/ год	МТС/ га/ год
No-till	1,12 – 2,5	0,30 – 0,70
Исключение летнего пара	0,4 – 1,12	0,10 – 0,35
Использование покровных культур	0,4 – 1,12	0,10 – 0,35

Управление пастбищными землями	0,13 – 0,2	0,03 – 0,07
--------------------------------	------------	-------------

Таким образом, внедрение устойчивых методов ведения сельского хозяйства, направленных на снижение выбросов парниковых газов и депонирование почвенного углерода в растениеводстве, может стать одним из наиболее выгодных способов остановки глобального потепления.

#### **4. ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ЗЕЛЕНАЯ» ПЛАТФОРМА**

##### **4.1. Оптимизация потребительских свойств удобрений**

В развитие цепочки производства и применения удобрений повышенной эффективности ведущими компаниями вносятся изменения в технологические схемы производства.

На рисунке 4.1 показан общий профиль требований в разработке новых и трансформации применяемых в сельском хозяйстве минеральных удобрений.

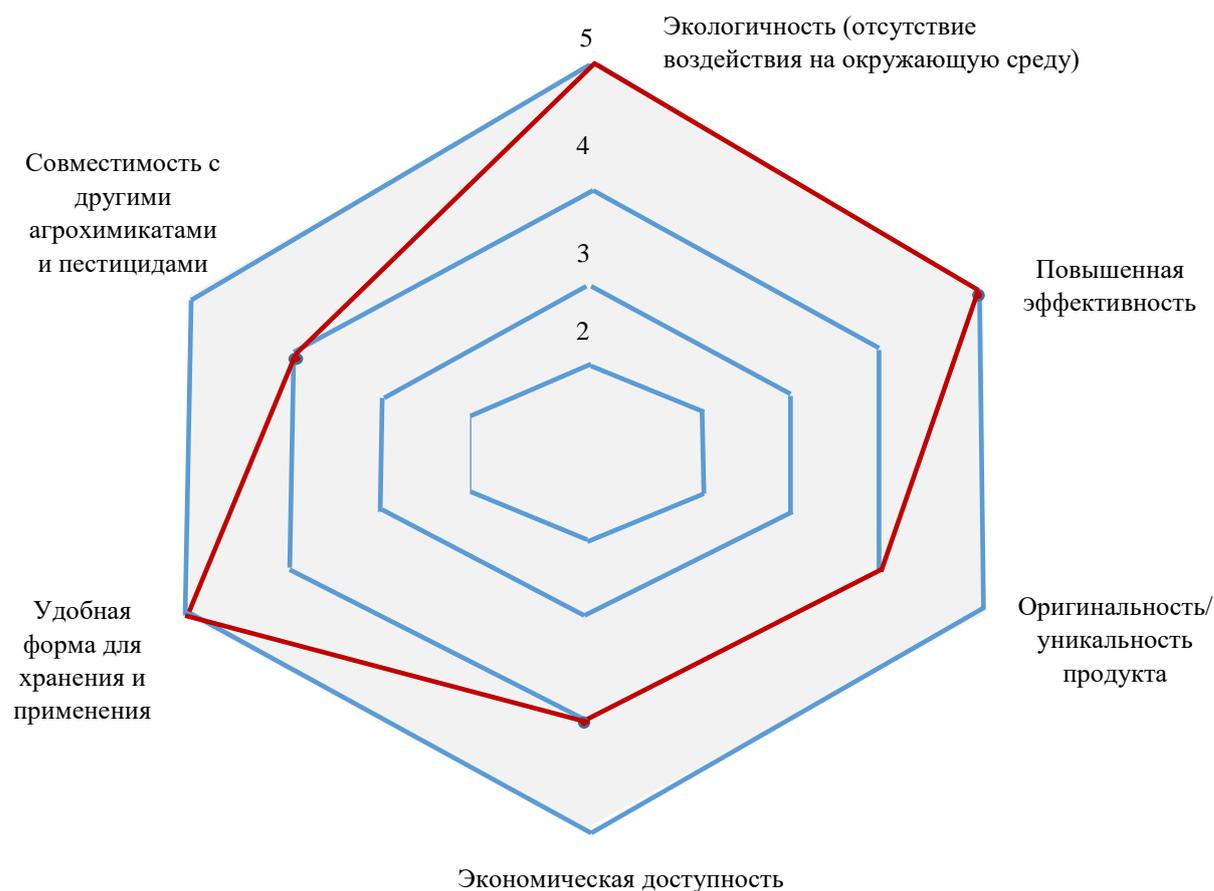


Рисунок 4.1 - Профиль требований к разработке новых и трансформации применяемых в сельском хозяйстве минеральных удобрений

Эти изменения направлены на снижение экологического воздействия производства и следа товарных удобрений и на улучшение потребительских свойств удобрений. Отметим наиболее значимые из них:

- замена карбамидформальдегидного концентрата на другие добавки с высокими связующими свойствами;
- снижение выбросов пыли аммиака;
- получение комбинированных удобрений карбамид с серой Urea-S с суммарным содержанием питательных веществ 53%, в том числе азота – 40%, серы – 13% (рис. 4.2).
- гранулы карбамида с пониженным следом по эмиссии оксидов азота, в том числе закиси азота как парникового газа.

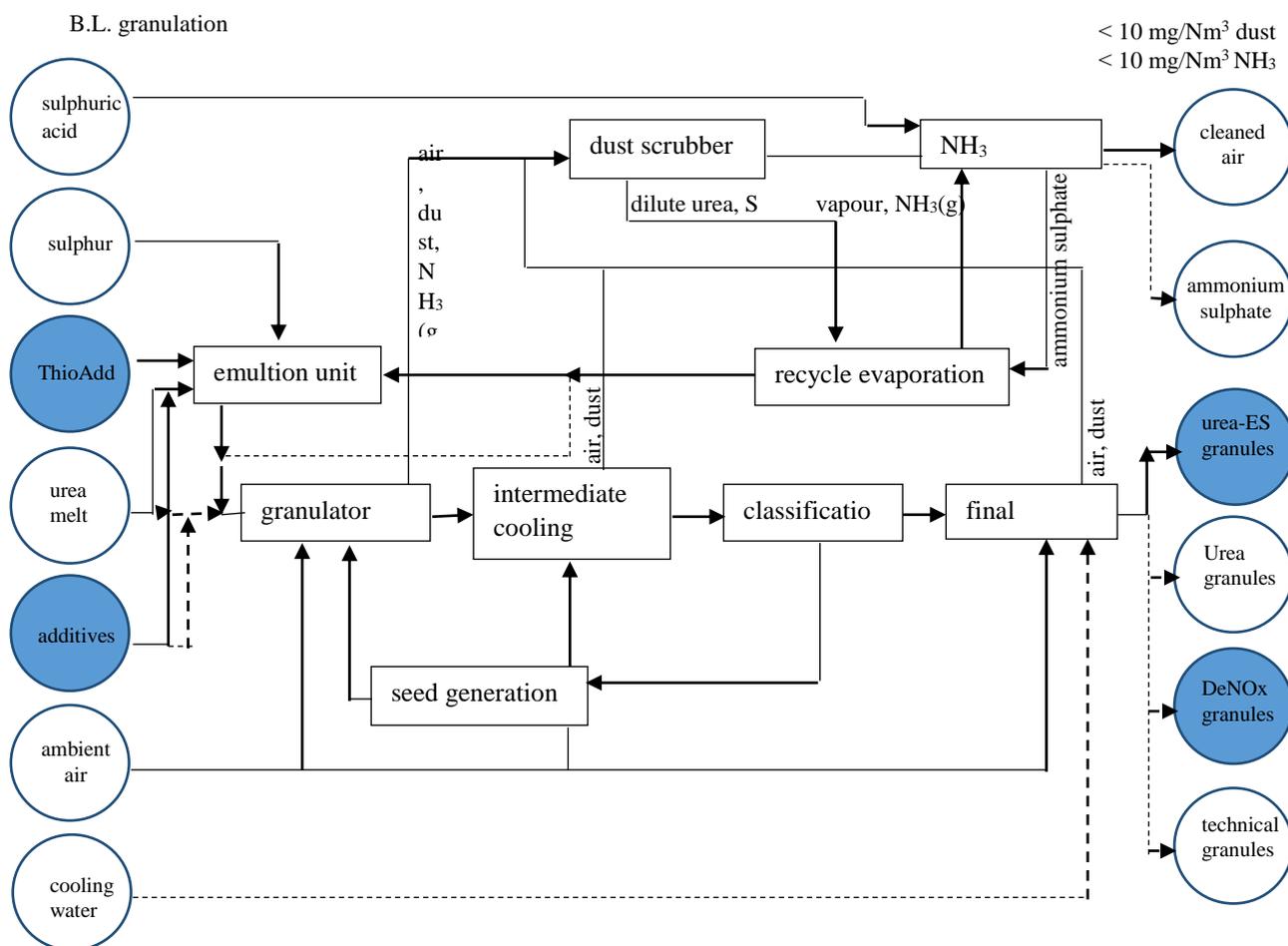


Рисунок 4.2 - Усовершенствованная технологическая схема получения удобрений на основе карбамида [28]

Особое внимание эффективности использования азота в производстве минеральных удобрений и сельском хозяйстве связаны с выходом за планетарные границы равновесия по биогеохимическому циклу азота (рис. 4.2).

Определенная взаимосвязь есть и с утратой биоразнообразия за счет интенсивной деятельности человека, в том числе в сельском хозяйстве и производстве продуктов питания.

Поэтому повышению эффективности и производства азотсодержащих удобрений и их применения в сельском хозяйстве уделяется все возрастающее внимание.

Для повышения эффективности минеральных фосфорсодержащих (сложных и комплексных удобрений в гранулированном и жидком виде)

также применяются особые средства и добавки одним из инновационных решений является использование протектора (компонента защиты) от ретроградации фосфора в почве. Протектор вводится непосредственно в объем гранулы фосфорсодержащего удобрения и препятствует связыванию фосфора с катионами железа, кальция и аммония, сохраняя подвижную форму фосфора. Протекторы содержат серу в органической форме, органические кислоты, которые при переходе в почвенный раствор образуют устойчивые органические соединения и агломераты, удерживающие фосфор в усвояемой для растений форме. Кроме того, такая форма удобрений с протектором насыщает фосфором корневую зону растений, не позволяя фосфору мигрировать в глубокие неплодородные слои почвы и связываясь там в малорастворимые неорганические соли или иммобилизуясь почвенным комплексом. Напротив, наличие органических веществ в составе удобрений с протектором вытесняет фосфор из малорастворимых соединений в почве, сдвигая равновесие в сторону кислото- и водорастворимых форм фосфора. Наличие органических соединений промотирует также процесс перехода в усвояемой форме микроэлементов в почвенный раствор и их усвоение растениями.

В целом при подборе состава удобрений необходимо учитывать химические свойства макро- и микроэлементов, в часть которых выступает в реакции друг с другом, с образованием малорастворимых соединений.

В сводном виде антагонизм и синергизм макро- и микроэлементов приведен в таблице 4.1 [29].

Таблица 4.1

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Si	Cl	Na	B	Mn	Cu	Zn	Mo	
N		S	S	S	S										S	АЗОТ
P	S			B			B					B		B		ФОСФОР
K	S			A	A		S/B			A						КАЛИЙ
Ca	S	B	A		A		A			A	B	B	B	B		КАЛЬЦИЙ
Mg	S	B	A	A						A						МАГНИЙ
S									A							СЕРА
Fe		B	S/B	A								A	A	A		ЖЕЛЕЗО
Si						A										КРЕМНИЙ
Cl																ХЛОР
Na			A	A	A											НАТРИЙ
B				B												БОР
Mn		B		B			A							A		МАРГАНЕЦ
Cu				B			A								A	МЕДЬ
Zn		B		B			A					A				ЦИНК
Mo	S												A			МОЛИБДЕН

**A:** АНТАГОНИСТЫ (ИЗБЫТОК ОДНОГО ПРИВОДИТ К ДЕФИЦИТУ ДРУГОГО)  
**B:** БЛОКИРУЮТ ДРУГ-ДРУГА (НЕЛЬЗЯ ВНОСИТЬ ВМЕСТЕ)  
**S:** СИНЕРГИСТЫ (ПОМОГАЮТ ДРУГ-ДРУГУ)

Для сохранения качества сельскохозяйственных почв и исключения их дорогостоящего преимущественно частичного восстановления необходимо использовать улучшенные минеральные удобрения, доминирующая доля которых в мире производится из фосфатного сырья осадочного происхождения с высоким содержанием мышьяка, тяжелых и радиоактивных металлов. Для производства улучшенных минеральных удобрений также требуется дополнительное аппаратно-технологическое оформление и расход сырья, материалов и энергоресурсов для иммобилизации или снижения содержания токсичных примесей ниже соответствующих пороговых значений. Это требует соответствующих капитальных и операционных затрат, что показано далее на примере декадмирования.

Формирование требований к качеству минеральных удобрений с точки зрения их экологической безопасности вписывается в общую тенденцию обеспечения эффективности и безопасности агрохимикатов при сохранении

природного биоразнообразия и агроландшафтов. Эти тенденции можно обобщить следующим образом:

1. Сокращение потерь питательных элементов с одновременным снижением нагрузки на окружающую среду за счет применения современных добавок (ингибиторы уреазы, ингибиторы нитрификации) для удобрений, содержащих азот в амидной и нитратной формах (карбамид, аммиачная селитра и ее модификации, нитро- и азофоски);

2. Увеличение области применения водорастворимых удобрений (водорастворимые моноаммонийфосфат, монокалийфосфат, фосфат карбамида, водорастворимые NPK-удобрения, нитраты кальция и калия, сульфат калия и др.). К водорастворимым удобрениям исторически предъявлялись более жесткие требования по физико-химическим показателям по сравнению с гранулированными, поэтому расширение их применения отвечает тенденции ужесточения требований к их экологической и агрохимической эффективности применения;

3. Удобрения с управляемой скоростью выделения питательных веществ, пролонгированного действия и других оптимизирующих трансляцию питательных веществ от удобрения к растению.

Схематично новые тенденции в отрасли минеральных удобрений приведены на рисунке 4.3.

В вышедшем в 2014 году обзоре польских авторов [88], посвященном экономическим и экологическим аспектам декарбонизации, отмечается, что технологии снижения концентрации кадмия в минеральных удобрениях хорошо известны, но за последние тридцать лет не наблюдалось существенного прогресса в этой сфере. Это, по мнению авторов, связано с тем, что, помимо повышения цен на сырье и производимые из него минеральные удобрения, до настоящего времени не было спроса на такие решения, что могло бы быть следствием, в числе прочего, существовавших правовых норм, а также отсутствия стимула в виде грантов для проведения исследований в области методов декарбонизации. Кроме того, отмечается

необходимость оценки жизненного цикла для представленных решений, а также появление обновленной информации о затратах на внедрение отдельных технологий: существующие оценки основаны главным образом на данных 20-летней давности.



Рисунок 4.3 - Новые вызовы и перспективные направления развития продуктового ряда агрохимикатов

Тем не менее, в преддверии ввода нормативов содержания кадмия в фосфорсодержащих удобрениях в ЕС вновь после 80 – 90-х гг. прошлого века возрос интерес к разработкам по декадмиранию на различных стадиях – от производства фосфатного сырья до финальных стадий производства фосфорсодержащих удобрений.

Известная инжиниринговая компания Outotec (Германия) разработала термический процесс удаления кадмия из первичного фосфатного сырья или вторичных ресурсов (рис. 4.4).

Основой процесса является обжиг фосфорсодержащего сырья в аппарате кипящего слоя при температурах около 800 °С и технология рециркуляции фоссырья AshDec [89].

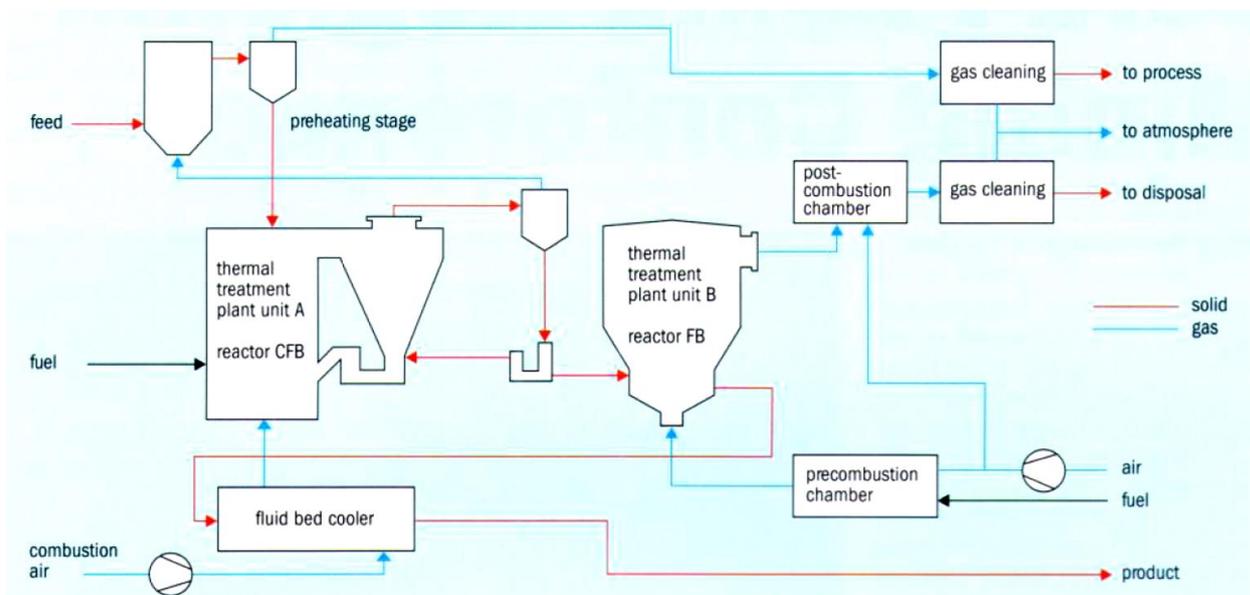


Рисунок 4.4 - Новый термический процесс Outotec для декадмирования фосфатного сырья или вторичных фосфорсодержащих ресурсов [3]

Операционные затраты на удаление Cd составляют около 20 евро/т для условного фосконцентрата с содержанием  $P_2O_5$  33%. Процесс особенно эффективен для сырья с высоким содержанием органических соединений и карбонатов, поскольку удаляет эти нежелательные примеси наряду с кадмием и другими летучими тяжелыми металлами. Одновременно с этим возрастает содержание  $P_2O_5$  в получаемом фосконцентрате и снижается пенообразование при дальнейшем получении фосфорной кислоты.

Нагревание фосфатного сырья до 800 °C требует дополнительных энергозатрат, однако комплексная оценка жизненного цикла технологии показывает, что преимущества данного процесса, а именно снижение концентрации кадмия в получаемых удобрениях, компенсируют последствия высокого расхода энергии. Единственным недостатком процесса можно считать сокращение площади поверхности получаемого фосконцентрата вследствие кальцинации.

Капитальные затраты на создание крупнотоннажной установки удаления кадмия из фосфатного сырья или вторичных фосфорсодержащих материалов по способу Outotec разработчик указанной технологии не раскрывает. Однако с учетом использования интенсивных высокопроизводительных аппаратов кипящего слоя можно сделать оценку,

что основные капитальные затраты будут приходиться на подготовительные и санитарные стадии процесса, прежде всего, установки газоочистки от пыли (сухая очистка) и выделяющихся фторсодержащих газов (мокрая очистка). Дорогостоящими также будут динамическое оборудование (нагнетатели для аппаратов кипящего слоя, вентиляторы) и холодильники для охлаждения термически обработанного фосфатного сырья.

Капитальные затраты на создание линии термического декадмирования фосфатного сырья по способу Outotec мощностью 1 млн т/год могут составить 50 – 70 млн долларов США.

По сравнению с другими процессами декадмирования, указано, что описываемая технологическая схема дает меньше отходов (в виде сухого кадмиевого концентрата), а оснащение процесса селективной высокотемпературной фильтрацией открывает возможности для дальнейшего снижения уровня выбросов отходов. В работе не описан алгоритм утилизации и класс опасности Cd-содержащих остатков и их пригодность для дальнейшей промышленной переработки, например, для выделения кадмия или его соединений.

Соответственно, без понимания выхода, состава и токсикологической опасности Cd-содержащих остатков невозможно провести полный экономический анализ операционных затрат на декадмирование фосфатного сырья.

В работе [90] проведен сравнительный анализ процессов декадмирования фосфатного сырья и продуктов его кислотной переработки, прежде всего, фосфорной кислоты, получаемой методом сернокислого вскрытия фосфатного сырья с образованием различных кристаллогидратов сульфата кальция. Ниже рассматриваются основные методы декадмирования, имеющие перспективы промышленного внедрения.

**Сокристаллизация кадмия с сульфатом кальция** в технологическом процессе производства экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК). Метод опробован в лабораторном и микропилотном масштабе с определением

достижимого содержания Cd в продукционной фосфорной кислоте и оценкой приведенных затрат на декадмирование. В приведенной таблице 4.2 из источника [91] показана достижимая концентрация кадмия в фосфорной кислоте на уровне <10 мг Cd/кг Р или в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> <5 мг Cd/кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Таблица 4.2. Сравнительный анализ технологий декадмирования

	Этап разработки				Достижимая концентрация, мг Cd/кг Р	Остаток <sup>1</sup>	Издержки <sup>2</sup> , долл. США/т P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Лаборатория	Микро-пилот	Пилот	Полупроизводственная установка			
Термическая обработка сырья	Да	Да	<5 лет	10 лет?	~ 60	Твердый 0.1 – 0.5% Cd	30 (350 000 т/год)
Сокристаллизация	Да	Да	<5 лет	10 лет?	<10	Твердый 0.1 – 0.5% Cd	6
						Металлический кадмий (95%)	9
Осаждение сульфид-ионом	Да	Да	Да	<5 лет Уже используется для кормовых фосфатов, 100 000 т P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<30 (фактический уровень зависит от количества сульфида)	Твердый <sup>3</sup> <1% Cd	30
Экстракция	Да	Да	Да	<5 лет Уже используется для кормовых фосфатов, 60 000 т P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<5	Фильтрат/концентрат <sup>3</sup> (30-60% Cd)	32
Ионный обмен	Да	Да	Да	<5 лет	<5	Твердый <sup>3</sup> 5 – 10% Cd	30

Примечания: <sup>1</sup> в общем случае, чем ниже содержание кадмия в остатке, тем больше объем этого остатка; <sup>2</sup> издержки включают в себя капитальные и операционные расходы для производства мощностью 150 000 т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/год (если не указано иное); <sup>3</sup> возможно извлечение кадмия из остатка при дополнительных издержках.

Привлекательность этого метода определяется отсутствием изменения типовой технологической схемы производства ЭФК, использования дополнительных реагентов и энергоресурсов.

Однако необходимо детальное изучение метода и его адаптация к существующей технологии ЭФК различными методами: одностадийными – дигидратным и полугидратным, двухстадийными – дигидрат-полугидратным, полугидрат-дигидратным. При этом могут выявляться тонкости и ограничения применимости метода сокристаллизации для различных видов фосфатного сырья и условий его переработки. В зависимости от аппаратурно-технологической схемы и времени пребывания пульпы с осадком сульфата кальция в экстракторе степень перехода кадмия в осадок может сильно варьироваться. На рис. 4.5 показаны (качественно) кинетические кривые осаждения и окклюзии Cd с осадком сульфата кальция.

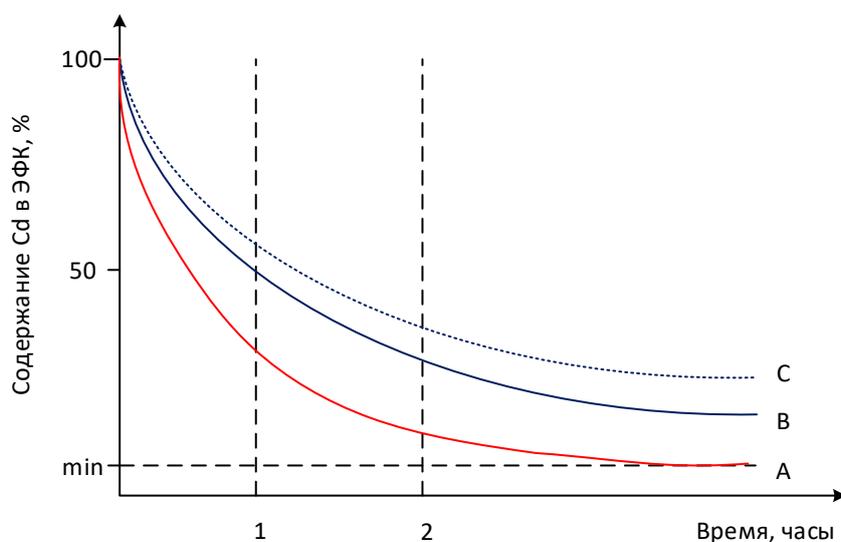


Рисунок 4.5 - Кинетические кривые сокристаллизации Cd с осадком  $\text{CaSO}_4$ , представленные в виде снижения содержания Cd в продукционной ЭФК

Вертикальными линиями условно представлено различное время пребывания пульпы и твердой фазы осадка гидратов сульфата кальция в экстракторе. Можно видеть, что в случае короткого времени пребывания в экстракторе (вертикальная линия 1) выделение Cd с осадком из жидкой фазы может находиться далеко от минимально допустимой равновесной

концентрации и не обеспечивать целевого безопасного уровня кадмия в ЭФК и далее в сложных фосфорсодержащих удобрениях.

В работе [92] показаны результаты распределения кадмия между жидкой фазой (ЭФК) и осадком для полугидрат-дигидратного процесса оригинальной разработки Hydro Agri. На стадии разработки процесса была исследована кинетика и термодинамика сокристаллизации Cd с различными кристаллогидратами сульфата кальция (дигидратом – ДН, полугидратом – НН, ангидритом – АН) и выведено соотношение предельно допустимых (максимальных) концентраций Cd в указанных формах сульфата кальция: ДН : НН : АН = 1 : 4 : 200. Таким образом, наибольшая степень сокристаллизации характерна для ангидрита ( $\text{CaSO}_4$ ), но ангидритный способ в промышленности не используется.

Кинетика сокристаллизации Cd с дигидратом и полугидратом  $\text{CaSO}_4$  определяется условиями ведения процесса (температура, концентрация, отношение жидкой и твердой фаз в пульпе), физико-химическими показателями перерабатываемого фосфатного сырья, минеральный и химический состав, длительность, реакционность, содержание инертных и органических соединений и компонентным составом жидкой фазы пульпы. На распределение кадмия между жидкой и твердой (осадком) фазами значительное влияние оказывают ковалентные взаимодействия (ионы с близкими характеристиками, например,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ , конкурирующие за внедрение в кристаллическую решетку кристаллогидрата  $\text{CaSO}_4$ ).

Таким образом, в наиболее распространенных в мировой промышленности одностадийных способах получения ЭФК (ДН и НН) снижение содержания кадмия в ЭФК может исчисляться единицами или первыми двумя десятками процентов, что нельзя признать эффективным способом снижения содержания Cd.

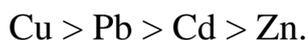
Второй вопрос, который возникает при анализе указанного способа, - дальнейшее обращение с фосфогипсом (ДН) или фосфополугидратом (НН).

Согласно лабораторным тестам, содержание кадмия в осадках ДН и НН составляет 0.1 – 0.2%. Форма и свойства Cd в соединении не приводятся.

Из литературы, однако, известен способ очистки вод, загрязненных тяжелыми металлами, с помощью фосфатного сырья [93]. Авторами изучена кинетика процесса удаления катионов  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  из водных растворов природным фторапатитом. В результате проведенных исследований сделан вывод, что сорбция протекает в две стадии:

1. Быстрое поверхностное комплексообразование на активных центрах сорбента;
2. Медленное формирование и осаждение фосфатов данных металлов.

Эффективность адсорбции меди, свинца, кадмия и цинка на апатите убывает в ряду:



Эти данные позволяют получить некоторое представление о природе процессов, протекающих в подобных системах.

Наличие даже небольших концентраций Cd и даже в малорастворимой форме накладывают определённые ограничения на дальнейшее обращение с ДН/НН:

- При их размещении на объектах хранения отходов необходимы дополнительные меры на очистку сточных вод от кадмия, а с учетом жесткой нормы содержания Cd в поверхностных водах (например, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует ограничить концентрацию кадмия в питьевой воде до 0.003 мг/л [7]; в США MCL Cd (Maximum Contaminant level, максимальная концентрация загрязнителя) не более 0.005 мг/л [93]) создается значительная проблема для обеспечения безопасного содержания Cd в сточных водах. Для обычно применяемых биологических способов очистки кадмий будет представлять реальную угрозу гибели полезных микроорганизмов.

- Необходимы также дополнительные меры защиты от ветрового уноса пыли с полигона при сухом способе складирования, так как пыль будет

представлять опасность загрязнения поверхностного слоя почвы. При эксплуатации гипсонакопителей с жидкостным способом удаления ДН/НН невыясненными являются вопросы накопления Cd в циркулирующей воде, загрязнения кадмием водного цикла предприятия, а также полупродуктов и продуктов производства. Для этого необходимы полноценная длительная наработка данных в условиях реального производства, которая к настоящему времени отсутствует.

Поэтому оценки приведенных затрат (удельные капитальные + операционные для условного производства ЭФК мощностью 150 тыс. т  $P_2O_5$ /год) в размере 6 – 9 долл./т  $P_2O_5$  на декадмирование ЭФК методом сокристаллизации (таблица 2) представляются явно заниженными.

Операционные затраты кроме затрат непосредственно в процессе декадмирования будут включать:

- Спецобработку избыточных или сточных вод с доведением концентрации Cd до предельно жестких нормативов поверхностных вод.
- Затраты на мероприятия по дополнительной защите объекта размещения фосфогипса от пылеуноса и загрязнения прилегающей территории;
- Затраты на обработку технологического автотранспорта при сухом удалении фосфогипса с промышленной площадки до отвала с целью исключения загрязнения кадмием территории промплощадки;
- Затраты на постоянный инструментальный мониторинг загрязнения кадмием с целью определения и устранения источника загрязнения и сбора доказательной базы об отсутствии загрязнения.

Для направлений использования или проработки фосфогипса наличие кадмия даже в прогнозируемых незначительных концентрациях также представляет значительный барьер:

- Прямое внесение фосфогипса с кадмием на сельскохозяйственные угодья практически исключается с учетом высоких

доз внесения (при мелиорации – 5 – 10 т/га) и риском накопления кадмия в почве;

- При производстве гипсовых вяжущих кадмий будет изменять их свойства, прежде всего, сроки схватывания и практически полностью переходить в гипсовое вяжущее и строительные материалы из него, что существенно ограничит области применения подобных строительных материалов.

В Центре изучения и исследования фосфатных минералов (CERPHOS, Centre d'Etudes et de Recherches des phosphates Mineraux, Марокко) разработан процесс, основанный на сокристаллизации кадмия с ангидритом. Данный метод декадмирования отвечает требованиям экологической безопасности, поскольку предусматривает дальнейшее декадмирование гипса и получение кадмия в металлической форме (рисунок 4.6). Капитальные затраты оцениваются в суммы от нескольких десятков до сотен миллионов долларов при операционных затратах в районе 6 – 9 долл./т  $P_2O_5$ . [94]

В сводном отчете ИФА по проблеме образования и применения фосфогипса в мировой отрасли фосфорных удобрений [95] значительное внимание уделено радиационной безопасности применения фосфогипса на основе систематизированных данных международного агентства по атомной энергетике [96]. Аналогичная по системности информация о содержании тяжелых металлов, прежде всего, кадмия в фосфогипсе, к сожалению, отсутствует.

В отчете ИФА [95] указано, что тяжелые металлы, как правило, склонны концентрироваться в частицах фосфогипса менее 20 мкм. Также со ссылкой на проведенные отдельные исследования сообщается, что регулированием процесса сернокислотного разложения концентрация кадмия может быть снижена до  $<5$  ppm, при этом весь кадмий сконцентрируется в продукционной фосфорной кислоте.

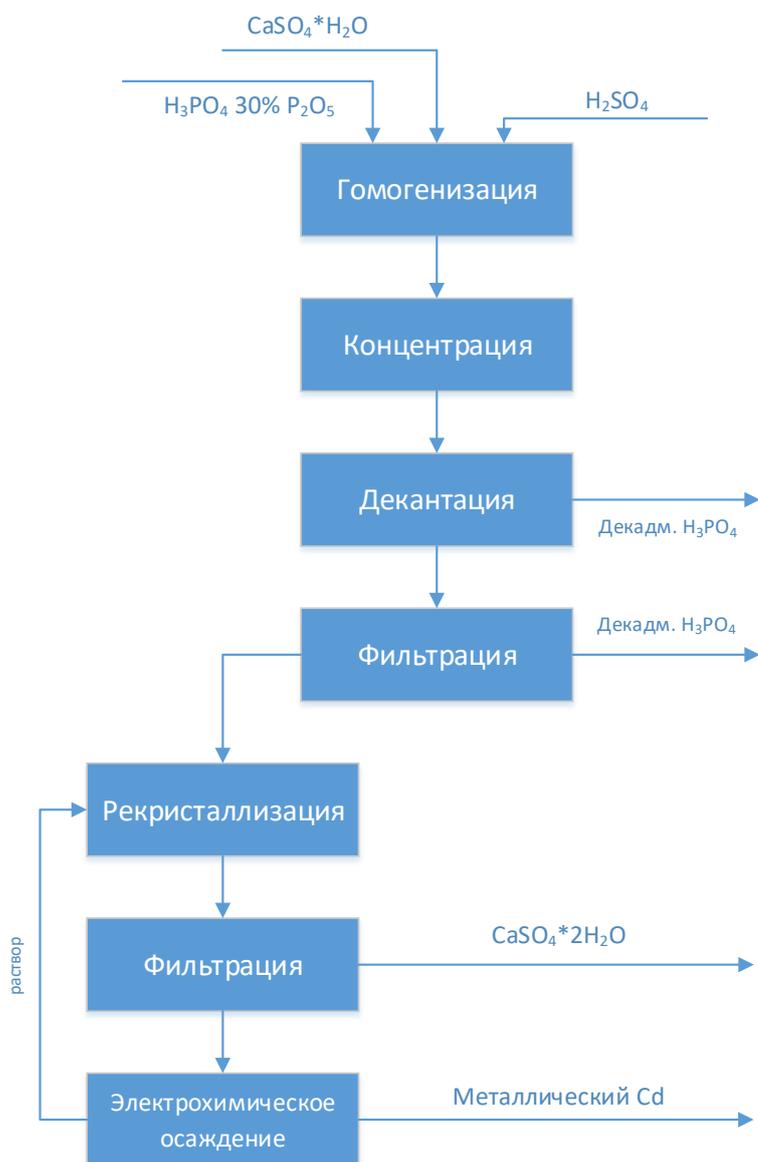


Рисунок 1.6 - Карта технологического процесса CERPHOS для декадмирования ЭФК и фосфогипса

В характеристике промышленного фосфогипса по содержанию тяжелых металлов и радиоактивных элементов отмечен интервал варьирования содержания Cd в фосфогипсе 0.8 – 40 ppm. При этом условия производства ЭФК и содержание Cd, как и других тяжелых металлов, в исходном фосфатном сырье не приведены. Необходимы комплексные системные исследования распределения Cd и других тяжелых металлов в процессе получения ЭФК из фосфатного сырья различных месторождений и

происхождения для наиболее распространенных в промышленности процессов (ДН, НН).

Это необходимо для анализа пригодности фосфогипса для сельскохозяйственного многотоннажного применения и для переработки фосфогипса в строительные материалы или другие промышленные продукты – сульфат аммония, карбонат кальция или известь.

Следующий способ декадмирования – **осаждение кадмия в виде сульфидов**. Метод проверен в лабораторном и пилотном масштабах и частично в промышленном масштабе для производства фосфорной кислоты кормового качества.

Способ заключается в обработке фосфорной кислоты сульфидсодержащими реагентами – сероводородом ( $H_2S$ ) методом барботажа или сульфидом натрия ( $Na_2S$ ) с образованием твердого осадка сульфида кадмия ( $CdS$ ). Способ также отличается сложностью в аппаратном исполнении:

- Используется опасный компонент – сероводород, требующий специальных мер защиты персонала и противоаварийной защиты от выделения в рабочую зону;
- Необходимость дооснащения аппаратно-технологической схемы сложным барботажным оборудованием с системой улавливания и санитарной очистки серосодержащих газов. Подача сероводорода должна быть полностью автоматизирована для исключения его прямого проскока в газовую фазу. Фосфорная кислота должна быть предварительно очищена от осадка сульфата кальция во избежание забивки барботажных форсунок. Необходимо подобрать и температурный режим барботажной обработки фосфорной кислоты сероводородом, так как при смешении потоков холодного газа и горячей кислоты будет происходить снятие локальных пересыщений и образование мелкокристаллического осадка, который также может забивать форсунки;

- При применении сульфидсодержащих солей, например,  $\text{Na}_2\text{S}$ , необходим отдельный узел дозирования реагента в фосфорную кислоту, организация медленного перемешивания и выдерживание ЭФК определенное время для максимального выделения осадка  $\text{CdS}$  и его удаление фильтрованием или центрифугированием (рис. 4.7).

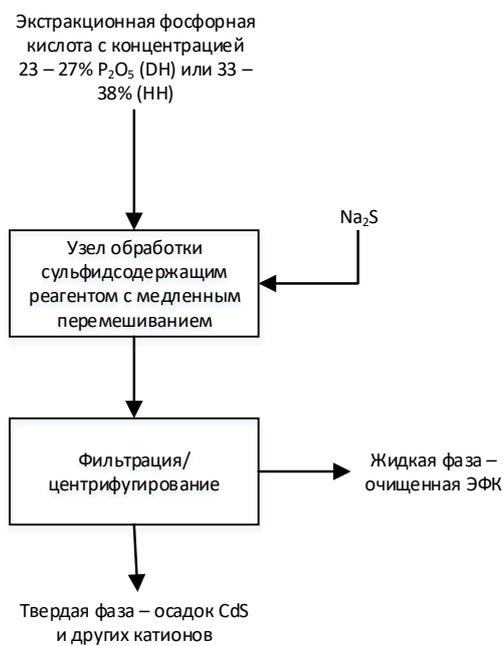


Рисунок 4.7 - Примерное дополнение типовой аппаратурно-технологической схемы производства ЭФК

При этом сульфид кадмия не отличается низкой растворимостью в растворах кислот, поэтому остаточные концентрации  $\text{Cd}^{2+}$  в ЭФК достаточно высоки (рис. 4.8).

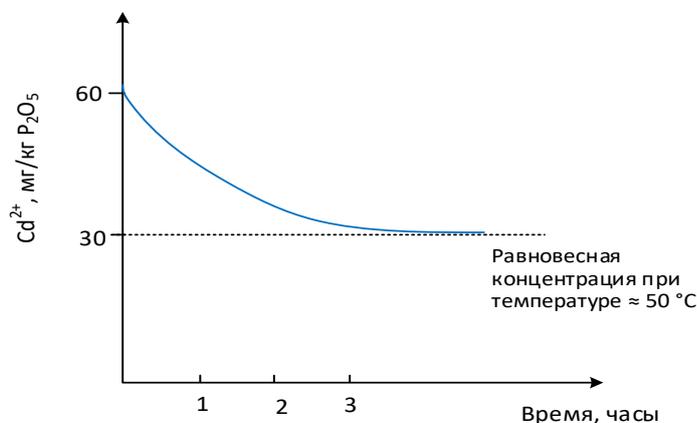


Рисунок 4.8 - Кинетическая кривая остаточной концентрации  $\text{Cd}$  в ЭФК при осаждении сульфида кадмия

При указанном способе индивидуальной обработки сульфидсодержащим реагентом получают концентрированный по Cd осадок, который необходимо или перерабатывать, или захоранивать на спецполигоне как отход 1-го класса опасности.

На рис. 4.9 приведена растворимость сульфидов металлов, в том числе сульфида кадмия в воде при нормальной температуре в зависимости от pH. Можно отметить, что в сильно кислой среде ( $0 < \text{pH} < 2$ ) растворимость CdS достигает максимума (до 100 мг/л) [97].

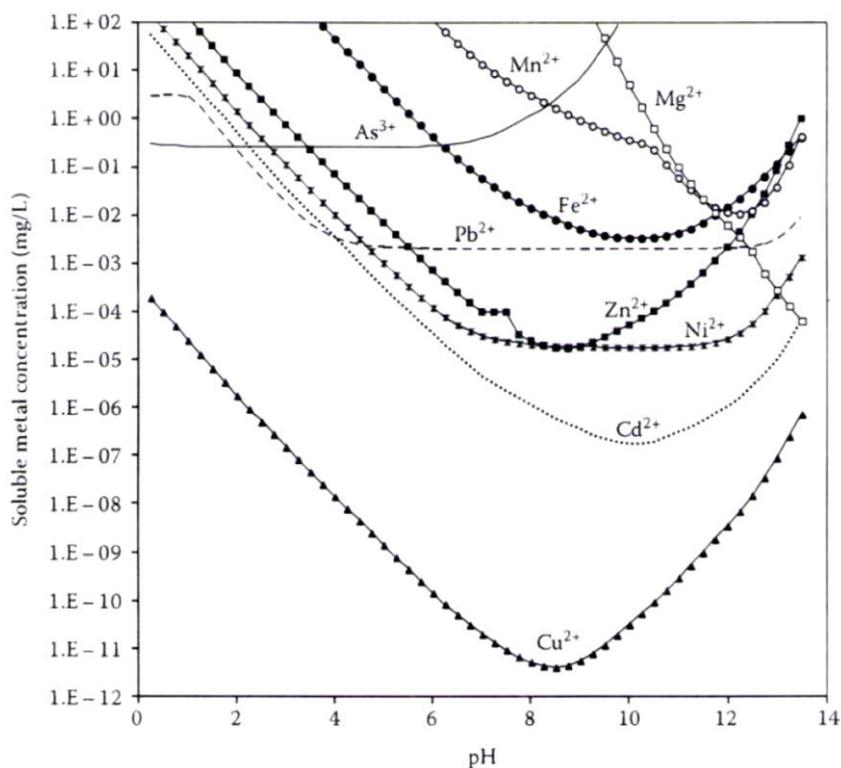


Рисунок 4.9 - Растворимость некоторых сульфидов в воде. *Источник:* Rodney Gilmour. Phosphoric Acid Purification, Uses, Technology and Economics. CRS Press, 2014

Характер зависимости растворимости сульфида мышьяка  $\text{As}_2\text{S}_3$  кардинально отличается от растворимости сульфидов металлов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  и др.), а именно является практически постоянной величиной в кислой среде ( $\text{pH} < 7$ ) и резко возрастает при переходе в щелочную область.

Сложность многостадийного процесса выделения сульфидов можно продемонстрировать на хорошо отработанном на практике методе осаждения

сульфида мышьяка (рис.4.10). Аналогичное исполнение аппаратурно-технологической схемы будет и для процесса декадмирования.

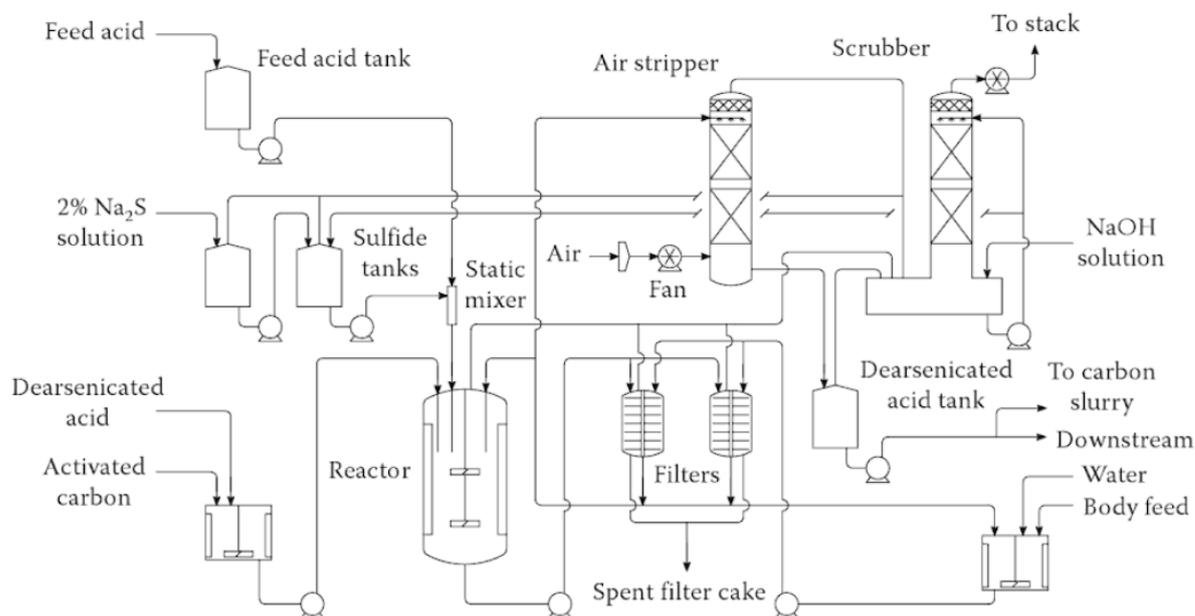


Рисунок 4.10 - Схема технологического процесса удаления мышьяка из фосфорной кислоты [13]

Примечательным является обязательное наличие мощной системы санитарной очистки отходящих газов, усиленной для улавливания соединений мышьяка орошением насадочного абсорбента раствором щелочи.

При подаче сульфидсодержащего реагента на стадии разложения фосфатного сырья будут протекать конкурирующие реакции с ионами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  со снижением эффективности осадительного метода для его выведения из ЭФК. При этом и осадок фосфогипса будет загрязнен сульфидом кадмия, что будет ограничивать дальнейшее использование фосфогипса.

Оценка приведенных затрат на декадмирование сульфидным способом 30 долл. США/т  $\text{P}_2\text{O}_5$ , очевидно, является первым приближением и является только индикатором более высоких затрат по этому методу декадмирования по сравнению с методом сокристаллизации:

- Необходимость выделения отдельной стадии обработки фосфорной кислоты сульфидсодержащим реагентом с дополнительной стадией отделения Cd-содержащего осадка;

- Остаточная концентрация  $Cd^{2+}$  в ЭФК выше, чем в методе сокристаллизации.

Метод обработки сульфидсодержащим реагентом требует инженерно-технологических решений и встраивания в проектную схему при проектировании новых объектов; дополнение действующих аппаратурных схем может столкнуться с ограничением места под размещение нового технологического оборудования.

Из недавно опубликованных инновационных решений для удаления кадмия и мышьяка из фосфорной кислоты можно отметить специально разработанный реагент ACCO-PHOS® бельгийской фирмой Solvay [98]. Данный реагент может быть добавлен непосредственно в реактор, где образует нерастворимые комплексы с тяжелыми металлами. Эти комплексы адсорбируются на фосфогипсе и удаляются таким образом на стадии фильтрования. Утверждается, что реагент отличается высокой стабильностью и генерирует минимальные количества сероводорода, селективен по отношению к кадмию и мышьяку и требует минимальных капитальных затрат. Недавнее испытание показало, что при загрузке ACCO-PHOS® 5 кг/т  $P_2O_5$  за 90 минут наблюдалось снижение концентрации кадмия в отфильтрованной фосфорной кислоте с 10 до 0.1 ppm, а мышьяка – с 5 до 0.01 ppm.

**Метод ионного обмена** с точки зрения достижения минимальной остаточной концентрации  $Cd^{2+}$  в ЭФК является одним из наиболее предпочтительных.

Опыт ионообменного извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из фосфорной кислоты показал технологическую возможность селективного извлечения катионов РЗЭ при низких концентрациях в растворе (около 1 г/дм<sup>3</sup> по сумме РЗЭ в ЭФК с концентрацией  $P_2O_5$  27%).

Однако ионный обмен как способ имеет свои специфические особенности, определяющие высокий уровень как капитальных, так и операционных затрат при его использовании:

- Выбор ионообменной смолы должен учитывать не только критерий высокой селективности и статической емкости ионообменной смолы, но и ее механическую прочность при многочисленных циклах сорбции/десорбции в движущемся потоке жидкости;
- Подготовка фосфорной кислоты в части осаждения твердых взвесей с целью исключения забивки каналов между гранулами ионообменной смолы и роста гидравлического сопротивления аппарата;
- Выделение кадмия из десорбата осаждением малорастворимых солей;
- Отделение осадка соли Cd фильтрацией (или центрифугированием);
- Регенерация ионообменной смолы кислым раствором;
- Утилизация избыточных растворов, отходящих от ионообменной установки.

На каждой из этих стадий могут возникнуть серьезные технологические трудности, перечисленные в таблице 4.3.

Лабораторные и пилотные исследования показали содержание Cd в осадках находится в пределах 5–10%; осадок содержит типичные для фосфорной кислоты примеси катионного ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  и др.) и анионного типа ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiF}_6^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ).

Для последующей переработки с выделением кадмия или его соединений такой мультикомпонентный осадок представляет значительные трудности; экономическая целесообразность переработки такого осадка сомнительна.

Приведённые затраты на декадмирование в размере 30 долл. США/т  $\text{P}_2\text{O}_5$  также только частично отражают полные затраты на этот способ.

Расчет показывает, что при содержании в исходной ЭФК 60 г Cd/т  $\text{P}_2\text{O}_5$  и декадмированной фосфорной кислоте 5 г/т  $\text{P}_2\text{O}_5$  удельный выход осадка с содержанием 5% Cd составит на 1 т  $\text{P}_2\text{O}_5$   $(60 - 5) \cdot 0.05 = 1.1$  кг. Для предприятия небольшой мощности (100 тыс. т  $\text{P}_2\text{O}_5$  в год) выход Cd-

содержащего осадка составит 110 т. При стоимости утилизации / захоронения на специальном полигоне как отхода высшей категории опасности около 35 долл./кг дополнительные затраты составят до 5 долл./т  $P_2O_5$  или около 0.5 млн долл. США в год.

Таблица 4.3. Технологические и аппаратурные сложности ионообменного удаления кадмия из фосфорной кислоты

№ п/п	Стадия	Технологические аспекты	Аппаратурная часть
1.	Подготовка фосфорной кислоты	Глубокое осветление раствора фосфорной кислоты при медленном охлаждении. Удаление сульфидов из ЭФК. Возврат шламов на стадию экстракции.	Вместительный резервуар для отстаивания фосфорной кислоты
2.	Ионный обмен, сорбция Cd на катионообменнике	Подбор селективной к Cd катионообменной смолы с большой статической емкостью и стойкостью к механическому износу. Сохранение высокой статической емкости при снижении температуры	Динамические аппараты с противоточным движением смолы и жидкой фазы. Организация распределения кислоты по сечению аппарата
3.	Десорбция	Подбор корректного состава десорбирующего раствора и смолы. Предотвращение или минимизация разбавления десорбата	Выбор десорбционной колонны с динамическим движением фаз. Разделение транспортных потоков на стадиях «сорбция – отмывка», «отмывка – десорбция», «десорбция – отмывка»
4.	Регенерация	Подбор состава и количества регенерирующего раствора	-
5.	Осаждение	Подбор реагента и условий для осаждения Cd из десорбата с целью получения хорошо фильтрующегося осадка	Выбор разделительного оборудования: фильтр или центрифуга
6.	Удаление избыточных растворов	Подбор реагентов для доведения концентрации Cd до санитарных норм	-
7.	Сбор и удаление Cd-содержащих осадков	Специальная система сбора и учета Cd-содержащих осадков; спецмеры защиты производственного персонала	-

В работах [98, 99] показано, что при применении фосфатного сырья с содержанием Cd более 6 мг/кг фоссырья стандартные полугидратный (НН) и полугидрат-дигидратный (НДН) процессы дают высокий уровень содержания Cd в осадке (рис. 4.11).

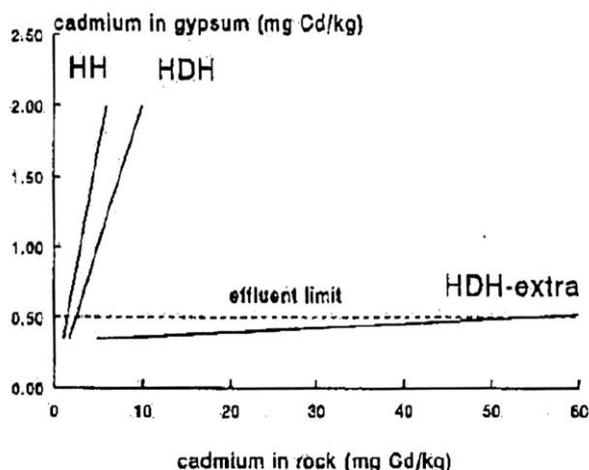


Рисунок 4.11 - Влияние концентрации кадмия в фосфатном сырье на его содержание в фосфогипсе для различных процессов. [5, 16]

Процесс НДН-extra, основанный на анионном обмене для удаления кадмия, разработан компанией Norsk Hydro специально для своего завода Hydro Agri Rotterdam (НАR, Нидерланды) с учетом лимита на содержание кадмия в размере 0.5 мг/кг сухого фосфогипса, или в абсолютном выражении 0.6 тонн Cd в год. Лимит был установлен именно на основе данных экологических исследований при прямом контакте Cd-содержащего фосфогипса с окружающей средой.

Поэтому для завода НАR была поставлена двойная задача:

1. Обеспечить непревышение лимита Cd в фосфогипсе во всем возможном диапазоне применяемого для переработки фосфатного сырья (до 60 мг Cd/кг фоссырья);
2. Разработать промышленный способ декадмирования фосфорной кислоты до нормативного уровня (в 1994 г. в Нидерландах максимальный уровень содержания кадмия в удобрениях составлял 55 мг/кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Соответствующее предельное содержание Cd необходимо было обеспечить и в фосфорной кислоте.

Для решения задачи №1 был разработан процесс HDH-extra с применением хлоридов на стадии сернокислотного разложения фосфатного сырья (рис. 4.12). Образующиеся в ходе реакции в кислой среде хлоридные комплексы  $[CdCl_n]^{2-n}$  ( $n \geq 2$ ) препятствуют захвату Cd при осаждении полугидрата сульфата кальция и его перекристаллизации в дигидрат.

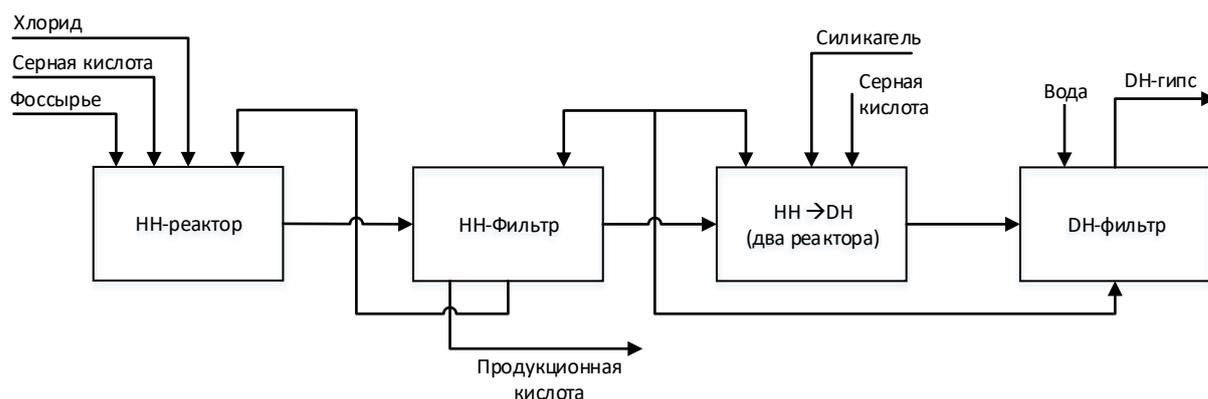


Рисунок 4.12 - Принципиальная схема двойного полугидрат-дигидратного процесса с обеспечением лимитированного содержания Cd в фосфогипсе (<0.5 мг Cd/кг сухой массы)

Однако введение хлоридов в значительных концентрациях (более 500 ppm или 0.05%  $Cl^-$  в жидкой фазе) сразу ставит вопрос о коррозионной стойкости применяемых на стадии экстракции материалов. Известно, что наличие хлорид-ионов приводит к точечной (питтинговой) коррозии даже специальных конструкционных сплавов (Sanicro 28, ЭИ-943 и аналогичных).

На рисунке 4.13 продемонстрировано совместное влияние хлорид- и фторид-ионов на скорость коррозии различных сплавов, в том числе Sanicro 28. Как следует из графика, наличие хлорид-ионов оказывает сильное негативное воздействие на скорость коррозии всех сплавов, а в случае Sanicro 28 без какого-либо риска коррозии максимально допустимое содержание  $Cl^-$  приблизительно 700 ppm. Поэтому использование металлических деталей в технологическом оборудовании было сведено к минимуму, а там, где это было невозможно, применялся сплав Hastelloy C-22, показавший хорошую коррозионную стойкость в этих условиях.

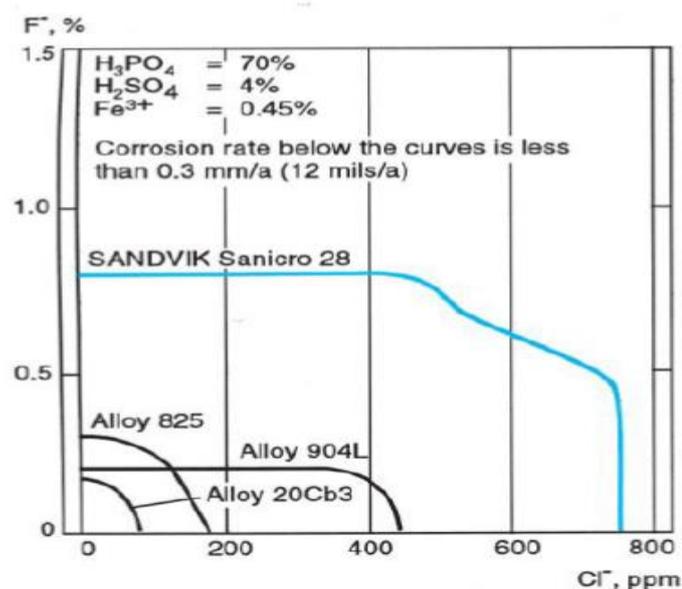


Рисунок 4.13 - Совместное влияние содержания ионов хлора и фтора на устойчивость к коррозии при 100 °С.

Кроме того, в многокомпонентной системе (экстракционная фосфорная кислота) содержатся катионы переходных металлов ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$  и других), а также двухзарядных катионов ( $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), конкурирующих с кадмием в отношении образования комплексных соединений. Поэтому подбирать необходимое количество хлоридов, очевидно, можно только эмпирическим путем для каждого вида фосфатного сырья.

Образующийся в HDH-extra-процессе гипс наряду с низким содержанием кадмия имеет также пониженные концентрации других примесей, таких как мышьяк, медь, никель, цинк и фосфаты (таблица 4.4).

Таблица 4.4. Доля тяжелых металлов и фосфатов в фосфогипсе (в % от их общего содержания) в различных процессах производства ЭФК

Примесь	Процесс НН	Стандартный процесс HDH <sup>a</sup>	Процесс HDH-extra <sup>b</sup>
Мышьяк	26	13	0
Кадмий	50	30	0
Медь	41	21	0
Хром	13	13	13
Свинец	83	83	83
Ртуть	90	90	90
Никель	53	25	0
Цинк	14	5	0
Фосфаты	7	3	1

Примечания: <sup>a</sup> рассчитано для 70%-й конверсии; <sup>b</sup> результаты, полученные на полномасштабном производстве; 0 означает величину ниже порога обнаружения.

Для решения второй задачи – декадмирования фосфорной кислоты – был выбран метод ионного обмена. Концентрации тяжелых металлов в производственной фосфорной кислоте диктовались самыми жесткими требованиями для кормовых фосфатов и удобрений (не более 10 мг/кг сухого веса или около 20 мг/кг  $P_2O_5$  для кадмия и мышьяка). Тот факт, что в процессе HDH-extra требуется введение повышенных концентраций хлорид-анионов для сырья с высоким уровнем кадмия, является преимуществом при анионном обмене хлоридных комплексов  $Cd^{2+}$  для получения низкокадмиевой ЭФК (рис. 4.14). Очень эффективным оказалось сульфидное осаждение мышьяка, предшествующее стадии ионного декадмирования.

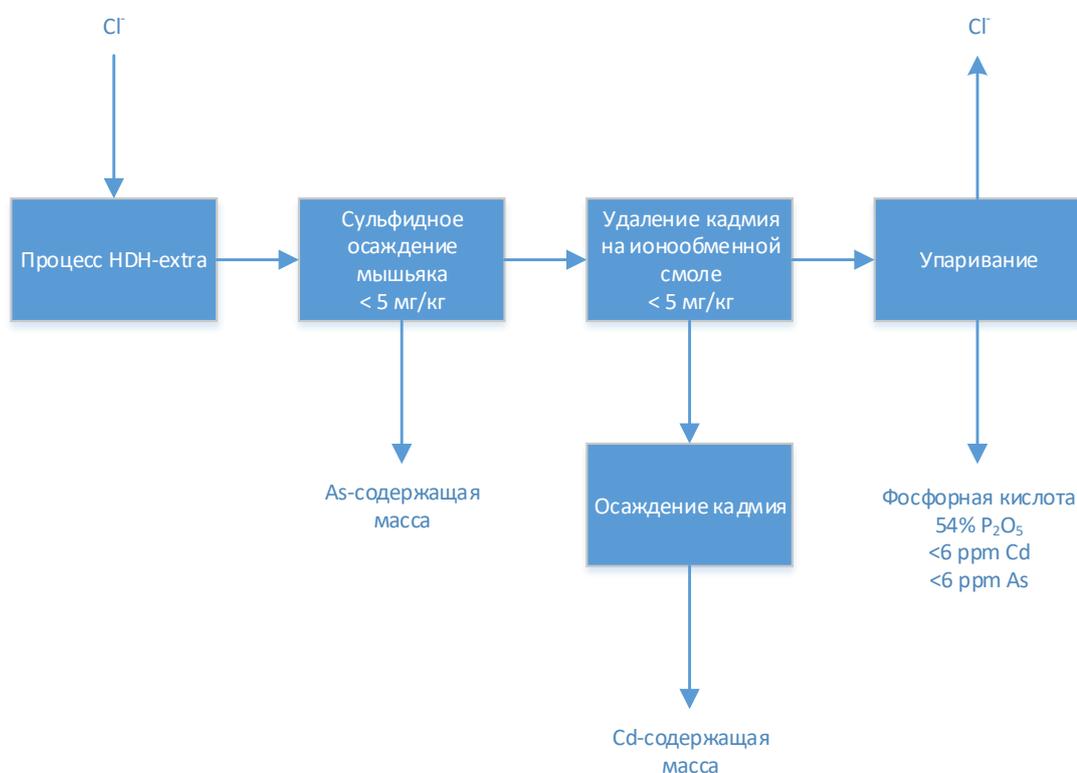


Рисунок 4.14 - Очистка фосфорной кислоты в процессе HDH-extra [16]

Помимо повышенной коррозии и необходимости удаления избытка хлоридов из концентрированной фосфорной кислоты, существенным недостатком метода является также ограничения по исходному сырью. В качестве сырья могут использоваться только фосфориты с содержанием до 50 мг Cd / кг  $P_2O_5$ .

**Метод экстракции органическим реагентом.** Экстракционный метод является хорошо отработанным в промышленной практике для получения фосфорной кислоты технического и пищевого качества. Метод позволяет добиться глубокой очистки от катионных примесей, в том числе и кадмия, до значений до 1 ppm. Данный метод упоминается в сборнике лучших доступных технологий ЕС [101] и заключается в следующем:

- Кадмий удаляется из неочищенной фосфорной кислоты на стадии экстракции с использованием органического растворителя, состоящего из смеси инертного растворителя с аминами или аммонийными соединениями с хлоридным комплексом в качестве противоиона.
- Органическую фазу отделяют.
- Кадмий удаляется из органической фазы путем повторной экстракции водной фазой (содержащей соляную кислоту и хлоридные комплексы, например, цинка или железа). В основе механизма процесса лежит обмен хлоридного комплекса кадмия между двумя фазами.
- Фазы разделяют.
- Кадмий удаляют из водной фазы.

В то же время, метод не свободен от недостатков:

- Требуется создания отдельной технологической линии с отдельными стадиями экстракции примесей органическим экстрагентом, например, трибутилфосфатом; отмывки/регенерации экстрагента, разделения водной и органической фаз;
- Характеризуется образованием разбавленных растворов с содержанием 20 – 25%  $P_2O_5$ , которые необходимо концентрировать и перерабатывать в производстве удобрений;
- Требуется организации отдельной стадии выведения Cd из экстрагента в водный раствор с последующим осаждением в виде малорастворимой соли.

На рис. 4.15 представлена блок-схема экстракционной очистки ЭФК по методу Albright & Wilson (A&W) [13].

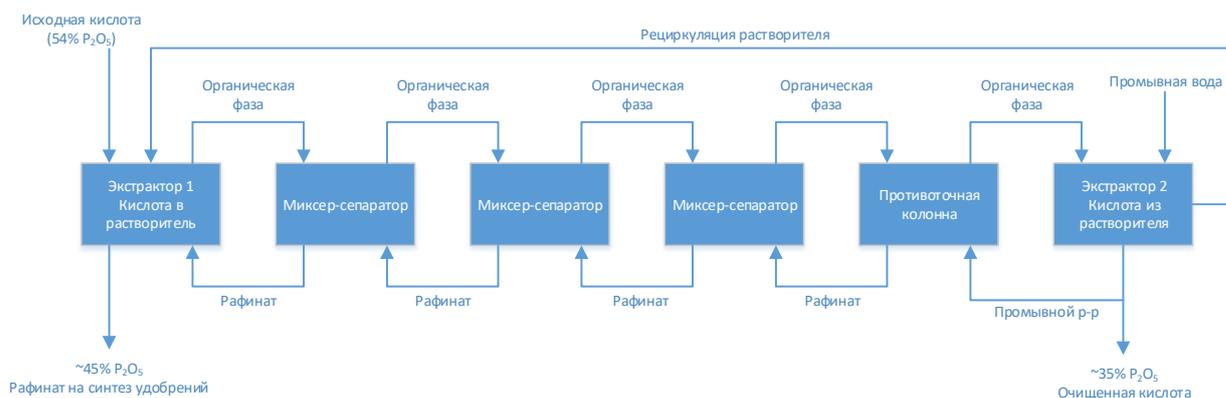


Рисунок 4.15 - Схема пилотной установки по методу A&W [13]

Представленная схема отличается многоступенчатостью и снижением концентрации очищенной фосфорной кислоты и рафината относительно исходной фосфорной кислоты (54%  $P_2O_5$ ). Получаемый рафинат с концентрацией  $P_2O_5$  около 45% необходимо использовать в производстве удобрений, следя за концентрацией вредных примесей, а очищенную фосфорную кислоту (35%  $P_2O_5$ ) – концентрировать. При этом по всем катионным примесям метод обеспечивает глубокую очистку (таблица 4.5).

Экстракционный метод не является узко специализированным для удаления кадмия; в случае применения этого метода только для декадмирования приведенные затраты будут неоправданно высокими.

Установка экстракционной очистки фосфорной кислоты мощностью 100 тыс. т  $P_2O_5$  в год, построенная китайской компанией Wengfu в начале 2000-х гг. на одном из своих заводов в КНР, обошлась в 100 млн долл. США, т.е. удельные капитальные вложения составили около 1000 долл./т  $P_2O_5$ . Установка обеспечивала очистку от катионных примесей до пищевых требований, т.е. менее 1 ppm.

Даже если принять во внимание менее жесткие требования по очистке от Cd - <20 мг/кг  $P_2O_5$ , - удельные капитальные вложения в любом случае будут превышать 500 долл./т  $P_2O_5$ . При 20-летнем сроке эксплуатации установки приведенные затраты составят около 25 долл./т  $P_2O_5$  в год.

Таблица 4.5. Анализ исходного сырья и продукционной кислоты пилотной установки A&W [13].

	Feed Acid	Haifa Bulk	Pilot Decolorized	Pilot Decolorized, Polished	Pilot Crystallized
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	54%	58.5%	61%	67%	66%
Fe	2100	52	50	<5	<1
Al	750	<1	9	9	<0.1
Mg	1630	2	1	<0.5	—
Ca	35	22	—	—	—
Sr	<1	<2	<0.5	<0.5	<0.5
Na	130	—	—	10	47
V	200	<0.5	4	5	<0.5
Cr	200	<1	3	5	<0.5
Mn	15	—	<4	<4	<1
Ni	—	1	<0.3	1	0.3
Cu	75	55	<5	<5	<1
Pb	5	<5	0.2	0.8	1.2
Cd	20	—	<0.5	<0.5	<0.5
Zn	335	205	3	3	0.5
C	160	40	280	260	5
As	10	0.5	11	1	0.5
F	1800	85	90	35	1
Cl	<10	<20	5	15	<10
SO <sub>4</sub>	1.41%	<200	2.6%	2.8%	600

Операционные затраты на реагенты, электроэнергию, теплоэнергию, обслуживание оборудования, зарплату персонала, утилизацию Cd-содержащего осадка, управленческие расходы также будут составлять 20 – 25 долл./т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Суммарно затраты составят около 50 долл./т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, и экстракционный способ, несмотря на свою отработанность в промышленной практике, является одним из самых дорогостоящих.

Предприятия по производству кормовых/пищевых фосфатов имеют OPEX в размере 100 – 150 долл./т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> с учетом затрат на удаление других нормируемых примесей: свинца, хрома, железа, стронция, магния и др. Вызывает сомнение оценка приведенных затрат на уровне 30 долл./т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, принимая эту величину в качестве заниженного порога [102].

В этом же обзоре известных способов декадмирования приведена динамика числа патентов на новые способы декадмирования, которая показывает пик новых разработок в конце 1980 – 1990-х гг., а затем полный штиль на этом направлении (рис. 4.16).

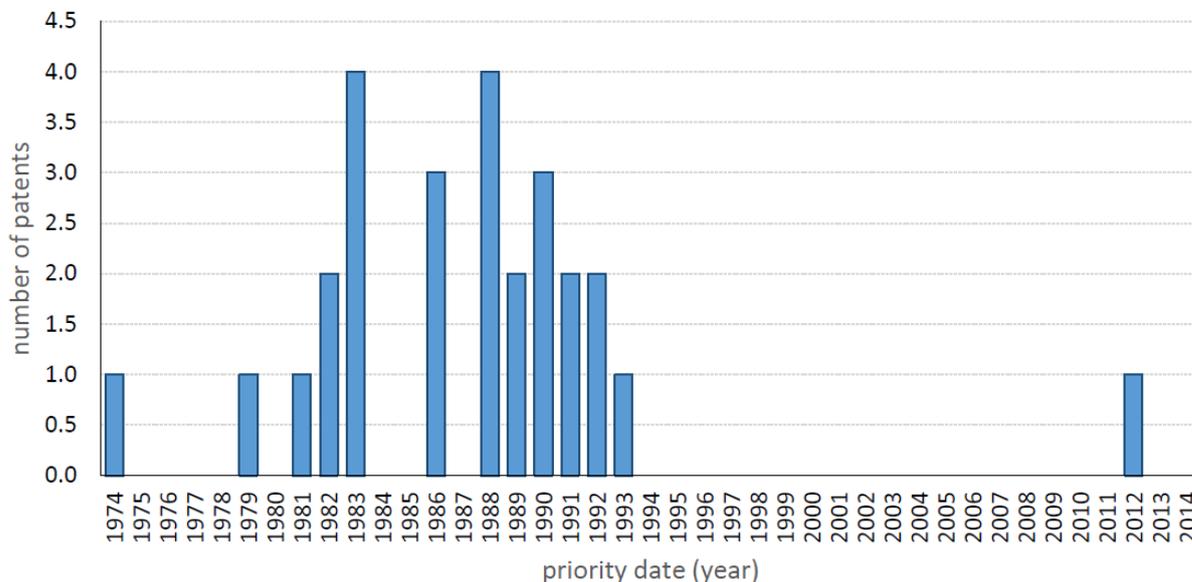
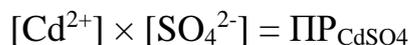


Рисунок 4.16 - Число патентов на технологии удаления кадмия из продукционной фосфорной кислоты. [10]

Из промышленно эксплуатируемых упоминается только способ израильской компании ICL на одном из предприятий Rotem Amtert Negev. Способ заключается в повышении концентрации серной кислоты в жидкой фазе пульпы с типичных 20 – 25 г/л SO<sub>3</sub> до 40 – 150 г/л с целью создания избытка сульфат-анионов и сдвига равновесия в сторону осаждения сульфата кадмия с сульфатом кальция (рис. 4.17):



Для удаления избытка сульфат-ионов используется способ обработки фосфорной кислоты фосфатным сырьем. При этом содержание кадмия незначительно увеличивается вследствие небольших доз внесения фоссырья на обессульфирование (в пределах 50 кг/т P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). В результате получают относительно чистую фосфорную кислоту и загрязнённый кадмием фосфогипс с описанными выше проблемами.

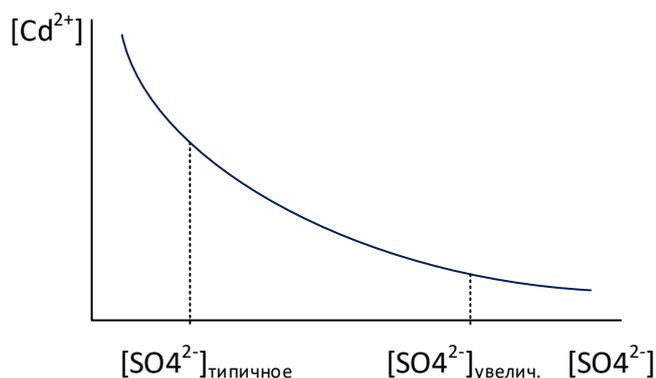
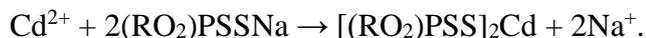
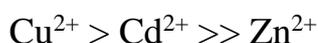


Рисунок 4.17 - Зависимость содержания ионов  $[Cd^{2+}]$  в жидкой фазе от содержания сульфат-ионов в изотермических условиях ( $PP = const$ )

Компания ICS (Chemical Industries of Senegal), фоссырье которой содержит очень высокие концентрации кадмия (до 100 ppm в фосконцентрате) и соответствующие высокие концентрации в фосфорной кислоте в интервале 100 – 200 ppm, провела работу по извлечению кадмия органическими реагентами [103, 104]. В качестве агента использовали органический флотационный реагент алкилдитиофосфат  $(RO_2)PSSNa$ . Обменная реакция протекает по следующему механизму:



Температура протекания реакции около  $40^\circ C$ , для достижения остаточного содержания  $Cd^{2+}$  в фосфорной кислоте не более 100 ppm использовалась двойная норма реагента от стехиометрической (на тонну  $P_2O_5$  расход дитиофосфата составлял 7.6 кг). Реагент не был узкоселективным по кадмию, и конкурирующие реакции протекали также с медью и цинком в следующей последовательности:



В результате обменных реакций в течение 120 мин концентрация  $Cu^{2+}$  в фосфорной кислоте снижалась с исходных 74 ppm до  $< 0.1$  ppm, а кадмия – в 120 раз – со 120 ppm до 1 ppm.

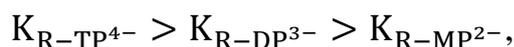
Также показана возможность применения диметиламндитиофосфата в качестве агента для связывания и выделения кадмия в концентрированной фосфорной кислоте (54%  $P_2O_5$ ). Кадмийсодержащий осадок отделяется от кислоты фильтрованием или центрифугированием.

Несмотря на обнадеживающие лабораторные тесты, способы с органическими реагентами не получили промышленного развития в связи с необходимостью организации отдельной технологической стадии, низкой скоростью осаждения дитиофосфата кадмия, низкой скоростью фильтрации, необходимостью утилизации Cd-содержащего осадка.

Высокую эффективность для удаления кадмия из ЭФК в лабораторных испытаниях показал также реагент Аламин 336 [104] (смесь триоктиламина и тридециламина). Оптимальная органическая фаза, содержащая 1% (об.) Аламина 336 с 1.5% (об.) изо-додеканола в керосине, отличается хорошей стабильностью, а средняя степень экстракции кадмия из ЭФК (51%  $P_2O_5$ ) после 20 циклов составила около 69%.

В фундаментальном исследовании химических и биохимических свойств кадмия [105] приведены значения констант устойчивости комплексов  $Cd^{2+}$  и других двухзарядных катионов с эфирами фосфорных кислот: R-MP<sup>2-</sup> (моноэфирмонофосфат), R-DP<sup>3-</sup> (моноэфирдифосфат) и R-TP<sup>4-</sup> (моноэфиртрифосфат).

Показано, что в водных растворах при температуре 25°C константы устойчивости комплексов двухвалентных катионов, в том числе и кадмия, располагаются в ряд:



то есть наибольшей устойчивостью обладают комплексы с длинноцепочечными фосфат-анионами. Это относится и к неорганическим цепочкам фосфат-ионов в водных растворах: комплексы кадмия с мета-, пиро- и полифосфатами в качестве лигандов более устойчивы в водных растворах по сравнению с ортофосфатами. Поэтому удалять кадмий лучше на первых стадиях процесса кислотной переработки с преобладанием ортофосфатов в многокомпонентных растворах. Особняком стоит метод извлечения в органическую фазу двухвалентных катионов, включая кадмий, но в этом случае возникает сложный вопрос очистки загрязненных промывных растворов с низкими концентрациями тяжелых металлов, где уже

не работают механические и химические методы очистки, а требуются дорогостоящие технологии ионного обмена. Отдельного рассмотрения требуют биолого-химические методы очистки, т.к. направление потоков на очистку даже с невысокими концентрациями тяжелых металлов может привести к гибели микроорганизмов, перерабатывающих остаточные количества нитрат- и фосфат-ионов.

Анализ имеющейся в литературе информации по известным способам декадмирования показал, что требуется актуализация и более глубокая проработка всех технологических стадий и аспектов методов декадмирования с включением в периметр анализа не только непосредственно самих способов декадмирования, но и связанных с ними стадий утилизации Cd-содержащих осадков, сточных вод и т.д. Обновить анализ данных способов целесообразно, отталкиваясь от оценки типичных уровней содержания кадмия в фосфатном сырье различных месторождений и производителей. Средние значения содержания кадмия в мировом фосфатном сырье приведены в таблице 4.6.

Таблица 4.6. Индикативное содержание кадмия в различном фосфатном сырье

Месторождение	Страна	Среднее содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Среднее содержание Cd		Группа
			ppm	мг Cd/кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Вулканические					
Араша	Бразилия	35.7%	3.0	8.4	1
Каталао	Бразилия	37.0%	2.0	5.4	1
Сийлинъярви	Финляндия	36.5%	5.1	14.0	1
Кола	Россия	39.0%	3.0	7.7	1
Пхалаборва	Южная Африка	37.4%	1.0	2.7	1
Осадочные					
Джебел Онк	Алжир	29.4%	16.0	54.3	2
Кайлин	Китай	32.5%	2.0	6.2	1

Хинда	Конго	33.0%	12.0	36.4	2
Арад	Израиль	32.4%	14.3	44.2	2
Зин	Израиль	31.1%	30.8	98.8	2
Орон	Израиль	33.6%	5.0	14.9	1
Эль Хаса	Иордания	31.9%	5.4	17.0	1
Шидийя	Иордания	31.4%	6.0	19.1	1
Каратау	Казахстан	21.8%	2.0	9.2	1
Хурбига	Марокко	31.0%	14.2	45.8	2
Юссуфия	Марокко	31.0%	23.0	74.2	2
Бу Краа	Марокко	36.0%	33.5	93.1	2
Байовар	Перу	30.4%	38.0	125.0	2
Таиба	Сенегал	36.7%	87.0	237.1	2
Тобене	Сенегал	34.0%	55.0	161.8	2
Авениера	Сенегал	32.7%	250.0	764.5	2
Сефос	Сенегал	32.7%	250.0	765.7	2
Матам	Сенегал	32.0%	10.4	32.3	1
Эландсфонтейн	Южная Африка	32.0%	1.6	5.0	1
Хнейфисс	Сирия	29.9%	4.0	13.4	1
Кпеме	Того	37.4%	58.0	154.9	2
Гафса	Тунис	29.0%	40.0	137.9	1
Центральная Флорида	США	31.2%	9.0	28.8	1
Айдахо	США	29.5%	106.0	359.3	2
Аврора	США	32.8%	38.0	115.9	2

На новом этапе сформированных требований к содержанию опасных для человека и окружающей среды веществ в минеральных удобрениях на первый план выходят не только экономические аспекты обеспечения этих требований. Не меньшее значение имеет сама чистота переработки фосфатного сырья в чистые минеральные удобрения без стадий

декадмирования целевых субстанций и образования побочных кадмийсодержащих продуктов.

С этой целью можно выделить достаточно широкую базу фосфатного сырья (условная группа 1, табл. 4.6) с изначально низкими показателями содержания Cd, которая будет выполнять роль фундамента для производства чистых удобрений категории Low/No Cd по типовым промышленным технологиям (рис. 4.18).

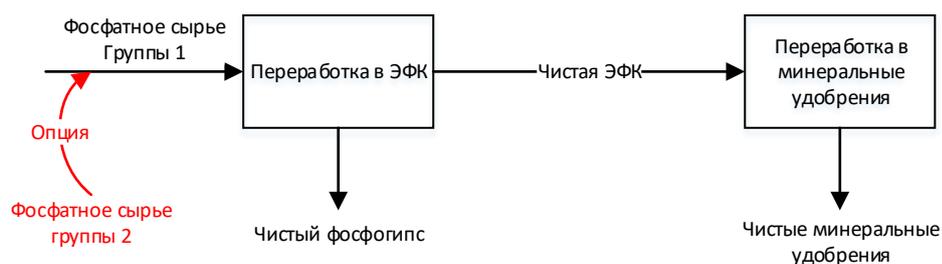


Рисунок 4.18 - Типовая промышленная технология производства фосфорсодержащих удобрений

В качестве опции можно рассматривать вовлечение в переработку и фосфатного сырья группы 2 в небольших количествах (до 30% в зависимости от концентрации кадмия в фоссырье группы 1). Использование доминирующего количества чистого фосфатного сырья группы 1 обеспечивает комплексный эффект и доказательность производства чистых фосфорсодержащих удобрений по следующим критериям:

1. Трансформация природных безопасных компонентов при переработке, отсутствие опасных побочных продуктов;
2. Отсутствие дополнительных капитальных и операционных затрат за счет отсутствия дополнительных стадий и технологических переделов.

Фосфатное сырье «чистой» группы обеспечивает не только прямое получение целевой продукции без дополнительных стадий очистки, но и отсутствие экологической опасности фосфогипса как технологически неизбежного отхода.

В этом отношении показателен опыт бельгийского производителя Prayon, использующего собственный двухстадийный дигидрат-полугидратный процесс Central Prayon Process (CPP) на своем бельгийском

заводе в Анжи (Engis). В качестве исходного фосфатного сырья используется экстра-чистый апатитовый концентрат производства АО «Апатит». Основное количество фосфогипса (90 – 95%) применяется для производства гипсового вяжущего и строительных изделий на расположенном рядом заводе Knauf.

Часть фосфогипса, не отвечающего требованиям заказчика, размещается на небольшом полигоне отходов в лесном массиве рядом с предприятием Prayon. Примечательно, что компания выполнила все необходимые исследования и доказала полную безопасность полигона фосфогипса для окружающей среды с его размещением непосредственно на природном грунте (без изолирующей подложки).

Дальнейшие исследования состава водной вытяжки из фосфогипса полностью подтвердили правильность выбранного решения. В таблице 4.7 приведены данные контрольных тестов по методике определения класса

Таблица 4.7. Состав водной вытяжки из фосфогипса

Параметр	Верхний предел	Кислая 1 проба	Нейтральная 2 проба	Основная 3 проба
pH	7-12	3.0	6.5	10.4
Проводимость	6000 S/cm	19190	2510	2910
Металлы, мг/л				
Sb	0.2	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Al	2000	3.65	0.29	0.29
As (общий)	0.1	0.012	0.001	0.001
Cd	0.1	0.122	0.004	0.004
Co	0.1	< 0.015	< 0.001	< 0.001
Cr (VI)	0.1 (*)	0.033	0.001	0.001
Cu	2 (*)	0.36	0.001	0.001
Hg	0.02 (*)	< 0.001	≤ 0.001	≤ 0.001
Pb	0.2 (*)	≤ 0.002	< 0.002	< 0.002
Mo	0.15	0.012	≤ 0.005	≤ 0.005
Ni	0.2 (*)	0.041	0.002	0.002
Ti	2	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Zn	0.9 (*)	0.34	0.02	0.02
Азот, мг/л				
NO <sup>2-</sup>	3	< 0.01	< 0.01	< 0.01
NH <sup>4+</sup>	50	0.4	0.7	0.7
Соли, мг/л				
Cl <sup>-</sup>	500	2.7	3.6	3.6
CN <sup>-</sup>	0.46	< 0.005	< 0.005	< 0.005
F <sup>-</sup>	5	38.2	13.7	4.6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1000	1430	1465	1465

Примечание: (\*) Сумма данных элементов должна быть ниже 5 мг/л

опасности отходов, принятой в ЕС.

Показательно, что за счет чистоты исходного сырья и применённой технологии двойного процесса СРР фосфогипс полностью выдерживает нормы для его отнесения к группе неопасных отходов. Нормы предельных концентраций по группе тяжелых металлов Cd, Co, Cr (VI), а также мышьяку (As) установлены на самом жестком уровне – 0.1 мг/л; тем не менее, состав фосфогипса за счет применения чистого кольского апатитового концентрата обеспечивает выдерживание указанных норм в широком диапазоне pH – от сильноокислых до щелочных сред.

Это позволило компании Prayon обоснованно разместить отвал фосфогипса в лесном массиве с попаданием дренажных вод на природный ландшафт без риска загрязнения окружающей среды.

Иная картина характерна для фосфогипса, загрязненного тяжелыми металлами из фосфатного сырья осадочного происхождения. В работе [106] приведены данные по пространственному распространению тяжелых металлов вокруг отвалов фосфогипса на двух предприятиях КНР по производству минеральных удобрений. В периметр исследования попали Zn, Cd, As, Cu, Pb, Hg, U, содержащиеся в повышенных концентрациях в фосфогипсе. Было обнаружено загрязнение прилегающей к отвалу почвы указанными металлами – в 9 образцах почвы частота обнаружения была 100%, а содержание Cd, Cu, Zn, Pb было наибольшим. Содержание тяжелых металлов вокруг отвала фосфогипса было обратно пропорционально расстоянию от отвала. В вертикальном разрезе концентрация тяжелых металлов с глубиной также уменьшалась, при этом степень снижения концентрации металлов была разной; в случае с кадмием и свинцом градиент снижения был максимальным.

Это свидетельствует о совершенно разном уровне опасности фосфогипса, полученного из фосфатного сырья чистой группы (случай Prayon), и фосфогипса с гаммой вредных примесей из сырья второй группы.

Отдельного дополнительного исследования заслуживают аспекты усиления негативного действия компонентов удобрений друг на друга и агрономические характеристики удобрений.

В таблице 4.1 ранее было приведено взаимовлияние полезных компонентов минеральных удобрений в разрезе подавления полезного действия (антагонизм) или усиления (синергизм). Например, избыток цинка ухудшает доступность другого микроэлемента – марганца.

Аналогичные эффекты наблюдаются и для вредных компонентов. Так, совместное присутствие кадмия и цинка в удобрениях оказывает более сильное угнетающее воздействие на сельхозкультуры (опыты проводились на пшенице) по сравнению с отдельным влиянием тех же количеств кадмия и цинка. Это значит, что с кадмийсодержащими удобрениями надо обращаться осторожно и с точки зрения усиления их негативного влияния при наличии в почве или отдельном внесении микроэлементов.

Об этом же указано и в монографии [107]: «Вопрос об антагонизме и синергизме между тяжелыми металлами при их поступлении в растения исследован очень слабо, но немногочисленные исследования свидетельствуют о его важности». Глубокое изучение этого вопроса имеет вполне прикладное значение, в частности, для химической детоксикации почвы, загрязненной тяжелыми металлами. В качестве эффективного средства химической детоксикации может применяться фосфогипс, образующийся при переработке фосфатного сырья «чистой» группы. Свободный от тяжелых металлов фосфогипс, кроме функций улучшителя структуры почвы, медленнодействующего удобрения по кальцию, сере, фосфору, кремнию, связывателя избыточных количеств натрия в почве, - выполняет роль поглотителя подвижных форм тяжелых металлов. При этом в случае загрязнения почв комплексом тяжелых металлов:  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$  и других – необходимо понимание механизмов конкурирующего поглощения катионов ряда тяжелых металлов по приоритету обмена с поверхностным слоем фосфогипса по коэффициенту сорбции. Есть основания полагать, что

катион  $\text{Cd}^{2+}$  будет находиться в перечне катионов с высоким коэффициентом сорбции, что позволит использовать чистый фосфогипс для декадмиривания контаминированных почв.

В исследовании [108] представлены данные о взаимовлиянии различных катионов на токсичность друг друга по отношению к животным и человеку. Для кадмия (рис.4.19) установлено, что его токсичность уменьшают ионы  $\text{Ca}^{2+}$  (обладающие практически одинаковым ионным радиусом: 109 пм у  $\text{Cd}^{2+}$  и 114 пм у  $\text{Ca}^{2+}$ ),  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  и  $\text{Se}^{2-}$ .

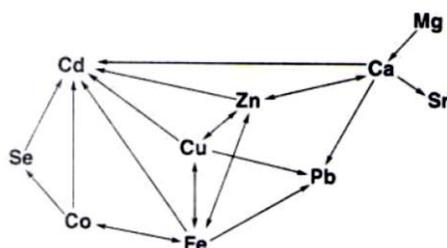


Рисунок 4.19 - Взаимозависимость токсичности некоторых элементов, важных для млекопитающих. Стрелка  $A \rightarrow B$  указывает, что применение элемента А может снизить токсичность элемента В. [21]

При этом в малых количествах те же катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  существенно увеличивают токсичность  $\text{Cd}^{2+}$ .

Из рисунка видно, что кадмий примыкает к шести незаменимым ионам металлов  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ . По своему сродству к лигандам катион кадмия более всего напоминает  $\text{Zn}^{2+}$ . Несмотря на то, что ион  $\text{Cd}^{2+}$  имеет больший ионный радиус, чем  $\text{Mg}^{2+}$ , в последнее время он широко применяется для имитации ионов магния в рибозимах. Как и  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  преимущественно образует неискаженные октаэдрические комплексы и селективно заменяет во внутренней координационной сфере  $\text{Mg}^{2+}$ , связанный по N7-центру пуринов.

Таким образом, закрепление новых требований к содержанию опасных для человека и окружающей среды примесей в минеральных удобрениях создает новый вызов для всей отрасли минеральных удобрений и переносит акцент с традиционных физико-механических и агрономических свойств минеральных удобрений на не менее важные экологические аспекты.

Фактически введенные нормы содержания сближают нормирование вредных включений для удобрений с действующими уже длительное время нормами для кормовых и пищевых фосфатов (таблица 4.8).

Таблица 4.8. Сравнительные данные по нормированию вредных примесей в минеральных удобрениях, кормовых и пищевых фосфатах.

№ п/п	Нормируемый компонент	Единица измерения	Минеральные удобрения	Кормовой монокальцийфосфат [26]	Пищевой триполифосфат натрия [27-28]
1.	Кадмий, Cd	мг/кг	~ 28 <sup>a</sup>	10	1
2.	Ртуть, Hg	мг/кг	1	0.1	0.1
3.	Мышьяк, As	мг/кг	40	10	3
4.	Свинец, Pb	мг/кг	120	15	3

Примечание: <sup>a</sup> на примере диаммонийфосфата (DAP, 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Из данных таблицы явно прослеживается формирование единого подхода к нормированию вредных и опасных примесей по всей цепочке производства продуктов питания для человека (рис. 4.20).

На основании единого подхода к нормированию примесей можно создать эффективную систему их прослеживаемости (трансляции) по всей цепочке с возможностью достоверного определения источника и этапа загрязнения, а также полного информирования потребителя не только о качестве продукта питания, но и о системе его производства с применением только чистых агрохимикатов.



Рисунок 4.20 - Замыкание цепочки нормирования агрохимикатов и пищевых фосфатов по опасным и вредным примесям

Эта система должна учитывать и характеризовать и источник фосфора в производстве фосфорсодержащих удобрений: группа чистых природных фосфатов должна быть отделена от прочих видов фосфатного сырья, требующих для выдерживания нормативов либо смешивания с первой группой, либо удаления кадмия и других примесей на различных стадиях переработки.

#### **4.2. Разработка и совершенствование комбинированных органоминеральных удобрений**

Инновационно-активные компании в отрасли минеральных удобрений постоянно дополняют пакет продуктов для оптимальной системы питания растений, соединяя преимущества повышенной биологической эффективности, отсутствия химического загрязнения и сохранения углерода в почве. Особое значение для развития растений имеет создание сбалансированной среды и питания в ризосферной зоне.

Внесение в пахотный слой почвы сбалансированных удобрений, проведения известкования, фосфоритования и гипсования, а также иных почвоулучшителей и структурообразователей позволяет создать оптимальную среду для обменных процессов «почва – удобрение – растение» с образованием полезных метаболитов.

В работах, проведенных на опытных полях Федерального исследовательского центра «Немчиновка» показано, что внесение оптимальных доз минеральных удобрений и оптимизация рН, наряду с повышением урожайности пшеницы, улучшается ее качество продукции – хлебопекарные показатели муки. [109, 110]. В корневой зоне для развития и роста мощной корневой системы создаются следующие условия (рис. 4.21):

- оптимальная кислотность почвенных растворов с рН, близким к нейтральному ( $6,5 < \text{pH} < 7,5$ ) для обеспечения усвояемых форм фосфора, микроэлементов и исключения высокого солесодержания, подавляющего развитие корневой системы;

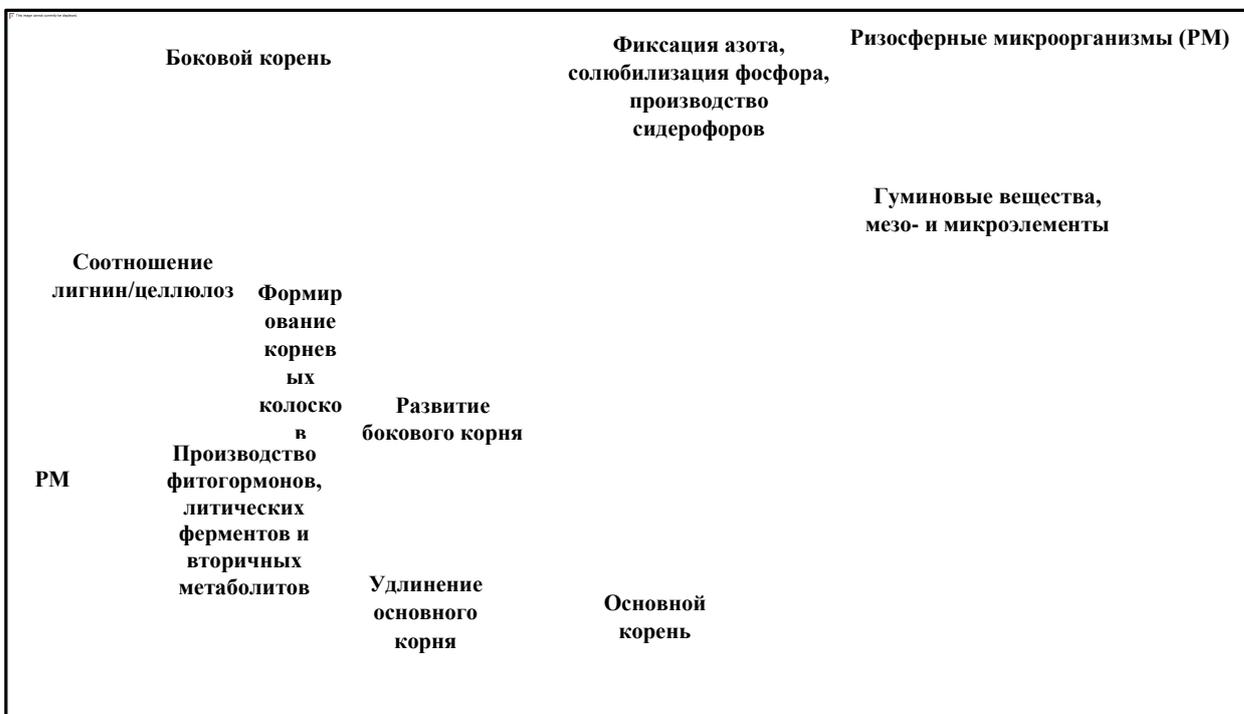


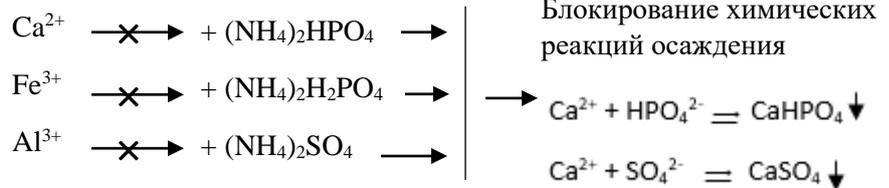
Рисунок 4.21 - Основные процессы в корневой (ризосферной) зоне

- оптимальное соотношение органической и минеральной составляющей удобрений и почв;

- активизация обменных процессов между почвенными субстратами, вносимыми агрохимикатами и растением;

- подавление химически активных катионов, связывающих усвояемый фосфор и серу в виде соответствующих анионов.

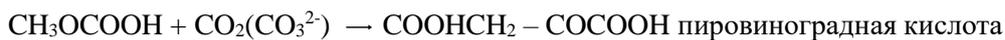
Почвенно-поглощительный комплекс (ППК) почвы



За счет взаимодействия с гуминовыми и фульвокислотами, содержащимися в комбинированных органо-минеральных удобрениях  $\text{C}_n\text{H}_m\text{N}_x(\text{COOH})_z$ , где  $z = 3-6$  – содержание карбоксильных групп, способных к обмену с катионами:



Таким образом, органические протекторы ионов защищают от иммобилизации и связывания в малорастворимые соединения. Кроме того, активизируются процессы гетеротрофной ассимиляции (поглощения) углерода в сложные органические кислоты (по реакции Вуда-Веркмана):



В результате неорганический углерод переходит в состав органической части почвы и из потенциального источника климатического загрязнения превращается в важную составляющую почвы, определяющую ее плодородие.

В отличие от лесного хозяйства, которое имеет разные периоды поглощения и эмиссии парниковых газов, например, при пожарах и гниении старых насаждений), в сельском хозяйстве можно обеспечить стабильное нетто поглощение  $\text{CO}_2$  почвами с превращением в нелетучие органические соединения с другим циклом полезных трансформаций.

#### 4.3 Адаптивный потенциал гипсования и фосфоритования почв

С точки зрения снижения углеродной нагрузки более предпочтительными, по сравнению с известкованием почв, выглядят гипсование и особенно фосфоритование почв.

Из углеродного цикла уходит прямое выделение  $\text{CO}_2$  при известковании кислых почв:  $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \longrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$

При этом диоксид углерода практически не задерживается в почве и улетучивается в атмосферу. При этом плодородный слой почвы насыщается ионами кальция  $\text{Ca}^{2+}$ , которые иммобилизуют фосфор и серу.

В этом плане гипсование и фосфоритование имеют явное предпочтение:

1. Гипсование – за счет обменной реакции с ППК, связыванием кальция и высвобождением сульфат-иона по реакции:



С учетом малой растворимости сульфата кальция выделяемые дозы натрия не приводят к засолению почвенных растворов и имеют длительный период полезного действия с улучшением состояния почвы.

2. Фосфорирование имеет свои сильные стороны в химизме процесса, особенно на деградированных и выщелоченных черноземах:



Далее в обменных реакциях участвует монокальцийфосфат  $\text{CaHPO}_4$ .

За счет постепенного высвобождения фосфат-ионов в соответствии с кинетической химической реакцией (в целом, более быстрой на кислых почвах) протекают реакции связывания фосфат-ионов с катионами тяжелых металлов ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  и других). Таким образом блокируется подвижность наиболее опасных растворимых тяжелых металлов и процессы метаболизма микроорганизмов и трансмембранной проводимости клеток, что угнетающе действует на развитие растения.

При высоких концентрациях, кратных предельно допустимым (ПДК), тяжелые металлы:

- вступают в реакцию с органическими соединениями, регулирующими обменные процессы в почве и растении, с образованием токсичных металлоорганических соединений;

- подавляют процессы дыхания, фотосинтеза, синтез аминокислот и гидратацию, другие процессы жизнедеятельности и ускоряют окислительные процессы образования свободных радикалов, циклических азотсодержащих

соединений, побочные реакции образования органических соединений, токсинов и т.д.

- приводят к гибели наиболее чувствительных к тяжелым металлам микроорганизмов, развитию и деминерализации отдельных стойких к ним грибов, микромицетов и бактерий.

Для наиболее токсичных металлов, влияющих на биохимический и геохимический цикл, набор свойств приведены в таблице 4.9. Кроме прямого химического связывания, реакция кислого почвенного раствора в прикорневой зоне с фторапатитом кислотного почвенного раствора смещается к нейтральной зоне, при которой идут процессы образования гидроксидных солей и гидроксидов тяжелых металлов, что также снижает их токсические концентрации в почвенном растворе. Для ряда тяжелых металлов (медь, цинк, марганец, молибден) концентрации снижаются до микродоз, которые, наоборот, стимулируют метаболические процессы микроорганизмов и способствуют развитию и стрессоустойчивости растения.

Таблица 4.9. Токсичные металлов, влияющих на биохимический и геохимический цикл

Свойства	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg
Биохимическая активность	В	В	В	В	В	В
Токсичность	У	У	У	У	В	В
Канцерогенность	В	В	В	В	В	В
Обогащение глобальных аэрозолей	Н	Н	В	В	В	В
Минеральная форма распространения	В	Н	Н	Н	В	В
Органическая форма распространения	Н	Н	У	У	В	В
Подвижность	Н	Н	У	У	В	В
Тенденция к биоконцентрированию	В	В	У	У	В	В
Эффективность к накоплению	У	У	В	В	В	В
Комплексообразующая способность	Н	Н	В	В	У	У
Склонность к гидролизу	Н	У	В	В	У	У
Растворимость	Н	Н	В	В	В	В
Время жизни	В	В	В	В	Н	Н

Примечание: В – высокая, У-умеренная, Н – низкая

Таким образом, при внесении высококачественной фосфоритной муки с низким содержанием мышьяка и тяжелых металлов происходит биохимическая ремедиация загрязненных почв за счет связывания и блокирования процессов транслокации токсикантов в почве и сорбации растением, поддержанием разнообразия биоты и постепенным восстановлением нормальных процессов жизнедеятельности, включая циклы питания растений макро-, мезо- и микроэлементами с поддержанием микроконцентраций последних без ухода в область токсичных концентраций углеродного цикла – с исключением выделения  $\text{CO}_2$  и накоплением углерода в почве за счет гетеротрофной и хемофиксации с переходом неорганических форм углерода в органические.

Основная задача относительно поглощения углерода в сельском хозяйстве, сделать этот процесс необратимым с закреплением органического углерода в почве в многоцепочечные органические соединения. И сдвиг этого равновесия обеспечивают и агротехнологии и применяемые агрохимикаты. Сравнение методов поглощения углерода приведено в таблице 4.10.

Таблица 4.10. Преимущества и недостатки различных направлений декарбонизации

№	Сектор	Метод	Преимущества	Недостатки
1	Промышленное производство	Переход на возобновляемые источники энергии	Отсутствие углеродного следа производства и продукции	Отсутствие промышленно апробированных технологий производства водорода. Высокие капитальные и операционные издержки. Переход на новое аппаратное оформление технологии
1.1	Производство аммиака и минеральных удобрений	Хранение и утилизация $\text{CO}_2$ в подземных источниках	Возможность использования существующих традиционных технологий производства	Наличие природно-ландшафтных условий для подземного размещения диоксида углерода. Высокие капитальные затраты на организацию герметичных подземных хранилищ $\text{CO}_2$
2	Лесоразведение/лесовосстановление		Природный поглотитель диоксида углерода	Неполный период жизненного цикла с поглощением $\text{CO}_2$ . Наличие периодов с интенсивным выделением $\text{CO}_2$

				(пожары, гниение)
3	Регенеративное сельское хозяйство		Встраивание в хозяйственный цикл сельхозпроизводства. Использование CO <sub>2</sub> в агрономическом цикле. Перевод CO <sub>2</sub> в нелетучие органические соединения. Восстановление плодородного слоя почвы с увеличением количества гумусовых соединений. Отсутствие кардинальной перестройки агротехнологии и применяемой агротехники	

#### 4.4 Агроэкологические возможности жидких комплексных удобрений

Для создания многокомпонентной сбалансированной системы питания растений наибольшим потенциалом обладают базовые растворы – жидкие комплексные удобрения с высокой концентрацией питательных элементов, например, ЖКУ NP 11:37. Ценность таких систем – в возможности целенаправленного создания эффективной системы питания растений с синергией компонентов – макро-, мезо- и микроэлементов – внесением средств защиты растений, стимуляторов и результатов роста, оптимальным интервалом pH для усвоения питательных элементов как при корневом внесении, так и листовой подкормке. Длительная практика применения жидких рецептур позволила создать матрицу совместимости ее компонентов (рис 4.22), обеспечивающую максимальную агрономическую эффективность смесовых жидких рецептур и антагонизма между компонентами.

Выделим основные преимущества мультикомпонентных жидких систем питания растений, важных для производства улучшенной сельскохозяйственной продукции:

- равномерное (гомогенное) распределение компонентов по всему объему смеси;
- отсутствие проблем, связанных с пылеобразованием и слеживаемостью гранулированных удобрений при их транспортировке, перевалке и хранении;
- возможность создания смесовых рецептур и для питания, и для защиты растений с заданными свойствами;
- высокая агрохимическая эффективность и при корневом внесении, и при листовой подкормке;
- более высокая эффективность жидких форм удобрений, содержащих полифосфаты алюминия, на щелочных и карбонатных почвах, особенно в вегетационный период;
- возможность создания органо- и биокомбинированных рецептур, моделирующих оптимальные условия для вегетации и роста растений.

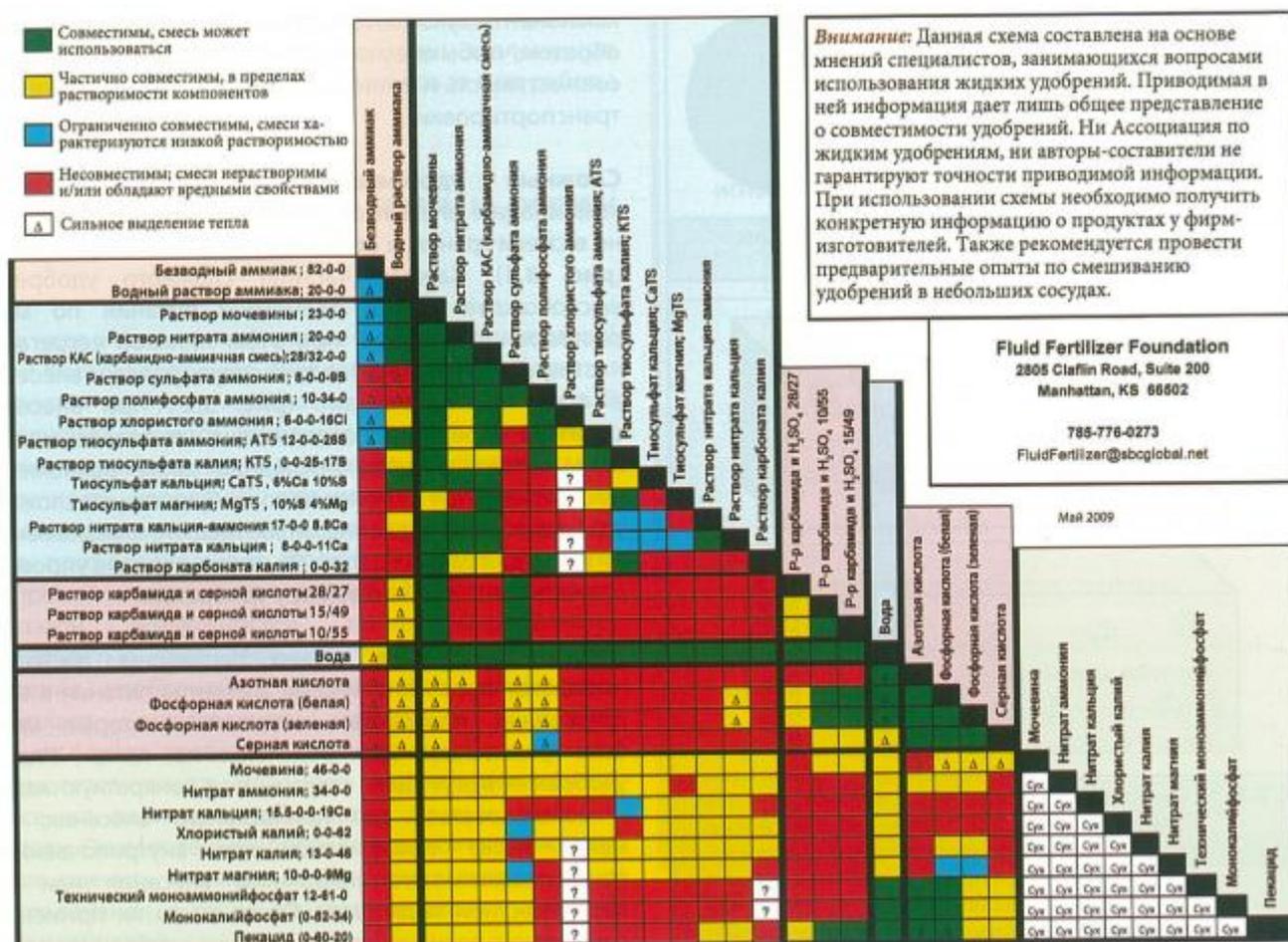


Рисунок 4.22 - Совместимость жидких удобрений в смесях (адаптировано из Fluid Fertilizer Foundation, 2009).

Жидкое органоминеральное удобрение способствует:

- при предпосевной обработке стимуляции роста и развития проростков, повышению всхожести семян и энергии прорастания, усилению развития корневой системы;
- усилению иммунитета растений, снижению грибковой и бактериальной заболеваемости, улучшению лежкости плодов;
- повышению устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды (недостатку или избытку осадков, низким или высоким температурам и др.), а также к применению ядохимикатов;
- улучшению качества продукции (увеличение содержания белка, клейковины, углеводов).

Преимущества жидкого органоминерального удобрения:

- гуминовые вещества, а особенно гуминовые кислоты и их соли (гуматы), являются биологически активными веществами, обладают высокой ростостимулирующей активностью;

- добавка микроэлементов приводит к дополнительной стимуляции ростовых процессов;

- удобрение хорошо адсорбируется на поверхности листьев и в почве, сочетается с пестицидами и NPK-удобрениями;

- карбамид в составе удобрения повышает пропускную способность кутикулы листков, что улучшает проникновение питательных веществ в растение.

Применение жидкого органоминерального удобрения технологически несложно, предполагает использование типовых технических средств, предназначенных для выполнения агрохимических работ, не требует больших затрат труда и средств. Правильное и своевременное выполнение работ по обеспечению растений макро- и микроэлементами совместно со средствами защиты растений позволяет добиться заметного повышения урожайности сельскохозяйственных культур и улучшения качества продукции.

Многолетними полевыми исследованиями (Владимирский, 1984; Сергеева, 2015 и др.) установлено улучшение качества урожая белокочанной капусты, томата, лука, яблок, проявившееся в увеличении содержания витамина С, дисахаридов, витаминов, клетчатки.

За счет комплексообразующего эффекта жидкие комбинированные составы проявляют экологическую эффективность на загрязненных и нарушенных почвах, блокируя трансляцию катионов токсичных металлов (кадмия, свинца, ртути и др.) в системе «почва-удобрение-растение».

Особенности и преимущества применения жидких форм удобрений на основе базовых растворов полифосфатов аммония (ЖКУ 10:34; 11:37; 12:40) как при индивидуальном применении, так и комбинированном подробно рассмотрена в зарубежных и российских работах. В статье Носова В.В.

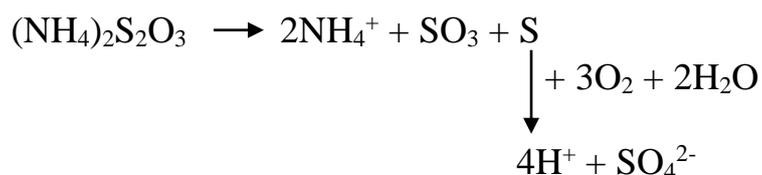
приведен системный обзор применения ЖКУ [111]. В качестве актуальных примеров эффективного использования ЖКУ в условиях Российской Федерации можно привести статью Моквинцева А.Ю. и др. [112]. В настоящее время ведущие производители минеральных удобрений продолжают вести исследование влияния систем питания на основе жидких и гранулированных удобрений.

Близкий к нейтральному рН базовых растворов ЖКУ не требует специального исполнения, оборудования для создания мультикомпонентных жидких рецептур и не приводит к щелочному гидролизу определенных групп химических средств защиты растений. Единственным ограничительным условием является необходимость приготовления рецептур непосредственно перед применением; однако, такое же условие применимо и к применению сухих смесей гранулированных удобрений.

На основе базовых растворов ЖКУ раствора карбамида аммиачной смеси КАС-32, сульфата аммония или тиосульфата аммония, микроэлементов в хелатной форме с различными комбинациями средств защиты растений, регуляторов и стимуляторов роста можно создать практически любые системы питания растений (таблица 4.11).

Применение сульфата аммония/тиосульфата аммония обеспечивает создание высокоэффективных сульфатсодержащих смесей/рецептур, роль которых в последнее время значительно возрастает.

Применение тиосульфата аммония дает комплексный эффект за счет протекающих в почве окислительно-восстановительных реакций



За счет этих реакций сера представлена в 3-х видах:

1. сульфитной, которая доступна для корневой зоны растений практически сразу после внесения;

2. сульфатной, образующейся в результате окислительного процесса в течение нескольких недель после внесения;

3. элементарной серы как промежуточного продукта, обладающего бактерицидным и противопатогенным действием в почве.

Таблица 4.11. Физико-химические показатели ЖКУ 11:37

Объект контроля	Наименование показателей, единица измерения	Гарантируемое содержание	Метод количественного химического анализа
ЖКУ марки 11:37	Азот аммонийный, %	н/м 11	хлораминовый
	Фосфаты общие (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ), %	н/м 37	дифференциальный фотометрический
	Фосфаты орто (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> орто), в виде PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , %	по факту	дифференциальный фотометрический
	Полифосфаты (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> полиф), %	(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> орто)	расчетный
	Степень конверсии, %	н/м 65	расчетный: (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> орто)/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ × 100
	Калий (K), %	н/б 0,05	пламенно-фотометрический
	Кадмий (Cd), ppm	н/б 0,5	атомно-абсорбционный
	Алюминий (Al), %	н/б 0,4	комплекснометрический
	Железо (Fe), %	н/б 0,5	атомно-абсорбционный
	Магний (Mg), %	н/б 0,2	атомно-абсорбционный
	Кальций (Ca), %	н/б 0,05	перманганатометрический
	Сульфаты (SO <sub>3</sub> ), %	н/б 2,5	гравиметрический
	Фтор (F), %	н/б 0,12	потенциометрический
	Цинк (Zn), %	н/б 0,002	атомно-абсорбционный
	Натрий (Na), %	н/б 0,02	пламенно-фотометрический
Температура кристаллизации, °C	Не выше минус 20°C	физический	

Сульфат и тиосульфат аммония обладают свойствами улучшителей минерального питания жидких форм за счет ингибирования процессов аммонификации и нитрификации азота в почве, создания эффекта пролонгации азотного питания за счет ингибирования активности почвенного фермента уреазы и подавления деятельности нитрифицирующих бактерий.

Использование в качестве базового раствора ЖКУ 11:37 создает уникальную возможность жидких NPKS-композиций с практически любым соотношением питательных элементов.

Создание на основе жидких комплексных или минеральных удобрений оптимальных рецептур питания растений гармонично сочетается с агротехнологией их точного дифференцированного внесения.

#### **4.5. Роль кремнийсодержащих веществ**

Деградация почвенного покрова, загрязнение окружающей среды, снижение качества сельскохозяйственных продуктов, глобальные изменения климата, дефицит энергоресурсов требуют широкого внедрения новых, экологически безопасных и вместе с тем высокоэффективных методов ведения сельского хозяйства. Во многом деградация сельскохозяйственных угодий и снижение качества сельскохозяйственной продукции связаны с несбалансированным питанием растений [113-115]. О необходимости возврата вынесенного с урожаем кремния (Si) настаивал автор теории минерального питания растений Ю. Либих (1864) [116], оперируя данными об общем содержании кремния в растениях, моно и поликремниевых кислотах в почвах. В своем труде «Химия в приложении к земледелию» Ю. Либих указывал на четыре основах макроэлемента – азот, фосфор калий и кремний. Высокая распространенность кремния в почве (от 200 до 350 г Si кг<sup>-1</sup> в глинистых почвах и от 450 до 480 г Si кг<sup>-1</sup> в песчаных) обеспечивает значимую роль элемента в процессах почвообразования и формировании плодородия почв [117]. Кроме твердых форм кремния, представленных различными минералами, в почве и почвенных водах содержатся растворимые формы Si: мономеры и полимеры кремниевой кислоты [118]. Растения, в том числе и культурные, поглощают только мономеры кремниевой кислоты и ее анионы [119]. Ежегодно сельскохозяйственными растениями безвозвратно выносятся от 20 до 700 кг/га Si [120, 121]. Эта величина сопоставима с выносом таких макроэлементов как фосфор, азот и

калий. Поскольку кремний является структурообразующим почвенным элементом, влияющим на уровень почвенного плодородия, постоянный его вынос приводит к ускорению деградации почв [122]. Возникающий в результате дефицит кремния как питательного элемента резко снижает природные защитные свойства сельскохозяйственных растений, что приводит как к снижению урожайности, так и необходимости увеличивать дозы средств химической защиты растений, что отрицательно влияет на качество продукции [123]. Также известно свойство кремния подавлять или снижать токсичность тяжелых металлов.

Облегчающая роль кремния в отношении марганца (Mn) в культуре ячменя впервые была обнаружена в 1957 году. [124, 125]. Хотя кремний не способен воздействовать на весь марганец в листьях ячменя, он способен равномерно распределять его по всему листу и не позволяет марганцу концентрироваться в отдельных некротических пятнах [126].

Кроме того, функция кремния в снижении токсичности Mn широко описана в рисе [127], сорго [128], кукурузе [129], огурцах [130, 131].

Кроме того, кремний снижает токсичность кадмия (Cd), возникающую за счет повышения pH в процессе детоксикации. Сообщалось, что поглощение Cd растениями снижается за счет увеличения количества, получаемого Si и повышения pH [132]. Кремний сводит к минимуму поглощение ионов металлов и ограничивает трансформацию токсичных металлов между корнями и побегами проростков риса, выращенных в Cd. Отложение Si вокруг эндодермы дает возможность контролировать транспортировку апопласта Cd за счет физического препятствия обходному потоку апопласта в корне [133]. Обработка кукурузы Si в условиях стресса Cd значительно увеличила биомассу растения за счет снижения доступности Cd и повышения pH почвы. Смягчающая функция Si в отношении токсичности Cd не ограничивается иммобилизирующей ролью за счет повышения pH почвы, Si также способствует детоксикации Cd в кукурузе [134].

Соединения кремния в почвах преобладающей частью унаследованы от почвообразующих пород, хотя они и трансформируются в ходе почвообразования. В то же время источниками органических соединений углерода в почвах служат растительные и животные остатки. Таким образом, в почвах соединения этих двух элементов – Si и C – отражают влияние двух факторов почвообразования: почвообразующей породы и живых организмов соответственно.

Интересно подчеркнуть, что для этих двух элементов характерен наибольший диапазон колебаний их содержания в почвах. Органические соединения углерода могут составлять до 95/99% всей массы почвы в горизонтах подстилки, торфянистых и других органогенных горизонтах. В подзолистых же почвах, особенно в горизонте A<sub>2</sub>, во многих песчаных почвах содержание органического углерода не превышает десятых и даже сотых долей процента.

Взаимодействие соединений кремния и органических веществ, приводящее к образованию минералоорганических соединений или глинисто-гумусовых комплексов, составляет характерную и одну из наиболее важных черт почвообразования. Таким образом, по характеру соединений, поведению и функциям в почве эти два элемента, несмотря на их специфику, имеют довольно много общего.

Общее значение и роль соединений кремния в почвах определяется следующими основными положениями.

1. Соединения кремния в большинстве почв и горизонтов создают их материальную основу, основной костяк почвенной массы, выполняя тем самым важнейшую конституционную роль.

2. Количественное распределение кремния по почвенному профилю служит одним из важнейших показателей типа протекающих процессов.

3. С соединениями кремния непосредственно связаны многие важнейшие свойства почв. От содержания и состава алюмосиликатов – глинистых минералов зависят связность и липкость почв, их набухаемость,

емкость катионного обмена и др. В глинистых и тяжелосуглинистых почвах даже инертный кварц может играть положительную роль, улучшая водно-воздушный режим почвы. Поэтому для многих тяжелых по механическому составу почв рекомендуется пескование как мелиоративный прием.

4. Кремний входит в состав растений и при некоторых условиях влияет на урожай. Содержание кремния в золе растений колеблется в очень широких пределах: от 0,5-2,5% в водорослях и грибах и почти до 30% в хвощах. Довольно много кремния в золе злаков – до 18-20%. Во многих организмах (особенно морских) соединения кремния выполняют скелетные функции. Кремний нужен организмам и как микроэлемент. На очень бедных доступными фосфатами почвах кремний повышает урожай некоторых культур. Опыты на Ротамстедской опытной станции показали, что добавление силиката натрия на фоне нитратных удобрений повысило урожай зерна ячменя на 3,6 ц/га (табл. 4.12). На фоне ионов  $K^+$  и  $NO_3^-$  – прибавка составила 4,4 ц/га, тогда как при внесении фосфорных удобрений прибавка урожая была минимальной. Эти опыты позволяют считать, что внесение в почву растворимых форм соединений кремниевой кислоты повышает доступность растениям фосфатов.

Платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия предусматривает использование кремниевых удобрений и кремнийсодержащих стимуляторов роста, направленных на улучшение характеристик продукции.

Таблица 4.12. Влияние силиката натрия на урожай зерна ячменя, ц/га

Удобрение (варианты)	Урожай зерна	
	без добавки силиката	с добавкой силиката
Нитраты	15,3	18,9
Нитраты + фосфаты	23,6	24,4
Нитраты + калийные соли	16,0	20,4
Нитраты + калийные соли + фосфаты	23,1	24,9

Можно выделить несколько типов кремниевых удобрений: синтетические, удобрения на основе растительных остатков, некоторые горные породы, отходы промышленности.

В результате исследований было установлено, что различные кремниевые удобрения (аморфный диоксид кремния, кремнегель, силикаты кальция, калия, натрия) способны увеличивать содержание подвижных фосфатов в почвах [135-137]. В ряде работ было доказано, что внесение кремнийсодержащих мелиорантов приводит к снижению выноса фосфатов из верхнего горизонта почв [138-140]. Фосфат-анионы адсорбируются на поверхности вносимых кремнийсодержащих препаратов. При этом возможна только физическая адсорбция, в результате которой происходит снижение их подвижности без химической фиксации [139]. В результате этого процесса повышается эффективность вносимых фосфорных удобрений и осуществляется защита природных вод от загрязнения фосфатами [141]. Взаимодействию азота и кремния также уделяют большое внимание. Доказано, что совместное внесение азотных и кремниевых удобрений положительно влияет как на возделываемые растения, так и на свойства почвы [142-144]. Кремниевые соединения оптимизируют питание растений не только фосфором и азотом. Улучшение кремниевого питания повышало устойчивость растений к неблагоприятным условиям [145, 146]. При внесении кремнезема на рисовые чеки и в тепличные грунты увеличивалось поступление кислорода в растение [147, 148]. Обладая хорошей адсорбционной способностью, кремниевые удобрения снижали подвижность, а, следовательно, и вымывание калия и других питательных веществ из пахотного слоя [149].

В настоящее время, на основе исследований получены новые, инновационные, кремнийсодержащие удобрения и препараты.

Например, разработанный инновационный продукт «АпаСил» с содержанием 31,5% аморфного оксида кремния, в котором кремний является биологически активным, стимулирует обменные процессы между почвой и

растением, придавая особые свойства сельскохозяйственной продукции и продуктам питания при последующей переработке, например, стекловидность.

Применение. «АпаСил» рекомендован для обработки семян и некорневой подкормки растений (табл. 4.13).

Эффективность. «АпаСил» успешно испытан на многих сельскохозяйственных культурах в сотрудничестве с ведущими научными центрами России и за рубежом.

Таблица 4.13. Рекомендации для сельскохозяйственного производства:

Культура	Доза применения	Время, особенности применения
Зерновые культуры, картофель, технические, кормовые культуры	25-100 г/т Расход рабочего раствора – 10-30 л/т	Предпосевная обработка семян
Зерновые культуры	25-50 г/га Расход рабочего раствора – 150-300 л/т	Некорневая подкормка растений в фазе кущения-флаговый лист
Кукуруза	25-50 г/га Расход рабочего раствора – 150-300 л/т	Некорневая подкормка растений в фазе 5-7 листьев
Рис	50-100 г/га Расход рабочего раствора – 100-300 л/т	Некорневая подкормка растений в фазе полных всходов (при высоте растений 10-15 см) и в фазе кущения

Максимальные прибавки урожайности в полевых опытах от применения «АпаСил» составляли более 20% на зерновых культурах, картофеле и томате (табл. 4.14).

Таблица 4.14. Максимальные прибавки урожайности от АпаСила

Культура	Прибавка
Озимая пшеница	+ 26%
Яровая пшеница	+ 22%
Яровой ячмень	+ 23%
Яровой рапс	+ 136% (жесткая засуха)
Картофель	+ 24%

Томат		+ 28%
Свекла столовая		+ 11%
Морковь		+ 7%
Виноград	Некорневые подкормки	+ 84%
Персик		+ 32%
Яблоня		+ 16%

На яровом рапсе в условиях жесткой засухи прибавка урожайности достигла 136%. Товарная урожайность свеклы столовой возросла на 11%, а моркови – на 7%. На винограде за счет сильного подавления развития грибных болезней прибавка урожайности достигала 84%. Высокая прибавка товарной урожайности в 32% наблюдалась на персике, а на яблоне зафиксирован 16% прирост.

В 2017 году проведены исследования препарата «Ковелос», представляющего собой высокочистый аморфный диоксид кремния (98%) с высокоразвитой поверхностью, на ростовые и биохимические показатели культурных растений на ранних стадиях онтогенеза. Полученные данные показали, что при использовании аморфного диоксида кремния «Ковелос» хорошо отзываются увеличением всхожести (на 4-7%) семена овощных культур. Увеличивается длина зародышевых корешков побегов у бобовых и овощных культур на 20-50%. Выявлено, что препарат «Ковелос» закономерно увеличивает концентрацию аскорбиновой кислоты в побегах испытываемых семян на 10-17 %, что повышает стрессоустойчивость по отношению абиотическим факторам (низкая или высокая температура, низкая или высокая влажность, недостаточная освещенность). Применение указанного препарата в виде удобрения существенно повышает качество рассады овощных культур и биологические показатели зеленых культур.

Кроме того, был проведен полевой эксперимент по влиянию аморфного диоксида кремния на урожайность, физиологические и морфометрические показатели картофеля сорта «Жуковский ранний». Выявлено, что предпосевная обработка клубней методом опудривания (3 г/кг) привела к повышению урожайности картофеля на 13,8% по сравнению с контрольной

посадкой. Отмечено стимулирующее воздействие препарата на показатели роста и чистую продуктивность фотосинтеза картофеля.

Препарат «Ковелос» также может быть использован при химической мелиорации почв, для интенсификации биологических процессов у фитомелиорантов и повышения почвенного плодородия.

Современные тенденции развития сельского хозяйства, повышение требований к качеству сельскохозяйственной продукции, необходимость восстановления почвенного плодородия деградированных почв, поиск альтернативы химическим средствам защиты растений привели к повышению интереса к кремнийсодержащим удобрениям и почвенным мелиорантам. Начиная с 2000 года, производство кремниевых удобрений ежегодно повышается на 20-30%. Многие страны, прежде не применявшие кремниевые удобрения, в настоящее время успешно их внедряют. Так, сегодня кремниевые удобрения используют в Японии, Южной Корее, Китае, Индии, Колумбии, Мексике, США, Австралии, Бразилии. Международные конференции, посвященные применению кремния в сельском хозяйстве, были проведены в США, Японии, Бразилии, России, ЮАР, Китае. Научная литература по кремниевым удобрениям или кремниевым почвенным мелиорантам насчитывает несколько тысяч единиц.

Однако, несмотря на высокую эффективность кремниевые удобрения остаются весьма ограниченно применяемыми агрохимикатами и знания о роли активных форм кремния в системе почва-растение по-прежнему известны только узкому кругу специалистов. Решение таких задач, как развитие экологически чистого земледелия и устойчивого сельского хозяйства, а также обеспечение продовольственной независимости затруднено без широкого применения кремниевых удобрений и почвенных мелиорантов [150].

#### **4.6. Биоминеральные вещества**

Биологизация сельского хозяйства для повышения его эффективности и экологичности один из ключевых инструментов платформы улучшенной

сельскохозяйственной продукции и продовольствия. Ниже приведена общая концепция адаптивного биологизированного земледелия, сформулированная НПО «Биотоп» [33].

В системе адаптивного биологизированного земледелия выделяется 4 основных принципа-технологии:

1. Применение химических средств защиты совместно со специальными биологическими препаратами, на основе сложных синтрофных микробных ассоциаций, способных приживаться в почве и производить коррекцию (исправление) микробных сообществ, в которых сильно накопились возбудители корневых гнилей и других болезней растений.

2. Использование технологии работы с пожнивными остатками (фактически в современных аграрных реалиях – единственный источник углерода для почвы). Здесь также используются сложные микробные препараты, которые превращают солому в микробный компост, восстанавливающий здоровье почвы, разрушающий плужную подошву и увеличивающий влагоемкость почвы.

3. Система некорневых подкормок растворами минеральных удобрений, аминокислотами в фазы формирования элементов урожайности сельскохозяйственных растений. В данном случае применение минеральных удобрений по листу примерно в 3-5 раз эффективней их внесения в почву, и при кратности обработок дает возможность отказаться от агроприема, который называется основным внесением удобрений, а также значительно сократить их дозы внесения на гектар (рис. 4.23).

4. Для тех, кто готов и может: внедрение систем берегающего земледелия Stripp-Till и No-Till с четким пониманием и разделением этих моделей как на сухостепную, так и для зоны достаточного увлажнения.

Эта концепция органично сочетается с платформой улучшенной сельскохозяйственной продукции в части высокоэффективной агрохимии и агротехнологии с низким воздействием на окружающую среду.

Задачей агрохимии и агротехнологии улучшенной сельхозпродукции является синхронизация потребностей растений в различных фазах жизненного цикла с обеспечением необходимым минеральным питанием, ферментами, аминокислотами, витаминами, фитогормонами, полисахаридами, глюкозидами и т.д.

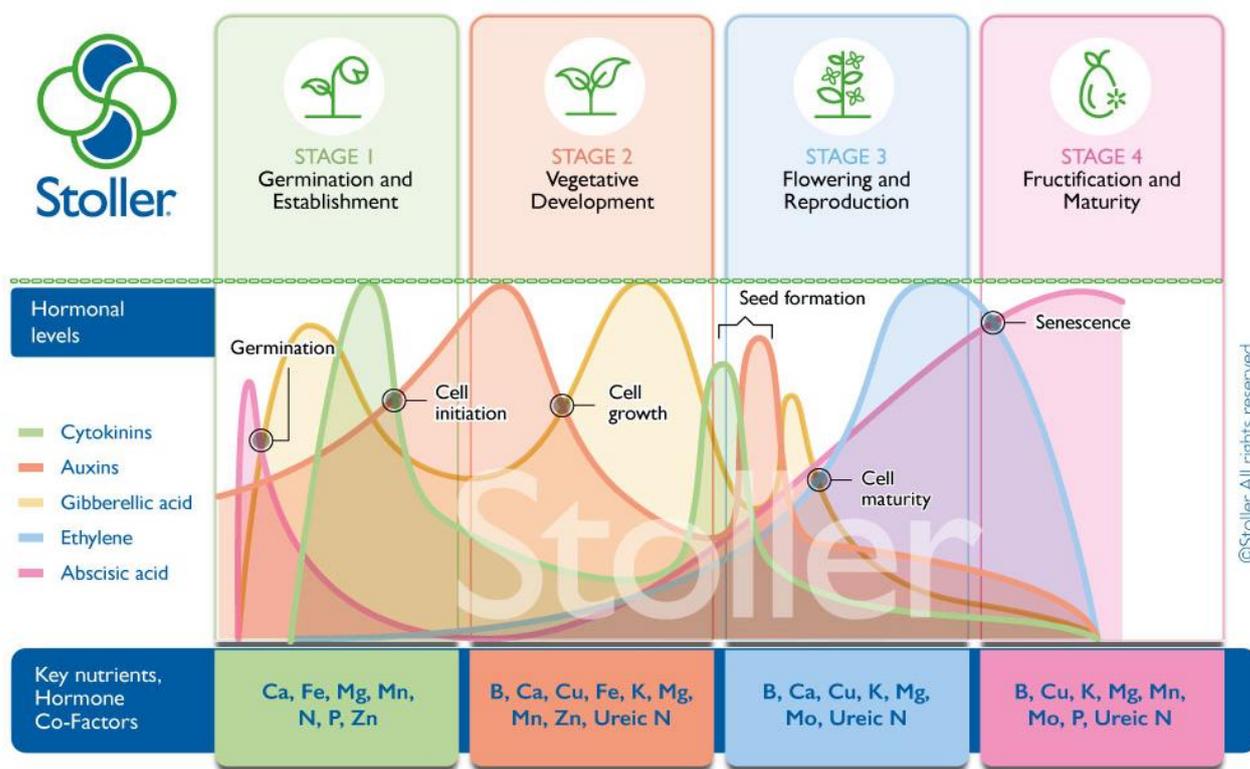


Рисунок 4.23 - Гормональный профиль растений на различных стадиях жизненного цикла

Сбалансированные биоминеральные удобрения с содержанием указанных компонентов в усвояемой форме. Применение таких форм удобрений возможно на всех стадиях жизненного цикла растения: предпосевной обработки семян, корней при посадке/пересадке саженцев деревьев, кустарника и рассады овощных культур, некорневой подкормки на стадии вегетации растения, корневой подкормки на стадии созревания плодов. Особенно ценно использование биоминеральных удобрений на первых стадиях прорастания семян, когда корневое питание затруднено из-за недостатка влаги, перепадов температур, низкой температуры и других

стрессов. Обработка накопленного огромного массива данных по профилю потребности растений в питательных органических веществах, гормонах, витаминах и т.д. с помощью современных цифровых инструментов позволит подобрать оптимальные системы питания и защиты растения на разных этапах жизненного цикла. Соответственно достигается решение задач *minmax*: минимизация потерь полезных компонентов и загрязнения окружающей среды и максимизация экономических показателей сельскохозяйственного производства.

Изучение микробиома почвы с количественной расшифровкой состава микроорганизмов, мицелл, грибов, в том числе патогенов, обеспечивает донастройку оптимальной среды для развития корневой системы растения и усиления обменных процессов на стадии вегетации для противодействия абиотическим стрессам.

Механизм такой донастройки основан на:

1. активации полезной микрофлоры за счет соответствующих неорганических и органических соединений (аминокислоты, ауксины, микроэлементы в хелатной форме, органические углерод и сера);

2. дополнения почвенного микробиома полезной микрофлорой, отсутствующими аминокислотами, ферментами и фульвокислотами. Вытеснение за счет насыщения полезной микрофлорой патогенных микроорганизмов и защита растения в период вегетации от болезней и вредителей. Активация фотосинтеза пептидов и белков без побочных реакций и продуктов метаболизма с сохранением чистой ризосферной зоны;

3. обогащение ризосферной зоны рядом аминокислот (аргинин, валин, лизин, глутамин и другие) повышает устойчивость растения к воздействию пестицидов.

Ниже приведены основные функции различных составляющих сбалансированных рецептур питания растений (обобщение сделано компанией «Агромастер»).

### *Аминокислоты*

Аминокислоты очень важны для энзимного и структурного белка. Они играют главную роль в большинстве метаболических процессов. Самые важные аминокислоты для выполнения различных метаболических функций: Триптофан как предшественник ауксина (присутствие триптофана помогает молодым корням расти и укрепляться); Аргинин и Аспарагиновая кислота – главные посредники для проникновения в корни питательных веществ, которые выступают в качестве предшественников гормональных субстанций для воздействия на корни.

Аминокислоты, связываясь друг с другом, образуют белки, важнейшие структурные составляющие растительной ткани, имеющие сложные разнообразные функции в клеточном метаболизме.

L-аминокислоты, имеющие пространственную форму в виде буквы L, способны полностью обеспечить нужды и физиологические потребности растения, связанные с метаболизмом.

Согласно общеизвестному закону минимума (если хоть один реагент присутствует в недостаточном количестве, реакция замедляется), чрезвычайно важно сбалансированное количество аминокислот для растения, чтобы ускорить реакцию синтеза белка, быстроту насыщения питательными элементами и улучшить качество продукции. Для эффективного действия агрохимиката содержание аминокислот в нем должно быть меньше 10%.

Общеизвестно, что аминокислоты в комбинации с другими активными растительными ингредиентами, полученными из экстрактов, ценны не только потому, что повышают производственный потенциал сельхозкультур, но и потому, что повышают способность растения противостоять и преодолевать стрессы от изменения температуры и других факторов. Растительные гормоны, триптофан, пролин и бетаин помогают преодолеть задержку в росте.

### ***Стероиды глюкозидов (сапонины)***

Эти субстанции являются энергетическими факторами роста, стимулируя ростовые процессы и активность меристемных тканей на

начальных стадиях, повышая проницаемость клеточной мембраны для воды и питательных элементов. Их особенно много в корневых отростках.

### ***Бетаины***

Бетаины имеют свойство усиливать проницаемость клеточной мембраны для воды, повышать фотосинтез и сопротивление биотическим и абиотическим факторам стресса.

### ***Полисахариды***

Полисахариды являются составляющими компонентами клеточных стенок. Посредством их разложения на более простые сахара, они способны поддержать рост корня, позволяя ему разрастаться, а также улучшать процессы созревания и окрашивания плодов.

Кроме того, полисахариды стимулируют развитие полезных почвенных микроорганизмов, существенно повышая плодородие почвы.

Олигосахариды стимулируют синтез фитоалексина, неспецифического растительного антибиотика с высоким защитным действием (обусловленным антивирусными реакциями).

Глутатион является важным компонентом самозащиты растений, помогая вымывать из сока растений токсины, образованные во время инфекционного процесса (антитоксические реакции).

Ламинарин и 1,3-бетаглюканы активируют систему природной защиты растений (SAR) для борьбы с патогенными грибами.

### ***Гуминовые и фульвокислоты***

Благодаря своей коллоидной природе этот органический молекулярный комплекс содержит большое количество питательных элементов и способствует их лучшему усвоению корневой системой растения. Он влияет на способность катионов к обмену (СЕС), поддерживая высокую реактивность почвы и улучшая растворимость минералов посредством стимуляции корневой системы и точки роста корня. При этом повышается проницаемость клеточных стенок корней. Кроме того, эти кислоты активизируют почвенную микрофлору.

### ***Альгиновая кислота***

Альгиновая кислота, важный компонент клеточных стенок водорослей группы *Algae*, состоит из цепочек маннурановой и гилурановой кислот.

Среди их характеристик наиболее важной является способность воздействовать на процесс задержания влаги в корнях. В действительности цепочки альгиновой кислоты поглощают воду, сохраняя ее для корней, уменьшая тем самым потенциальный стресс растения из-за недостатка влаги. Альгиновая кислота в почве образует нерастворимый гель с кальцием и натрием, который благотворно влияет на структуру почвы, почвенную реакцию и способствует лучшей циркуляции воды, что, свою очередь, улучшает рост корней.

Альгиновая кислота образует комплекс с ионами питательных веществ в почве, способствуя их более полному поглощению и усвоению корневой системой растения.

### ***Регуляторы роста***

Препараты, входящие в группу под общим названием «регуляторы роста», обладают возможностями изменять естественный процесс развития культур, в т.ч. улучшают их адаптацию к новым условиям произрастания, помогают противостоять стрессу, чем повышают урожайность и качество продукции. При этом действие их может быть как стимулирующим, так и сдерживающим (ретарданты). Создание эффективных химических и биологических регуляторов роста растений сегодня относят к актуальному направлению научного поиска — нанотехнологиям, поскольку в маленьких дозах (мг или г на 1 гектар) они влияют на ростовые процессы и могут защитить растения от различных стрессов. К природным регуляторам роста относят фитогормоны, ингибиторы роста и витамины.

Известно 6 основных эндогенных фитогормонов: ауксин, гиббереллин, цитокинин, абсцизин, этилен и брассин (табл. 4.15). Каждый из них имеет синтетические аналоги. К уже известным и изученным группам фитогормонов в наше время выделено еще несколько эндогенных

регуляторных веществ: brassinостероиды, жасминовая и салициловая кислоты, некоторые олигосахариды [151].

Синтезированы и синтетические регуляторы роста. Их получают в результате органического синтеза. В основе химической формулы регуляторов роста для культур лежат фитогормоны и вторичные ростовые вещества (аминокислоты, алкалоиды, карбоновые кислоты, лактоны, липиды, терпеноиды, флавоноиды).

Таблица 4.15. Регуляторы роста растений

<b>Фитогормон</b>	<b>Описание</b>
Ауксин	отвечает за развитие корневой системы, регулирует поступление и распределение питательных веществ и воды, увеличивает зеленую массу
Гиббереллин	ускоряет прорастание семян, процесс цветения и формирование плодов, оптимизирует урожайность, выводит из состояния покоя клубни и луковицы, помогает накапливать питательные вещества
Абсцизин	подавляет действие гормонов-стимуляторов при резком ухудшении состояния окружающей среды, в целях сохранения урожая, способствует опаданию листьев, подавляет испарение влаги с листьев в период засухи, продлевает сроки хранения урожая, стимулирует образование защитных чешуек, которые покрывают спящие почки в холодный период, останавливает первичный и вторичный рост
Этилен	ускоряет старение клеток, тормозит деление клеток, формирует окраску, характерную для зрелых плодов, помогает растению бороться со стрессом, индуцирует цветение некоторых растений, изменяет соотношение мужских и женских цветков у некоторых сортов культур, способствуя увеличению числа завязей
Цитокинин	регулирует зарождение и рост почек, способствует процессу старения листьев, увеличивает количество семян в плодах, а также их всхожесть, положительно влияет на массу, сахаристость и крахмалистость корнеплодов и клубней
Браassin	способствует нормальной работе иммунной системы растения, вырабатывает иммунитет к болезням

К синтетическим регуляторам роста также относят следующие ингибиторы — ретарданты и морфактины.

Водоросли группы *Algae* и особенно *Ascophyllum nodosum*, в отличие от обычных растений, чрезвычайно богаты растительными гормонами вследствие постоянного сурового воздействия на них окружающей среды (приливы-отливы, низкая температура, слабая освещенность и т.д.). Соответственно, экстракты из них содержат большое количество главных природных гормонов, таких как:

- цитокинин (активирует клеточное деление);
- ауксин (активирует клеточное деление в период цветения и образования завязи);
- гиббереллины (активируют многие важные процессы роста и развития, но особенно важно – специфическое стимулирование роста клеток плодов, что увеличивает их размер);
- бетаины (в частности, глицинбетаин, схожее действие с ауксином).

Наличие физиологически активных компонентов в комбинированных агропрепаратах направлено на расширение диапазона активных обменным процессов – температурного при повышенном солесодержании, кислотности среды.

Кроме того, достаточно широкий ряд пестицидов чувствительны к цепочной среде, подвергаясь гидролизу. Оптимальный интервал для эффективного минерального питания и применения пестицидов без побочных реакций и потере эффективности действующего вещества  $5,5 \leq \text{pH} \leq 6,5$

### ***Полиамины***

Разработка новых, эффективных систем питания и защиты растений должны осуществляться с включением в такие системы веществ, направленных на адаптацию растений к биотическим и абиотическим стрессам (засуха, холодовой стресс и т.д.), которые также входят в

платформу производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия.

Полиамины представляют собой низкомолекулярные алифатические азотистые основания, содержащие две или более аминогрупп. Они вырабатываются организмами в процессе метаболизма и присутствуют почти во всех клетках.

Исследования показали, что полиамины не стоит рассматривать просто как защитные молекулы, а скорее, как соединения, которые участвуют в сложной системе передачи сигналов и играют ключевую роль в регуляции устойчивости к стрессу [152].

Поскольку они играют важную роль в разнообразных процессах роста и развития растений, а также в ответах на стресс окружающей среды, они рассматриваются как новый вид растительных биостимуляторов. С развитием методов молекулярной биотехнологии появляется все больше свидетельств того, что PAs, будь то применяемые экзогенно или полученные эндогенно с помощью генной инженерии, могут положительно влиять на рост растений, продуктивность и стрессоустойчивость [153]. Развитие методов и технологий синтеза экологичных и эффективных поверхностно-активных веществ из растительного сырья открыл целую нишу продуктов с зеленым имиджем. Их отличительными особенностями являются:

- полная разлагаемость в природной среде;
- отсутствие биоаккумуляции остаточных количеств продуктов расщепления в природной среде;
- незначительный углеродный след и минимальное воздействие на озоновый слой;
- соответствие технологии основным принципам зеленой химии с минимальным образованием побочных продуктов, стоков и выбросов;
- возможность вторичной переработки без потери физико-химических свойств продукта;

- биологическая и химическая совместимость с биопрепаратами, агрохимикатами, действующим веществом химических средств защиты растений без снижения их биоэффективности и образования нежелательных побочных продуктов.

В частности, адъюванты на основе органосиликоновых и неионогенных ПАВ (как правило, с солюбилизатором) эффективны и практически не имеют экологического следа от применения.

Эффективность кремнийорганических ПАВ как тензидов, как правило, превосходит ПАВ на углеводородной основе.

Кислородный мостик Si – O или O – Si – O слабо взаимодействует с водой и дает эффект поверхностного мономолекулярного растекания, что делает тонкие слои полисилоксанорганических соединений поверхностно-активными.



Полное отсутствие летучести делает их незаменимыми при распылении практически без газообразных потерь, в том числе и в ветреную погоду, что делает их уникальными для применения в качестве адъювантов суперсмачивателей-пенетрантов.

Биологическая инертность к тканям растения, совместимость практически со всеми видами пестицидов обеспечивают снижение рабочих расходов агрохимикатов и пестицидов и тем самым обеспечивает снижение воздействия на окружающую среду.

Адъюванты на основе ПАВ также обеспечивают стрессоустойчивость растений к засухе, перепаду температур, защищает от ультрафиолетового излучения, способствует восстановлению поврежденных тканей.

К настоящему времени накоплен огромный набор решений и продуктов для оптимального питания растений с практическим отсутствием негативного воздействия на окружающую среду.

#### **4.7. Совершенствование технологии внесения питательных веществ**

В марте 2022 года Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) утвердило национальный стандарт по использованию систем искусственного интеллекта (ИИ) в сельском хозяйстве. Отечественная разработка Cognitive Agro Pilot уже получила практическое применение; часть агротехники для внесения удобрений и обработки почвы и уборки урожая уже оснащено автоматизированной системой Cognitive Agro Pilot. Это первая в мире промышленная система автоматизированного управления сельскохозяйственной техникой с использованием искусственного интеллекта. Автопилот устойчиво работает в сложных погодных условиях и в любое время суток. За счет программы распознавания образов автопилот успешно работает и в сложных ландшафтных условиях при наличии препятствий.

Применение Cognitive Agro Pilot позволяет сократить сроки уборочных работ (до 25%), прямые потери урожая до 13% и снизить удельный расход топлива.

За счет использования глобальных спутниковых навигационных и геоинформационных систем реализуется комплекс мероприятий по эффективному дифференцированному внесению оптимизированных систем питания. Интеграция баз данных и информационных систем электронных карт полей по урожайности сельхозкультур и агрохимическому картированию полей с системой Cognitive Agro Pilot обеспечивает точное дифференцированное внесение удобрений. При этом доступны режимы offline (автономный) и online (режим реального времени).

Наиболее сложен в исполнении, но и наиболее эффективен, режим реального времени online, в котором происходит непосредственное определение питательных веществ в почве от датчика, установленного на сельскохозяйственной технике. Для внесения жидких удобрений в режиме

online используют полевой штанговый опрыскиватель, оснащенный системой навигации, бортовым компьютером и датчиком азота.

Применение оптимизированных систем питания на основе современных агротехнологий и агротехники обеспечивает решение задач «зеленой» платформы производства улучшенной сельскохозяйственной продукции:

- точное внесение питательных веществ и необходимых компонентов по феностадиям развития растений с учетом их потребностей;
- снижение механических и агрохимических потерь удобрений и соответственно экологического воздействия на окружающую среду;
- снижение до минимума химического следа сельхозпродукции за счет химических средств защиты растений низших классов опасности и увеличения доли применения биологических средств защиты;
- снижение потерь урожая сельскохозяйственных культур;
- снижение экологического следа сельхозпродукции за счет выбросов парниковых газов в результате интегрального эффекта снижения удельных расходов минеральных удобрений, их потерь снижения удельного расхода ГСМ при внесении удобрений, обработке почвы и уборке урожая;
- поддержание биоразнообразия и плодородия почв при интенсивной агротехнологии за счет применяемых сбалансированных систем питания и защиты растений и агрохимического мониторинга почв;
- создание интегральной сквозной системы прослеживаемости улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия и локальных систем прослеживаемости улучшенной промышленной продукции;
- исключение (или минимизация) на каждой стадии жизненного цикла образования не утилизируемых отходов, требующих размещения на специально оборудованных полигонах;
- максимальное использование вторичных материальных и энергоресурсов для замещения первичных ресурсов.

#### **4.8. Вопросы загрязнения и восстановления сельскохозяйственных земель**

Антропогенное воздействие на почвы, вызывающее их деградацию, зачастую связано с неправильным проведением мелиоративных работ и применением удобрений, пестицидов, биоцидов, засорение отходами и т.д. Интенсивность и длительность воздействия определяет скорость деградации почвенного покрова. Так как зачастую деградацию почв вызывает не какой-то отдельный тип воздействия, а их совокупность, деградацию почв рационально рассматривать как функцию физических, химических и биологических параметров. С экономической точки зрения деградация почв ведёт к повышению затрат на их рекультивацию, восстановление средств и уровня производства [154].

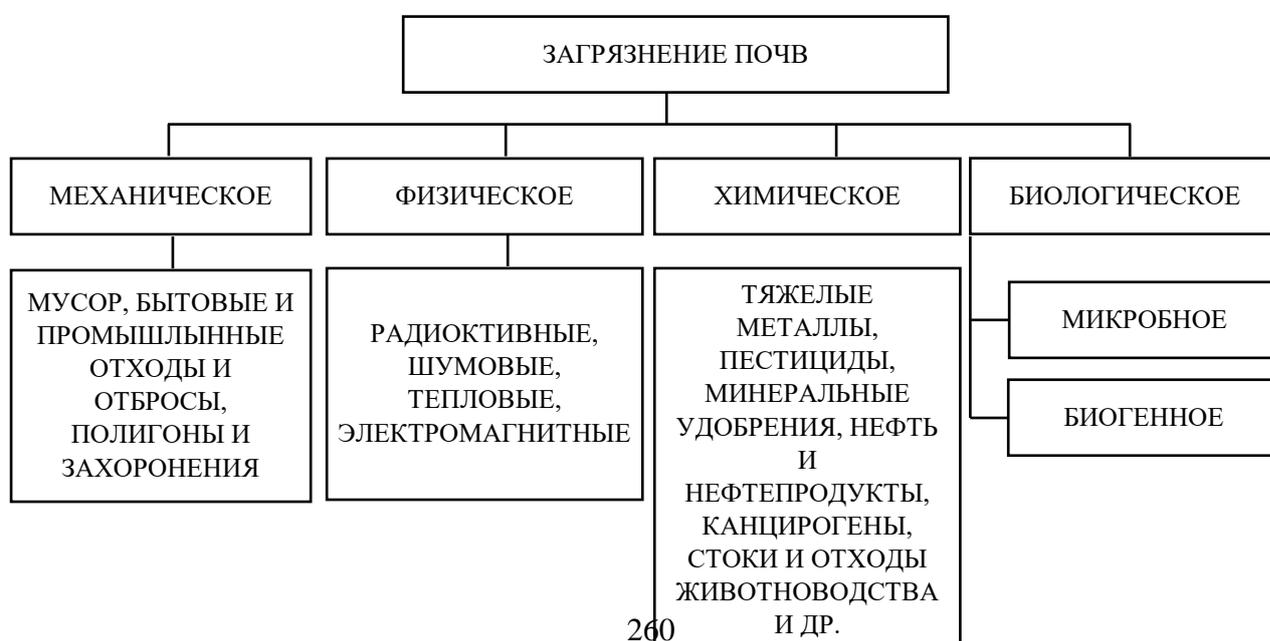
Содержание тяжелых металлов в почве – важнейший показатель, характеризующий санитарно-гигиеническую обстановку, так как накопление в почвах их избыточных концентраций представляет прямую угрозу экологической безопасности получаемой сельхозпродукции [155].

Сельскохозяйственные земли загрязняются такими элементами как Hg, As, Pb, Cu, Sn, Bi, которые попадают в почву в составе применяемых при производстве сельскохозяйственной продукции ядохимикатов, стимуляторов роста растений, структурообразователей и другими путями.

Попадая в почву и растения, тяжелые металлы накапливаются в агросистемах и включаются в метаболические циклы живых организмов, образуя высокотоксичные канцерогенные металлоорганические соединения. Они не подвергаются биохимическому разложению и очень медленно и трудно удаляются: период полувыведения цинка из почвы – 500 лет, кадмия – 1100 лет, свинца до 5000 лет [156]. Традиционные минеральные удобрения содержат примеси Mn, Zn, Ni, Cr, Pb, Cu, Cd. Нетрадиционные удобрения, изготавливаемые из различных отходов, часто содержат большой набор загрязняющих веществ с высокими концентрациями, в том числе такой

загрязнитель как микропластик. Причиной такого загрязнения являются удобрения с микропластиком, из остатков сточных вод с предприятий по очистке сточных отходов. На предприятиях по очистке сточных вод удаляют твердые загрязнители (такие как пластик и другие крупные частицы) из неочищенных сточных и дренажных вод, используя несколько отстойников. Это приводит к отделению воды от бытового мусора, которая может быть отправлена в окружающую среду после дальнейшей очистки. Плавающие материалы и осевшие частицы из отстойников комбинируются в осадок и используется как удобрение. Такие удобрения широко распространены на фермах Европы как возобновляемый источник удобрений, частично из-за европейских директив, направленных на продвижение циклической экономики отходов. Будучи легко потребимым и абсорбируемым животными и растениями, микропластик представляет серьезную угрозу экосистеме почвы. Микропластик также может вызывать изменение кислотности почвы, задерживать воду и изменять пористость почвы. Это влияет на рост и жизнь растений, изменяя способ погружения корней в почву и поглощения питательных веществ, кроме того, вызывать у человека систематические воспаления и кардиометаболическую болезнь.

Загрязнение почв имеет различную природу (рис. 4.24) и источники попадания загрязнителей в почву.



#### Рисунок 4.24 - Основные формы техногенного загрязнения почв

Можно выделить три фактора, которые определяют тяжесть воздействия загрязнителей:

1. химическая природа, т.е. насколько они активны и вредны для определенного вида растений и животных;
2. концентрация, т.е. содержание на единицу объема почвы;
3. устойчивость, т.е. продолжительность существования в почве.

Одним из основных загрязнителей сельскохозяйственных земель является применение загрязненных химических минеральных удобрений и химических средств защиты растений, вступающих в прямой контакт с почвой, растениями, водоемами, подземными и грунтовыми водами и в целом с окружающей средой.

Исходя из влияния токсикантов на метаболические процессы в почве, имеющего комплексный характер и затрагивающего все сферы жизнедеятельности, непосредственно почву с природным микробиомом, поверхностные и подземные воды, приповерхностный слой воздуха, целесообразно устанавливать комплексный показатель воздействия в виде дозы (например, годовой) влияния токсичных компонентов на почву:

$$D = \sum C_i \cdot N_{my} \cdot Q,$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го токсиканта в улучшенных агрохимикатах, пестицидах и(или) других компонентах, непосредственно контактирующих с почвой, г/кг д.в.;

$N_{my}$  – доза внесения улучшенных агрохимикатов, пестицидов и(или) других агрокомпонентов, кг д.в./га;

$Q$  - количество обработок почвы в течение одного сельскохозяйственного года улучшенными агрохимикатами, пестицидами и(или) другими агрокомпонентами.

В результате получаем интегральную дозу поступления всех нормируемых и анализируемых токсикантов в почву.

В отличие от гигиенических нормативов, разделяющих воздействие индивидуальных токсикантов по преобладающим путям воздействия (транслокационный, митрационный, общесанитарный) с установлением соответствующих предельно допустимых концентраций, переход к суммарным дозам позволяет оценивать динамику комплексного влияния улучшенных средств химизации на состояние почвы, включая в том числе накопленный до перехода на их применение экологический ущерб. Это обеспечит определение фактического состояния почв и динамику экологической нагрузки.

При этом можно будет достаточно просто установить корреляцию снижения концентрации токсикантов от суммарных доз внесения улучшенных средств химизации (рис. 4.25, рис. 4.26).

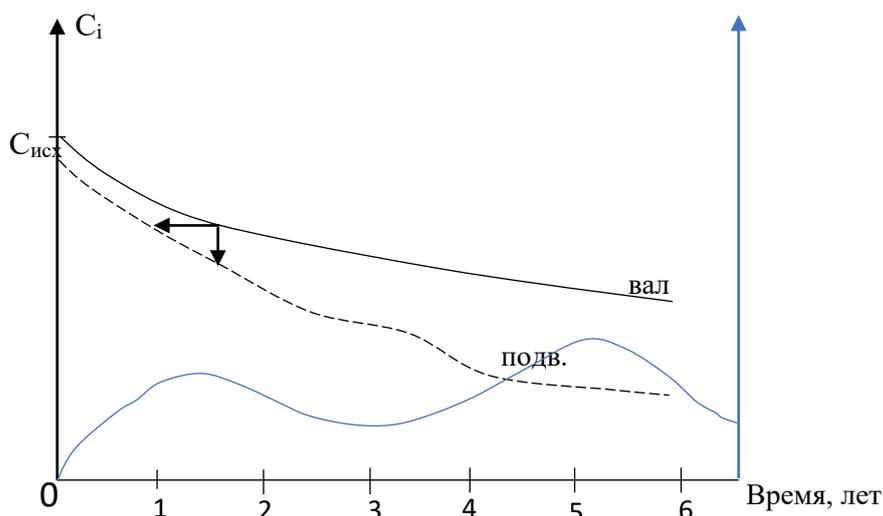


Рисунок 4.25 - Зависимость концентраций  $C_i$  (валовое) и  $C_i$  (подвижное) токсиканта в почве от доз их внесения с улучшенными средствами химизации

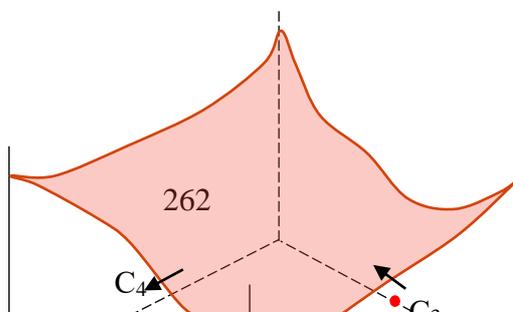


Рисунок 4.26 - Минимизация суммарного воздействия токсикантов на окружающую среду

Переход к дозам суммарного воздействия токсикантов в платформе улучшенной сельскохозяйственной промышленной продукции и продовольствия обладает следующими преимуществами:

- дает объективную картину комплексного воздействия на окружающую среду;
- позволяет оценить долгосрочный потенциал восстановления окружающей среды на всех этапах жизненного цикла;
- вносить корректировки в нормирование токсикантов как по их набору, так и по концентрациям;
- учитывать парные и многофакторные взаимодействия токсикантов с усилением их комбинированного действия;
- управлять воздействием на окружающую среду на всех стадиях жизненного цикла;
- формировать практику поддержания плодородия почв и сохранения биоразнообразия в современных интенсивных агротехнологиях производства сельскохозяйственной продукции;
- управлять достижением улучшенных показателей продуктов питания при обеспечении их доступности для потребителя;
- использовать новые достоверные данные по различным областям науки и практики – экологии, экотоксикологии и т.д. – для корректировки и дополнения улучшенных показателей сельскохозяйственной, промышленной продукции и продовольствия.

Установление на основе многолетних научных и практических данных более жестких, опережающих требований к улучшенным показателям сельскохозяйственной продукции, продовольствию и применяемой для ее производства промышленной продукции, прежде всего минеральным удобрениям и средствам защиты растений дает положительную обратную связь для комплексного снижения экологической нагрузки на ключевые составляющие окружающей среды – в почву, природные водные экосистемы, атмосферный воздух.

В общую систему контроля содержания нормируемых веществ включены ключевые цепочки горно-обогатительного и химического производства, промышленного производства пищевой продукции, сельскохозяйственного производства, утилизации и переработки отходов промышленного и сельскохозяйственного производства, объектов водоснабжения и очистки сточных вод. Нормирование и производственный и экологический контроль установленных требований к нормированию маркерных загрязнителей обеспечивает решение задачи устойчивого развития без накопления экологического ущерба (следа) продукции и необратимой утраты природных ресурсов и биоразнообразия.

В общем виде систему нормирования и ограничений можно представить следующим образом:

ограничение сквозного воздействия по отдельному ксенобиотику:

$$\frac{C_{\text{почва}}^{(i)}}{\text{ПДК}_{\text{почва}}^{(i)}} + \frac{C_{\text{вода}}^{(i)}}{\text{ПДК}_{\text{вода}}^{(i)}} + \frac{C^{(i)}}{\text{ПДК}_{\text{воздух}}^{(i)}} < 1$$

ограничение воздействия совокупности ксенобиотиков по составляющим окружающей среды:

$$\sum_{\text{почва}} \frac{C_{\text{почва}}^{(i)}}{\text{ПДК}_{\text{почва}}^{(i)}} < 1$$

$$\sum_{\text{вода}} \frac{C_{\text{вода}}^{(i)}}{\text{ПДК}_{\text{вода}}^{(i)}} < 1$$

$$\sum_{\text{воздух}} \frac{C_{\text{воздух}}^{(i)}}{\text{ПДК}_{\text{воздух}}^{(i)}} < 1$$

ограничение по использованию свежей природной воды:

$$\lim \Sigma q_j \rightarrow 0,$$

где  $q_j$  – удельный расход свежей природной воды на каждом этапе производства улучшенной сельскохозяйственной, промышленной продукции и продовольствия;

ограничения по удельному образованию отходов:

$$\lim \Sigma W_n < \Sigma W_n^{\text{НДТ}},$$

где  $W_n$  – удельное образование отходов на каждом этапе, измеряемое в кг/т;

$W_n^{\text{НДТ}}$  – удельное образование отходов в соответствии с информационно-техническими справочниками НДТ.

В качестве дополнительного критерия низкого (нулевого) углеродного следа должно выполняться условие:

$$\frac{G_{\text{CO}_2}^{\text{эмиссия}} - G_{\text{CO}_2}^{\text{поглощения}}}{N} \rightarrow 0,$$

где  $G_{\text{CO}_2}^{\text{эмиссия}}$  – сумма эмиссий парниковых газов в расчете на  $\text{CO}_2$  – эквивалент на всех стадиях производства целевого продукта, кг  $\text{CO}_2$  экв/т;

$G_{\text{CO}_2}^{\text{поглощения}}$  – сумма поглощений (улавливания, связывания) парниковых газов на всех стадиях производства целевого продукта и в результате климатических проектов с подтвержденным результатом поглощения, кг  $\text{CO}_2$  экв/т;

$N$  – выпуск целевого продукта, тонн.

Важным является минимизация (а в пределе исключение) взаимное усиление влияния загрязнителей на окружающую среду, например, мышьяка и органических соединений-компонентов пестицидов, тяжелых металлов и органических загрязнителей почвы.

Опасность попадания тяжелых металлов в пищевую продукцию и организм человека по цепочке «почва-растение-пища-человек» возрастает по мере загрязнения окружающей среды химическими веществами.

Повышенный уровень токсичных металлов в почве и растениях также приводит к их накоплению в растительных кормах и отрицательно влияет на организм животных и качество получаемых от них продуктов [157-158]. Взаимодействие поллютантов с почвенными компонентами не учитывается, что приводит к ошибочной характеристике их токсичности в почвах, что приводит к ошибочной характеристике их токсичности в почвах. [159].

Проблематика загрязнения сельскохозяйственных почв и технологий их очистки подробно изложена в работе Д.Ю. Ступина «Загрязнение почв и технологии их восстановления» (2021 год).

По видам загрязнителей почв можно привести следующую условную классификацию (рис. 4.27).

Проблема оценки опасности токсичности тяжелых металлов заключается в низком значении предельно допустимых концентраций загрязнителей или некорректном установлении их значений, превышение которых ведет к нарушению и угнетению агрохимических функций почвы, процессов развития растений, включая их плодоношение, загрязнение поверхностных и подземных вод.

Необходимость решения проблемы восстановления загрязненных сельскохозяйственных почв приобретает все большее значение с учетом современных тенденций роста населения и спроса на продовольствие, урбанизации, интенсификации сельскохозяйственного производства и как следствие снижения качества сельскохозяйственных почв для производства сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. Кроме того, урбанизация и интенсификация сельского хозяйства негативно воздействует и на природные ландшафты, не участвующие в сельскохозяйственном производстве. С развитием промышленности загрязнение биосферы тяжёлыми металлами увеличивается, причём негативному воздействию

подвергаются в различной степени все её компоненты [160]. Освоение земель для сельскохозяйственного использования изменяет интенсивность и направление миграции химических элементов [161].

По вопросу рекультивации почв, загрязненных тяжелыми металлами, существует два основных подхода. Первый направлен на очищение (деконтаминация) от тяжелых металлов, который проводится извлечением тяжелых металлов с помощью растений в результате удаления верхнего загрязненного слоя почвы.

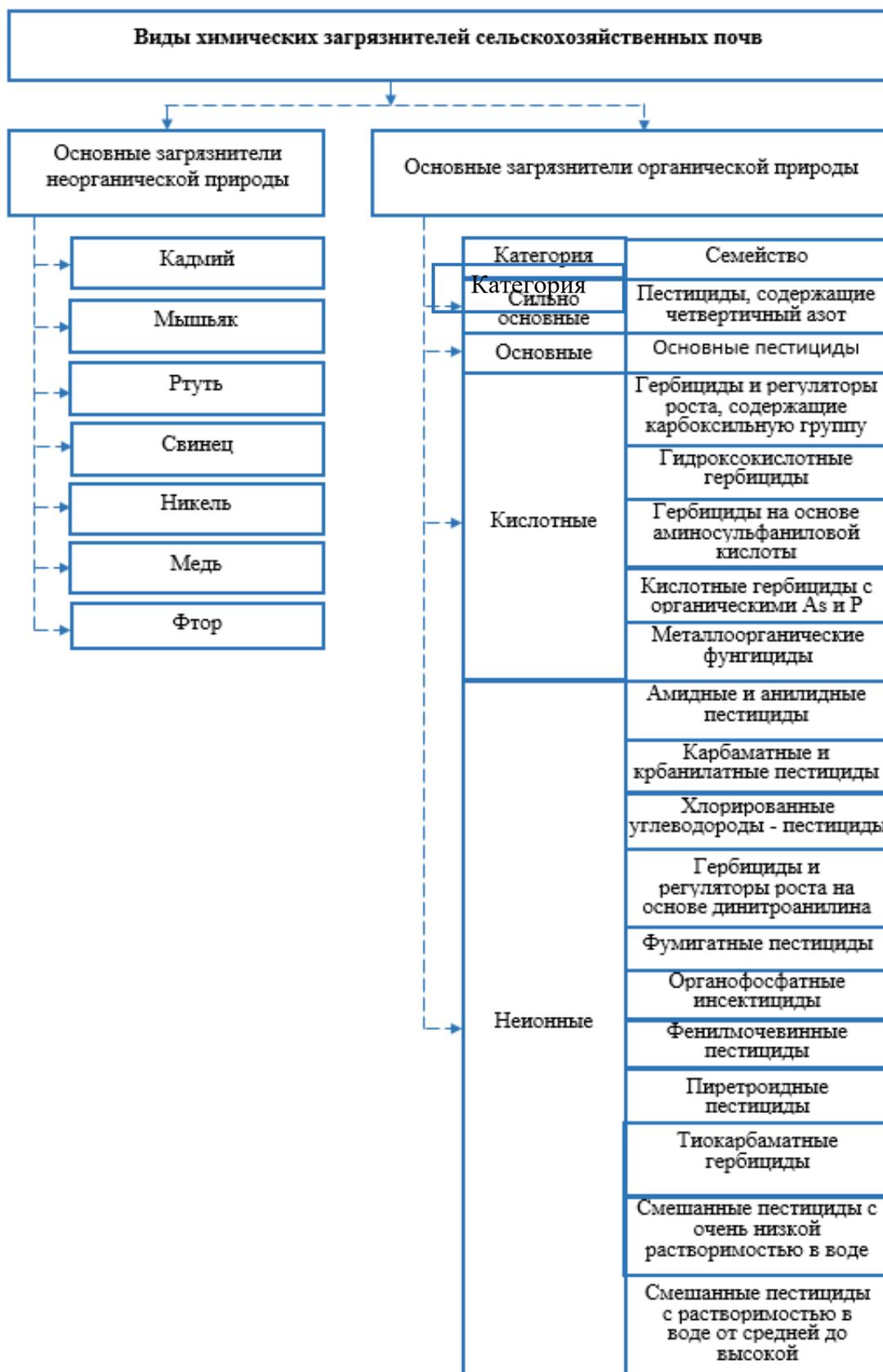


Рисунок 4.27 - Основные химические загрязнители, источниками которых являются загрязненные минеральные удобрения и пестициды

Второй подход направлен на закрепление тяжелых металлов в почве, переводе их в водонерастворимые и недоступные живым организмам формы. Извлечь тяжелые металлы из почвы крайне трудно, поэтому основные усилия исследователей в решении вопроса рекультивации направлены на поиск приемов, снижающих концентрации в почве подвижных форм тяжелых металлов [162].

Для снижения концентраций химических загрязнителей в сельскохозяйственных почвах до безопасных для растений и окружающей среды концентраций применяются дорогостоящие методы очистки. Их общая классификация показана на рисунке 4.28. Все методы связаны с обработкой значительных объемов и масс загрязненной почвы, за исключением биологических способов восстановления почв связанных с потерей ее полезных свойств. Например, при термической обработке почв подвергается практически полному расщеплению органические вещества, почвенные микроорганизмы, составляющие основу плодородного слоя почв.

### ***Пестициды***

Прямое или косвенное негативное воздействие пестицидов регулируется глобальными соглашениями и мерами политики, целью которых является охрана здоровья человека и окружающей среды. К ним относятся:

- Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата;
- Конвенция о биологическом разнообразии;
- Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием;
- Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле;
- Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях;



Рисунок 4.28 - Классификация существующих технологий очистки почв от загрязнителей (в зависимости от применяемых базовых технологических процессов)

- Стратегический подход к международному регулированию химических веществ (СПМРХВ);
- Десятилетие действий Организации Объединенных Наций по проблемам питания (2016-2025 годы);
  - Римская декларация о всемирной продовольственной безопасности и план действий Всемирного продовольственного саммита (приняты в 1996 году);
  - Стратегический подход к управлению использованием химических веществ на международном уровне (принят в 2006 году на Международной конференции по управлению химическими веществами).

В документе (Воздействие пестицидов и удобрений на окружающую среду и здоровье, и способы минимизации этого воздействия. Резюме для директивных органов – программа ООН по окружающей среде. 2022 г., 28 с.) сделан вывод об отсутствии роста эффективности использования пестицидов в Мире: «В последние десятилетия масштабы применения пестицидов в мире неуклонно росли, о чем свидетельствует статистика как по общему объему применения, так и по объему внесения пестицидов на гектар сельскохозяйственных угодий, но при этом использование пестицидов на единицу продукции растениеводства остается неизменным. Это указывает на то, что эффективность использования пестицидов не повысилась на глобальном уровне, хотя современные пестициды являются биологически более активными на грамм применяемого активного ингредиента».

В число прямых факторов, ведущих к росту использования пестицидов, входят интенсификация сельского хозяйства, повышение резистентности к действующим веществам пестицидов, связанное в том числе с ростом общей антропогенной нагрузки на окружающую среду, расширение использования генетически модифицированных сельхозкультур, отличающихся гербицидостойкостью.

В последние годы растет использование сельскохозяйственных культур на технические цели, прежде всего, для производства биотоплива и в этом

сегменте требования к остаточным содержаниям действующих веществ не такие строгие как для сельхозкультур и продуктов питания. Однако этот фактор ослабления внимания к экологическим последствиям применения пестицидов нельзя игнорировать, так как под угрозу загрязнения попадают значительные площади, пригодные для выращивания базовых для продовольственной безопасности сельскохозяйственных культур, прежде всего, зерновых.

Один из наиболее известных проектов, призванных сократить использование пестицидов в сельском хозяйстве, - создание интегрированной системы защиты растений (Integrated pest management, IPM). IPM объединяет различные методы борьбы с вредителями и болезнями ценных сельскохозяйственных культур. В США принципы IPM официально сформулировали в 1972 году, а в 1979 году утвердили межведомственный координационный комитет по IPM, который обеспечивает внедрение подходов системы в практику.

Интегрированная система защиты растений (IPM) означает тщательное изучение всех существующих методов борьбы с вредными для сельского хозяйства организмами и последующую интеграцию подходящих мер, препятствующих росту популяций вредных организмов и сводящих применение пестицидов и другие вмешательства до экономически оправданных уровней, снижающих или минимизирующих риски для здоровья человека и окружающей среды. В IPM делается упор на выращивание здорового урожая при минимально возможном нарушении агросистем и поощряется использование природных механизмов контроля вредных организмов.

Цель IPM – подавление популяций вредителей до уровня, не способного наносить сельскому хозяйству значимый экономический вред. При этом система предлагает фермерам выбирать такие методы работы, которые позволили бы минимизировать риски для здоровья человека и окружающей среды.

Интегрированная система защиты растений (IPM) направлена на низкопестицидные или безпестицидные действия, такие как, ротация сельскохозяйственных культур, контроль вредителей и принятие нехимических методик борьбы с вредителями и наименее опасных пестицидов.

В то же время несмотря на принятые меры со стороны ЕС общественные организации требуют усиления ограничения в области обращения пестицидов и пересмотра регистрационных досье ранее разрешенных пестицидов к применению.

В качестве примера можно привести ужесточение требований к регистрации новых и подтверждения безопасности действующих пестицидов на рынке Швейцарии. Оливье Феликс (Olivier Félix), руководитель Отдела средств химической защиты растений (Fachbereich Pflanzenschutzmittel) в швейцарском федеральном Ведомстве по делам сельского хозяйства (Bundesamt für Landwirtschaft — BLW), проинформировал, что за последние годы Конфедерация отозвала лицензии на использование по меньшей мере 124 препаратов из 450-ти веществ, появившихся в качестве новинок на рынке в период с 2005 года. Многие из этих запрещенных веществ, как теперь предполагается, вовсе не были вредными или особенно ядовитыми.

Но сегодня для возврата допуска на использование этих веществ требуются новые доказательства. В частности, власти требуют по каждому веществу представить объемное досье, в котором были бы перечислены и проанализированы все возможные последствия применения данного вещества во всех мыслимых дозировках и для всех возможных затронутых контрагентов (людей и животных). Компания «Syngenta», например, предоставляет в надзорные органы по каждому новому веществу досье в объеме от 80 до 100 стандартных скоросшивателей.

Согласно принципам IPM, прибегать к применению пестицидов следует в последнюю очередь – когда невозможно или нерезультативно использование альтернативных подходов.

Вот некоторые приемы, которые предлагает IPM для борьбы с вредными организмами:

- сбор вредителей с растений;
- использование укрывающих материалов;
- своевременное удаление отходов и больных растений;
- севооборот;
- использование устойчивых к болезням сортов сельскохозяйственных культур;
- сохранение или увеличение количества естественных хищников;
- метод стерильных насекомых (внедрение в популяцию насекомых стерильных особей с целью снижения темпов ее роста).

Российская платформа производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия отвечает базовым принципам IPM.

При этом переход на улучшенные химические и биологические средства защиты растений с общим подходом «низкая токсичность – низкие дозы применения» направлен не на фиксацию остаточных концентраций действующих веществ в сельхозпродукции и продуктах питания, а на пресечение их появления в начале жизненного цикла производства.

Масштабное исследование показало, что загрязнение самыми опасными пестицидами увеличилось на 53%, ими заражено каждое третье яблоко. Организация Pesticide Action Network (PAN) обнародовала результаты исследования, в ходе которого изучалось содержание пестицидов во фруктах, выращиваемых в Европе. Ученые проверили на пестициды 100 000 свежих фруктов урожая 2019 года. Наиболее загрязненными фруктами и ягодами оказались ежевика (51% образцов содержали пестициды), персики (45%), клубника (38%), вишня (35%) и абрикосы (35%). Среди овощей пестицидов больше всего в салатном сельдерее (50%), корневом сельдерее (45%) и капусте кейл (31%). Загрязнение резко выросло в яблоках (на 117%)

и вишне (на 152%). 87% груш в Бельгии и 85% груш в Португалии в 2019 году были заражены по крайней мере одним токсичным пестицидом [163].

В Европейской стратегии F2F особое внимание уделено снижению воздействия химических органических соединений в составе пестицидов на окружающую среду и здоровье человека. Максимально допустимый уровень (МДУ) действующих веществ в ЕС установлен для более чем 1240 пестицидов, охватывающих 378 пищевых продуктов и их групп. По умолчанию самая жесткая норма в размере 0,01 мг/кг применяется к 690 из этой группы пестицидов, не упомянутых в законодательстве.

Основные законодательные акты, регламентирующие оборот пестицидов в ЕС регламентируются Положением ЕС № 1107/2009. Оно дополнено вспомогательным законодательством ЕС об остатках пестицидов (Положение ЕС № 1185/2009) и статистике по пестицидам (Положение ЕС №1185/2009).

Для снижения рисков и воздействия на окружающую среду, здоровье человека ЕС приняла Директиву об устойчивом использовании пестицидов (Директива 2009/128/ЕС). Директива устанавливает цели на применение низкорисковых пестицидов или нехимических, прежде всего, биологических пестицидов.

Директива направлена на ответственное и компетентное применение пестицидов на базе научных знаний и практических компетенций, обучения пользователей, консультантов и дистрибьюторов по применению наименее опасных средств защиты растений, ограничению применения пестицидов в чувствительных зонах, а также максимальной открытости в плане информирования общественности о обоснованности и последствиях применения пестицидов.

В ЕС в сельхозпродукции и продуктах питания определяются сотни (до 500) действующих веществ пестицидов, что требует значительных первоначальных затрат на инструментальное оснащение и операционных затрат на проведение самих аналитических исследований. При этом часть

действующих веществ находится ниже порога обнаружения, но может быть биологически активной концентрацией вещества с соответствующими негативными последствиями. Особенно непредсказуемой становится интеграция результатов исследований при наличии большого спектра органических соединений различной функциональности и структуры. В том числе относительно новых недавно зарегистрированных соединений в качестве действующих веществ мультикомпонентных пестицидов.

В случае превышения фактических величин относительно установленных нормативов можно просто констатировать данный факт без управляющего воздействия на всю цепочку трансляции загрязнителей – от источника возникновения до конечных продуктов сельского хозяйства и питания.

В настоящее время в различных странах действуют различные национальные законодательные нормативные документы, регулирующие обращение пестицидов. В таблице 4.17 приведены некоторые данные о механизмах контроля пестицидов в США, ЕС, Китае, Японии и России.

Таблица 4.17. Основы национального регулирования пестицидов в разных странах мира

Страна	Основные законы и регламенты, регулирующие использование пестицидов	Основные организации, ответственные за контроль над пестицидами
США	<p>Федеральный закон об инсектицидах, фунгицидах и родентицидах</p> <p>Федеральный закон о пищевых продуктах, лекарствах и косметике</p> <p>Закон о защите качества пищевых продуктов</p> <p>Закон о безопасности и гигиене труда</p>	<p>Агентство по охране окружающей среды США – оценка состояния окружающей среды, разработка норм на основе принятых Конгрессом законов и контроль за их соблюдением</p> <p>Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов – контроль за соблюдением законодательства и всех существующих стандартов безопасности и качества продукции на американском рынке</p>

Страны ЕС	<p>Директива № 2009/128/ЕС – правовое регулирование в сфере обращения пестицидов</p> <p>Регламент № 1107/2009 – регулирование выхода на рынок продукции для защиты растений</p> <p>Регламент по химическим веществам – регулирование производства и обращения всех химических веществ</p>	<p>Европейское агентство по химикатам – контроль безопасности использования пестицидов</p> <p>Европейское агентство по безопасности продуктов питания – надзор за качеством пищевых продуктов, включая проверку содержания в них остаточных количеств пестицидов</p>
Китай	<p>Закон об административном регулировании пестицидов</p> <p>Положение об управлении пестицидами № 677</p> <p>Национальный стандарт о безопасности пищевых продуктов</p>	<p>Министерство сельского хозяйства Китая – надзор за регистрацией, производством и распространением пестицидов</p>
Япония	<p>Закон о контроле сельскохозяйственных химических препаратов</p> <p>Закон о гигиене пищевых продуктов</p>	<p>Министерство сельского хозяйства, лесоводства и рыбных промыслов – управление системой регулирования применения сельскохозяйственных химических препаратов</p> <p>Министерство здравоохранения и социального обеспечения – определение предельно допустимых норм сельскохозяйственных химикатов в пищевых продуктах</p>
Россия	<p>Федеральный закон от 19 июля 1997 г. № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами». Контроль расходования пестицидов и их качества:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- СанПиН 1.2.2584-10 «гигиенические требования к безопасности процессов испытаний, хранения, перевозки, реализации, применения, обезвреживания и утилизации пестицидов и агрохимикатов»;</li> <li>- ГН 1.2.23539-18 «Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень)»;</li> <li>- СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почв»;</li> </ul>	<p>Министерство сельского хозяйства – регистрация и контроль качества пестицидов</p> <p>Роспотребнадзор, Россельхознадзор, Таможенная служба – надзор за соблюдением всех регламентов, связанных с содержанием пестицидов в пищевых продуктах и кормах</p> <p>Росприроднадзор – надзор за содержанием пестицидов в объектах окружающей среды</p>

	<p>- Приказ Минсельхоза России от 10 июля 2007 г. № 357 «Об утверждении порядка государственной регистрации пестицидов и агрохимикатов»;</p> <p>«Методы оценки экологической опасности пестицидов при их регистрации (Руководство по классификациям экологической опасности пестицидов)»</p> <p>Контроль содержания пестицидов в пищевых продуктах:</p> <p>- Федеральный закон от 2 января 2000 г. № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов»;</p> <p>- СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов»;</p> <p>- ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»;</p> <p>- ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна»;</p> <p>- ГН 1.2.3539-18 «Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень)»;</p> <p>МР 1.2.0228-20. 1.2. «Гигиена, токсикология, санитария. Порядок выявления и идентификации незаявленных и потенциально опасных непреднамеренно присутствующих химических веществ в пищевой продукции. Методические рекомендации».</p>	
--	---	--

Дополнение российской обязательной регуляторной системы опережающими показателями улучшенных химических и биологических средств защиты растений создает новый фундамент для перехода на качественно новую платформу. В отношении экологического воздействия пестицидов ее отличительными преимуществами являются:

- нивелирование источника возникновения загрязнения, в том числе перекрестного с усилением экотоксичности за счет перехода на малоопасные СЗР с низкими дозами применения;

- прерывание эффекта биоаккумуляции действующих веществ и метаболитов пестицидов по пищевой цепочке;

- постепенное снижение эффекта резистентности сельскохозяйственных культур к пестицидам, требующее постоянного обновления и дорогостоящих испытаний безопасности действующих веществ;

- снижением затрат на тотальный контроль по широкому спектру органических веществ сельскохозяйственной продукции и продуктов питания.

В Руководстве к действию ..., 2003 г.» (Руководство к действию в области пестицидов – публикация ЛАН Германии – Гамбург, 2003 г. – 48 с.) рассмотрены пути попадания пестицидов и их метаболитов в чистые природные экосистемы, не связанные территориально с местами их применения (рис. 4.29).

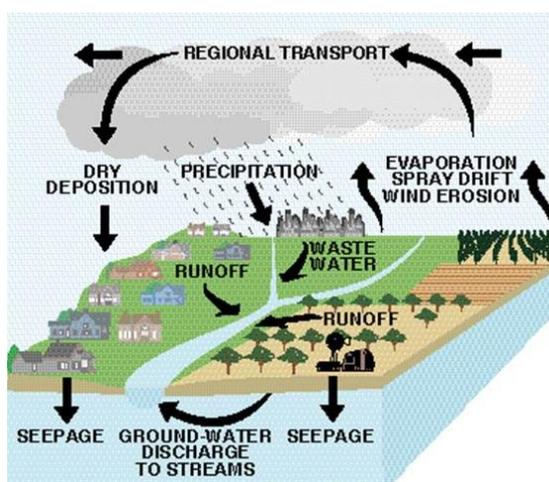


Рисунок 4.29 - Пестициды не остаются там, где они применяются, и переносятся через воздух и воду

Важным является следующее практическое заключение: «Химические превращения пестицидов во внешней среде и взаимодействия множества

химикалий между собой – существенный пробел в современной науке. Механизмы развития таких экологических феноменов как нарушение репродуктивной функции, новообразования у диких животных и многих других – труднообъяснимы на сегодняшней стадии развития науки. Испытания токсичности в процессе регистрации пестицидов, осуществляемые на 1-3 видах птиц, рыб или беспозвоночных, вовсе не моделируют реального действия пестицидов на экосистемы».

Не идеальна и система установления максимальных остаточных концентраций действующих веществ пестицидов (MRL – maximum residue levels), устанавливаемых Европейским агентством по безопасности продуктов питания (EFSA – European Food Safety Authority).

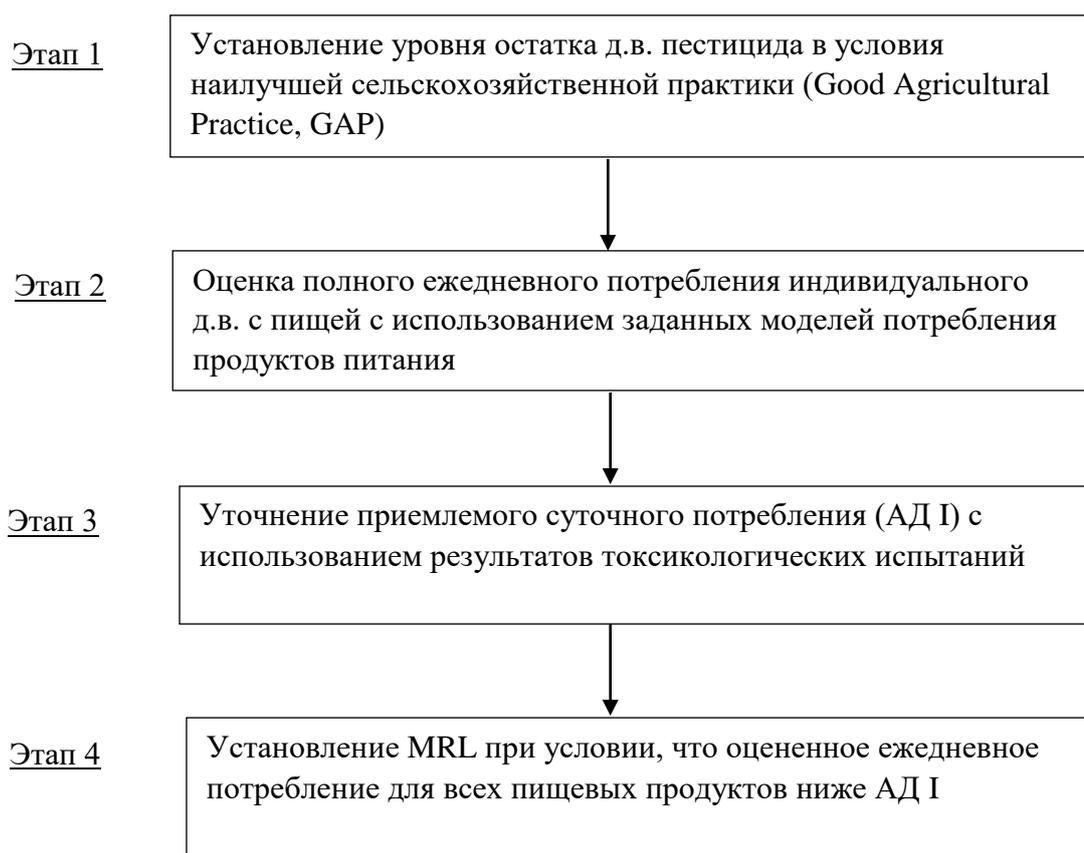


Рисунок 4.30 - Система (этапы) установления максимальных остаточных концентраций действующих веществ пестицидов (MRL – maximum residue levels)

Процедура установления MRL сложная и многоступенчатая, на каждом из этапов необходимо использовать определенные допущения для

определения «серых зон», что вносит погрешность в конечный результат (рис. 4.30). Это может приводить к разбросу MRL особенно опасным является завышенный MRL.

Процессы естественного разложения токсичных органических веществ, источником которых являются пестициды, как правило, имеют длительные сроки и в целом не приводят к достижению безопасных концентраций (табл. 4.17).

Таблица 4.17. Устойчивость некоторых органических соединений в природных условиях

Соединение	Период полураспада
Хлорированные углеводороды (DDT)	3 – 20 лет
PCB (полихлорированные бифенилы)	2 – 10 лет
Триазиновые гербициды (атразин)	1 – 2 года
Гербициды – производные бензойной кислоты	2 – 12 месяцев
Гербициды на основе мочевины (diuron)	2 – 10 месяцев
Винилхлорид	1 – 5 месяцев
Феноксигербициды (2,4 D или 2,4,5-T)	1 – 5 месяцев
Органофосфатные инсектициды	1 – 12 недель
Карбаматные инсектициды	1 – 12 недель
Карбаматные гербициды	2 – 8 недель

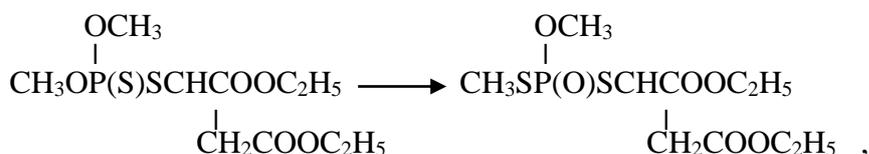
В обзорной статье [164] систематизированы данные по биотрансформации пестицидов 6-ти различных классов в окружающей среде. В отношении фосфорорганических пестицидов, применяемых в небольших количествах, и по наиболее развернутому спектру (инсектициды, гербициды, фунгициды, акарициды, кематоциды, регуляторы роста растений), сделан общий вывод об их расщеплении почвенной микрофлорой, включая почвенные ферменты, до безопасных конъюгатов и финальных продуктах окисления и гидролиза фосфорной кислоты, газообразных диоксида углерода и азота.

Однако примеси минеральных веществ, к которым относятся мышьяк и тяжелые металлы, приводят к побочным реакциям разложения исходных

действующих веществ с образованием побочных веществ, токсичность которых на порядок и более отличается в большую сторону от исходного вещества.

В качестве примера можно привести биоразложение производного дитиофосфорной кислоты (действующее вещество карбофоса). Само производное имеет относительно низкую токсичность и относительно быстрое разрушение в окружающей среде.

Однако при наличии минеральных веществ образуется изомалатион:



токсичность которого на порядок превышает токсичность исходного вещества. Также может образовываться другой побочный более токсичный продукт – триметилдитиофосфат.

Необходимо отметить и изменившееся в результате накопления массива данных представление о быстром разложении в природной среде фосфоната, известного под торговой маркой глифосат



В книге известного исследователя В.Д. Эйхлера [165] наряду с анализом результатов многочисленных и длительных исследований экотоксичности различных элементов и веществ сделан вывод о малоизученности комбинированных эффектов.

До сих пор не утратило своей актуальности предостерегающее высказывание: «Все еще остается без ответа вопрос о том, какое влияние на здоровье оказывают остаточные количества вредных веществ, взаимодействуя с другими добавками». Этот вывод не потерял своей актуальности и в настоящее время.

Суть заключается даже не в недостаточно глубоком и всестороннем изучении экотоксичности и токсичности для человека отдельных элементов и веществ, сколько в практической невозможности учесть и спрогнозировать влияния многих факторов:

- повышенный уровень чувствительности микробиома почвы, растений, животных к влиянию ксенобиотиков;

- комбинированное, прежде всего, усиливающее действие загрязнителей друг друга;

- увеличение частоты и глубины природных стресс-факторов на растения и микробиом почвы; перепады температур, засуха, обводнение, засоление и т.д.;

- деградация органической составляющей почв и биоразнообразия, минерализация и уплотнение почв, приводящие к ухудшению воздуха и влагообмена в почве;

- обеднение почв по содержанию микроэлементов, лимитирующих развитие и стрессоустойчивость сельскохозяйственных культур.

Поэтому основной задачей платформы производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия с точки зрения экологии является исключение значимого усиливающего влияния комбинации ксенобиотиков, химического следа производства и обращения такой продукции, включая требования повторной переработки или биоразлагаемости упаковки.

Переход на новую экоплатформу в производстве и применении улучшенных агрохимикатов и пестицидов, улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия направлен на перелом тенденции накопления экологического загрязнения и его постепенное, но устойчивое снижение.

Такой переход полностью отвечает современным мировым тенденциям снижения экологических рисков в производстве и применении агрохимикатов и пестицидов. В стратегическом документе «Международный

кодекс поведения в области управления использованием пестицидов» [166] в отношении пестицидов даны рекомендации «использовать практики, обеспечивающие снижение рисков в течение всего жизненного цикла пестицидов с целью минимизации их неблагоприятного воздействия на здоровье человека, животных и окружающую среду и предотвращения случайного отравления в результате различных операций с пестицидами, их хранения, транспортировки, использования или ликвидации, а также в результате присутствия их остатков в пище и кормах».

Правительствам стран дана рекомендация поддерживать исследования научных центров по поиску альтернатив существующим пестицидам, сопряженных с меньшими рисками; нехимических пестицидов и методов борьбы с вредными организмами; пестицидов, которые не представляют особого риска для здоровья человека, животных и окружающей среды, являются в максимально возможной или желаемой степени узкоспециализированными и разлагаются до неядовитых составных элементов или метаболитов после их использования.

В актуальном документе «Руководство и практические рекомендации. ....» [167] предложен переход к расчету биологических предельно допустимых концентраций с учетом в расчете доз применения пестицидов и максимальной недействующей концентрации и фактора безопасности. По мнению специалистов, это более достоверно отражает интегральный экологический риск, при применении пестицидов.

Биологическое ПДК для гербицидов рассчитываются по следующей формуле:

$$ACL [ppm] = \frac{10^6 \times NOEL}{SF \times AR}$$

#### Определения

**ACL (Acceptable Contamination Level) [ppm]**

ПДК – предельно допустимая концентрация; [ч/млн] – мг действующего вещества/кг или л готового продукта

<b>AR (Application rate)</b>	Максимальная зарегистрированная норма расхода последующего продукта с запатентованной рецептурой в граммах или мл продукта на га. Для расчета принимается следующее допущение: 1г = 1мл
<b>NOEL (No Observable Effect Level)</b>	МНД – максимальная недействующая концентрация вещества в граммах действующего вещества на га для предыдущего действующего вещества на наиболее чувствительных сельскохозяйственных культурах, для которых зарегистрирован последующий продукт
<b>SF (Safety Factor)</b>	Фактор безопасности, как правило, в диапазоне от 2 до 10. Каждый владелец продукта определяет значение фактора безопасности на основе правил управления рисками компании
<b>10<sup>6</sup></b>	Коэффициент преобразования (используется для преобразования в ч/млн)

В североамериканской системе используется термин «токсикологически значимый уровень действующих веществ пестицидов», единицей размерности которого является ppm (частей на миллион частей) или 10% в метрической системе измерений. Важным является признание высокого риска перекрестного загрязнения и принятия с целью его исключения или минимизации стандартов, чтобы отрицательное перекрестное загрязнение не имело неуправляемых и неоправданно высоких отрицательных последствий.

В таблице 4.18 приведены токсикологически значимые уровни загрязнения действующими веществами пестицидов.

Отметим, что для ряда действующих веществ токсикологически значимый уровень установлен на границе их количественного определения.

По результатам предварительного рассмотрения потенциальных экологических последствий перекрестного загрязнения, например, риска для птиц, водных организмов и растений, Агентство по защите окружающей среды США особое внимание уделяет фитотоксичности действующих веществ пестицидов как прямому экологическому ущербу для наземных растений и является более высоким уровнем воздействия по сравнению с другими путями воздействия, например, загрязнения через поверхностные стоки.

При этом токсиколого-значимый уровень воздействия не является абсолютной гарантией безопасности как для индивидуальных действующих веществ, так и для перекрестного субсидирования, поскольку невозможно предусмотреть все возможные комбинации загрязнителей, неблагоприятные воздействия могут возникнуть, когда загрязнение присутствует, в случаях, когда загрязнитель присутствует ниже концентраций.

Таблица 4.18. Токсикологически значимые уровни загрязнения

Категория	Тип загрязнителя	Тип загрязняемого пестицида	Токсикологически значимый уровень (3) (ч/млн) (4)
1	Инсектицид (S), фунгицид, моллюскицид или нематицид в ...	Любой инсектицид, фунгицид, моллюскицид, нематицид, гербицид, регулятор роста растений, дефолиант или осушитель	1000
2	Гербицид, регулятор роста растений, дефолиант или осушитель в ...	Любой пестицид (6), в котором загрязняющее вещество допускается использовать на всех участках, указанных на маркировочной этикетке продукта	1000
3	Любой пестицид (6), кроме гербицида с низкой нормой расхода (7) в ...	Антимикробный пестицид	1000
4	Гербицид со средней нормой расхода (8), регулятор роста растений, дефолиант или осушитель в ...	Любой гербицид, регулятор роста растений, дефолиант или осушитель	250
5	Любой пестицид (6) в ...	Пестицид (6) применительно к организму человека	100
6	Гербицид со средней нормой расхода, регулятор роста растений, дефолиант или осушитель в ...	Любой инсектицид, фунгицид, моллюскицид или нематицид	100
7	Гербицид с низкой нормой расхода в	Гербицид с низкой нормой расхода	Уровень количественного определения (9) или 100 ч/млн, в зависимости от того, что выше

8	Гербицид с низкой нормой расхода в	Гербицид со средней нормой расхода, регулятор роста растений, дефолиант или осушитель	Уровень количественного определения (9) или 20 ч/млн, в зависимости от того, что выше
9	Гербицид с низкой нормой расхода в...	Пестицид (6), кроме гербицида, регулятора роста растений, дефолианта или осушителя	Уровень количественного определения (9) или 1 ч/млн, в зависимости от того, что выше

Эти уровни не обеспечивают возникновения всех возможных неблагоприятных последствий, то есть экологический риск отличен от нулевого.

### **Тяжелые металлы**

Аналогичное по характеру устойчивое загрязнение характерно и для химических элементов высоких классов опасности и токсичности (табл. 4.19).

Таблица 4.19. Классификация опасных химических элементов и их предельно допустимые концентрации (ПДК) в почве и воде

Химические элементы	Группы элементов	Класс опасности	ПДК в почве, мг/кг				ПДК в воде, водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/л
			Валовое содержание			По подвижная форма	
			Россия	Германия	Нидерланды		
Кадмий (Cd)	I – с высокой токсичностью	2	-	3	5	-	0,001*
Ртуть (Hg)		1	2,1	2	2	-	0,0005*
Мышьяк (As)		2	2	20	30	-	0,05*
Свинец (Pb)		2	30	100	150	-	0,03
Хром (Cr)		3	-	100	250	6	0,5 (Cr <sup>3+</sup> ) 0,05 (Cr <sup>6+</sup> )
Сурьма (Sb)		2	4,5	5	-	-	0,05*
Барий (Ba)		2	-	-	400	-	0,1*
Фтор (F)		3	-	500	-	10**	1,5*
Медь (Cu)	II – со	3	55	100	100	3	0,1*

Никель (Ni)	средней токсичностью	3	85	50	100	4	0,1*
Цинк (Zn)		3	100	300	500	23	1,0*
Кобальт (Co)		2	-	50	50	5	0,1*
Марганец (Mg)		3	1500	-	-	-	0,1*
Стронций (Sr)	III – с низкой токсичностью	2	-	10	-	-	7,0
Ванадий (V)		2	150	50	-	-	0,1

Примечание: \* - для неорганических соединений; \*\* - в водорастворимой форме.

Особо жесткие требования предъявляются к содержанию в почвах и применяемых удобрений триаде химических элементов: Hg, Cd, As.

В СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» утверждённые постановлением от 28 января 2021 г. Главного государственного санитарного врача РФ, указаны предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) указанных химических элементов в почве (мг/кг) с учетом фона (кларка).

Изучение агроэкологического значения примесей тяжелых металлов и токсичных элементов, содержащихся в минеральных удобрениях, является также важным звеном в системе мероприятий по охране окружающей среды от загрязнения.

Передаваясь по пищевой цепочке, указанные элементы наносят серьезный вред здоровью человека и животных, вызывая тяжелые заболевания кожных покровов и внутренних органов [168].

Для оценки комплексного влияния загрязнителя на организм человека от разных источников применяют принцип (формулу) суммирования. Например, если вещество поступает в организм человека с атмосферным воздухом, водой и пищей, то производят расчет по следующей формуле:

$$C_{\text{атм}} / \text{ПДК}_{\text{атм}} + C_{\text{воды}} / \text{ПДК}_{\text{воды}} + C_{\text{прод}} / \text{ПДК}_{\text{прод}}$$

где  $C_{\text{атм}}$ ,  $C_{\text{воды}}$ ,  $C_{\text{прод}}$  – концентрация данного вещества в атмосфере, воде, продуктах питания.

Для улучшенной сельскохозяйственной продукции и продуктов питания по каждому виду нормируемого вещества должно выполняться неравенство:

$$C_{\text{атм}} / \text{ПДК}_{\text{атм}} + C_{\text{воды}} / \text{ПДК}_{\text{воды}} + C_{\text{прод}} / \text{ПДК}_{\text{прод}} < 1$$

При этом улучшенные характеристики продуктов питания будут снижать общую нагрузку на организм человека по видам опасных и токсичных веществ с учетом общей схемы миграции загрязнителей (рис.4.31).



Рисунок 4.31 - Схема миграции загрязнителей

Экологическим преимуществом платформы «Зеленый эталон» является комплексный характер снижения нагрузки на окружающую среду как

совокупности ксенобиотиков, их концентрациям, источникам образования и сферам взаимодействия с окружающей средой.

Контроль жизненного цикла производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия направлен на сужение коридора экологического воздействия на окружающую среду, прежде всего, за счет исключения усиления негативного воздействия двух и более загрязнителей-ксенобиотиков. Наряду с этим комбинации с биоорганическими веществами обеспечивает ферментную активность в почвах и ускорение расщепления содержащихся в почве загрязнителей.

Химические реакции с участием энзимов (ферментов) протекают с очень небольшими затратами энергии. Они могут приводить как к детоксикации ксенобиотиков, так и к образованию метаболитов с более высокой токсичностью (в последнем случае говорят об активации).

В случае органических соединений возможны три типа превращений под действием энзимов:

- полная минерализация до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  без образования на промежуточных стадиях персистентных (устойчивых) и биологически активных соединений (при этом происходит увеличение биомассы организмов, участвующих в минерализации);
- разрушение ксенобиотиков до низкомолекулярных соединений, которые затем выделяются в окружающую среду и включаются в природный круговорот веществ;
- химическая трансформация с накоплением метаболитов в клетках организма.

Живые организмы, за исключением некоторых видов бактерий, не имеют специфических ферментов для преобразования ксенобиотиков [169]. В результате общая экологическая нагрузка от цепочки производства должна стремиться к нулю:

$$\lim \left( \sum_{i=1}^n \frac{C_{i,\text{почва}}}{\text{ПДК}_i} + \sum_{i=1}^n \frac{C_{i,\text{вода}}}{\text{ПДК}_{i,\text{вода}}} + \sum_{i=1}^n \frac{C_{i,\text{воздух}}}{\text{ПДК}_{i,\text{воздух}}} \right) = 0$$

Для токсикантов, увеличивающих токсичность при совместном присутствии, за счет снижения норматива их содержания в промышленной и сельскохозяйственной продукции их усиливающий эффект не проявляется.

Таким образом, можно отрегулировать суммарное экологическое воздействие даже в случаях внешних неблагоприятных условий по одной или нескольким составляющим окружающей среды, например, при исходном высоком загрязнении сельскохозяйственных почв можно нивелировать ее влияние на другие составляющие окружающей среды и качество производимой продукции.

**Кадмий** - хорошо известен, как токсичный элемент. Кадмий обладает канцерогенными, тератогенными и мутагенными свойствами.

Основные проблемы, связанные у человечества с этим элементом, обусловлены техногенным загрязнением окружающей среды и его токсичностью для живых организмов уже при низких концентрациях [170]. Кларк кадмия в земной коре 0,16 мг/кг, в почве 0,35 мг/кг [171]. В любой почве активность кадмия зависит от pH, он наиболее подвижен при pH 4,5-5,5. Главный природный фактор, определяющий содержание кадмия в почвах – химический состав материнских пород [172]. По данным В.В. Добровольского [173] содержание кадмия в глинистых породах составляет 0,3, карбонатных – 0,04, песчаных – 0,05 мг/кг.

Токсичность кадмия для растений проявляется в нарушении активности ферментов, торможении фотосинтеза, нарушении транспирации, а также ингибировании восстановления NO<sub>2</sub> до NO. Кроме того, в метаболизме растений он является антагонистом ряда элементов питания (Zn, Cu, Mn, Ni, Se, Ca, Mg, P). При токсичном воздействии металла у растений наблюдаются задержка роста, повреждение корневой системы и хлороз листьев. Кадмий достаточно легко поступает из почвы и атмосферы в растения. По фитотоксичности и способности накапливаться в растениях в ряду ТМ он занимает первое место (Cd > Cu > Zn > Pb) [174].

К видимым симптомам отравления растений кадмием относят повреждение корневой системы, отставание в росте и развитии, появление красноватой окраски листьев и их хлороза. Свою фитотоксичность кадмий проявляет в изменении проницаемости цитоплазматических мембран, кроме того данный элемент препятствует нормальному обмену веществ, вызывает нарушение процессов фиксации  $\text{CO}_2$  и транспирации и оказывает ингибирующее действие на фотосинтез (Лукин и др., 2004). Отмечается, что этот металл подавляет в микроорганизмах процессы, происходящие с участием ДНК, а также симбиоз микробов и растений. Известно, что кадмий существенно повышает риск развития заболеваний, связанных с грибковыми инвазиями [175].

При этом, исследование по химии и химическим веществам (сообщение VerticalNews из Джинанг, КНР) показывает, что микроорганизмы могут регулировать содержание кадмия и цинка в зернах пшеницы. Соответственно, с помощью микробиотехнологий возможно регулировать содержания Cd и Zn в зернах пшеницы.

Другое исследование китайских ученых в провинции Хунань, проводимое в целях оценки рисков для здоровья влияния ТМ, показала, что по целевому коэффициенту риска на первом месте стоит мышьяк > хром > кадмий > свинец, а по канцерогенному риску в первом порядке кадмий > никель > мышьяк > хром.

Для этого токсиканта характерно длительное удержание в организме, преимущественно в печени и почках, с необычно долгим периодом полувыведения, составляющим у человека в среднем 25 лет [176]. Тяжелой формой хронического отравления кадмием является болезнь итаи-итаи, характеризующаяся деформацией скелета с существенным снижением роста сильными болями в спине и ногах, появлением утиной походки, а также нарушениями функции почек, поджелудочной железы и др. [177].

Урожайность растений, выращенных на почвах, загрязненных ТМ выше 1-2 ПДК (валовые формы), без проведения специальных научно-

обоснованных приемов детоксикации (особенно корнеплоды), снижается, и в продукции накапливаются ТМ в концентрациях выше допустимых санитарно-гигиенических норм [178].

Высокие концентрации кадмия почти всегда вызывают повышение количества элемента в тканях растений [179]. Наименее устойчивы к повышенным концентрациям данного элемента в почве листовые культуры. Снижение урожайности шпината на 25 % вызывает содержание кадмия в почве, соответствующее 4 мг/кг, а кресс-салата – 8 мг/кг. Уменьшению получаемого урожая зерна риса, пшеницы и бобовых культур способствуют гораздо большие концентрации элемента в субстрате – от 17 до 50 мг/кг, при этом накопление кадмия в данной продукции выражено существенно меньше [180].

Научными исследованиями установлено, что наличие кадмия в почвах зависит от их типа, реакции среды, окислительно-восстановительного потенциала, влажности и температуры.

Чем кислее почвы, тем энергичнее катионные формы элемента перемещаются в почвенном растворе и выносятся из почв, активно поглощаясь растениями [181]. Попавший в почву кадмий долгое время не теряет свою активность, поэтому при продолжительном поступлении элемента в агроценоз может произойти интоксикация почв и значительное увеличение содержания кадмия в растениях [182]. В загрязненной почве кадмий достоверно усиливает эмиссию  $\text{CO}_2$ , нарушает процессы фиксации атмосферного азота, подавляет аммонификацию, нитрификацию и денитрификацию [183, 184].

Загрязнение почвы кадмием сохраняется длительное время и после того, как этот металл перестает поступать вновь. До 70% попадающего в почву кадмия связывается с почвенными химическими комплексами, доступными для усвоения растениями. В зонах повышенного содержания кадмия в почве устанавливается 20-30 кратное увеличение его концентрации в наземных частях растений по сравнению с растениями незагрязненных

территорий. Кадмий не подвергается разложению, и, однажды попав в окружающую среду, продолжает в ней циркулировать. Новые выбросы кадмия добавляются к уже содержащемуся в окружающей среде кадмию. Кадмий и соединения кадмия обладают относительной водорастворимостью, поэтому они более мобильны, например, в почве, как правило, отличаются большей биодоступностью и тенденцией к биологическому накоплению. Кадмий широко распространен в окружающей среде. Его потребление возрастает и это вызывает рост загрязнения соединениями кадмия почвы, воды и воздуха. Антропогенная эмиссия кадмия в биосферу превышает природную в несколько раз.

Например, в воздушную среду ежегодно поступает около 9000 т кадмия, причем 7700 т (т.е. более 85%) — в результате деятельности человека. Например, только в Балтийское море ежегодно попадает 200 т кадмия. Кадмий легко кумулируется многими организмами, в особенности бактериями и моллюсками, где уровни биоконцентрации достигают порядка нескольких тысяч. Наибольшее содержание кадмия обнаруживается преимущественно в почках, жабрах и печени гидробионтов, в почках, печени и скелете наземных видов. В растениях кадмий концентрируется, в основном, в корнях и в меньшей степени в листьях. В пресноводной среде кадмий большей частью поглощается за счет абсорбции или адсорбции непосредственно из воды, в то же время морские организмы, напротив, поглощают кадмий из пищи [185].

Фосфат широко используется для иммобилизации кадмия (Cd) и свинца (Pb) в почвах путем осаждения нерастворимых фосфатов металлов. Однако увеличение содержания фосфора в окружающей среде может привести к новому загрязнению. В этом исследовании были синтезированы пять фосфатных поправок с медленным высвобождением (SRPAS) и определены их характеристики, включая BET, SEM, FTIR, коэффициент набухания и высвобождение фосфора. Результаты показывают, что SRPA представлял собой сферу с сетчатой структурой с удельной площадью

поверхности от 5 до 7,18 м<sup>2</sup>/g и содержащие фосфатные, гидроксильные, карбоксильные и другие функциональные группы. Среди пяти SRPAS образец S3 показал хорошие показатели высвобождения фосфатов. Высвобождение фосфата из SRPA хорошо соответствовало модели Ритгера-Пеппаса с постоянным  $n$  между 0,45 и 0,85, что указывает на то, что высвобождение фосфата соответствовало нефиковской диффузии. По сравнению с монокальцийфосфатом (MCP) применение SRPA привело к снижению концентрации водорастворимого фосфора в образце почвы и повышению эффективности рекультивации Cd и Pb. Эффективность рекультивации водорастворимых Cd и Pb в почве с SRPA составила 97,1% и 97,9% соответственно. Эффективность рекультивации биодоступных Cd и Pb составила 71,85% и 76,47% соответственно. Результаты экстракции Тессье показали, что обменные и карбонатные фракции Cd и Pb в образце почвы после применения SRPA значительно уменьшились, а остаточная фракция увеличилась, что свидетельствует о повышении стабильности тяжелых металлов [186].

**Ртуть** – во многих странах она входит в списки химических веществ, подлежащих экологическому и гигиеническому контролю.

Для человека ртуть оказывает токсическое воздействие на нервную, пищеварительную и иммунную системы, а также на легкие, почки, кожу и глаза. Токсическая опасность ртути выражается во взаимодействии с SH-группами белков. Блокируя их, ртуть изменяет биологические свойства тканевых белков и изменяет (инактивирует) ряд гидролитических и окислительных ферментов. Блокируя ферменты, нарушает обменные процессы, что ведет к структурным и функциональным нарушениям. Ртутное отравление влияет на центральную нервную систему и сердечно-сосудистую, желудочно-кишечный тракт, почки. Ртуть, проникнув в клетку, может включиться в структуру ДНК, что сказывается на наследственности человека. Мозг способен аккумулировать почти в 6 раз больше ртути, чем остальные органы.

Метилртуть выводится из организма частично через почки, а в основном – через печень и желчь, а также с фекалиями.

В организм ртути может проникать через органы дыхания (пары металлической ртути), через желудочно-кишечный тракт, при этом опасны растворы солей. Ртуть способна к материальной кумуляции, откладываясь в органах (кости, легкие и др.).

Например, усиленное потребление рыбы человеком при относительно низкой концентрации в ней метилртути (например, порядка 0,8 мг/кг) приводит к отложению ртути в волосах человека и сопровождается появлением первых признаков отравления.

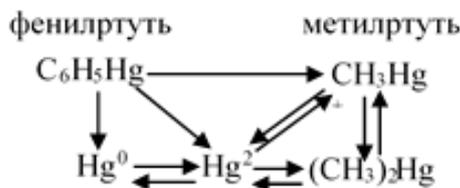
Отказ от питания рыбой не служит надежной защитой от поступления в организм ртути. Изготавливается рыбная мука, которая используется в качестве корма для домашних животных. Даже растительные продукты могут быть источником ртути, если к компосту добавить средство для улучшения структуры почвы, содержащее ртуть.

Таким образом, определение ртути в пищевых продуктах и других биологических объектах требует особого внимания и точности для исключения ртутного отравления организма.

С токсикологической точки зрения наибольшую опасность ртуть представляет, присоединяясь к углеродному атому метиловой, этиловой или пропиловой группы – это алкильные соединения с короткой цепью. Процесс метилирования ртути является ключевым звеном биокумуляции по пищевым цепям водных экосистем.

Ртуть аккумулируют планктонные организмы (например, водоросли), которыми питаются ракообразные. Ракообразных поедают рыбы, а рыб птицы. Концевыми звеньями пищевых цепей нередко бывают чайки и орланы. Человек может включаться на любом этапе и, в свою очередь, тоже становится концевым звеном. Чаще всего это происходит в результате потребления рыбы.

В водной пищевой цепи концентрация метилртути от звена к звену увеличивается, так как метилртуть растворима в жирах, она легко переходит из воды в водные организмы. Образование соединений ртути в природе происходит следующим образом:



Фитотоксичность ртути проявляется в подавлении активности ферментов рибонуклеазы, каталазы, оксидазы и фосфатазы [187]. По мнению G.N. Mhathre и S.B. Chaphekar, вредное действие ртути необходимо рассматривать как результат комплексного нарушения многих метаболических процессов, в частности образования хлорофилла, фотосинтеза, газового обмена и дыхания [188]. Ртуть считается одним из самых опасных и высокотоксичных элементов, обладающих способностью накапливаться в растениях и в организме животных и человека, то есть может быть отнесена к ядам кумулятивного действия. Наиболее частые симптомы отравления ртутью растений – отставание в росте всходов и развитии корней, что приводит к заметному снижению урожайности [189]. Фоновым значением считается уровень ртути в растениях, равный 0,001-0,1 мг/кг сухой массы, а при концентрации ртути свыше 0,1 мг/кг в растительном организме начинается угнетение клеточного дыхания, газообмена, активности ферментов и фотосинтеза [190].

Высшие растения сильно различаются по способности аккумулировать ртуть в своих тканях. Среднее ее содержание в зерне кукурузы составляет 0,0034 мг/кг, в бобах сои – 0,0032 мг/кг, тогда как в зерне озимой пшеницы ртути в 3,2-3,4 раза больше – 0,011 мг/кг [191]. Наибольшие количества ртути накапливают салат, редис, картофель, морковь, томаты и бобовые.

Ртуть, распределяясь по почвенному профилю, преимущественно аккумулируется в гумусовом горизонте, что связано с их биофильным

накоплением. Попадая в растение, в большей степени (до 95% от общего количества) аккумулируется в корнях. Защитный механизм, препятствующий поступлению этого элемента в надземную фитомассу растения, особенно заметно проявляет свое действие при его нетоксичных концентрациях. Чем выше содержание ртути в почве, тем интенсивнее повышается ее концентрация в растительных тканях. В зоне сильного загрязнения уровень содержания этого элемента в растительной продукции может превышать допустимые нормы [192].

Формы ртутьорганических соединений изменяются благодаря химическим и биологическим процессам. Органические соединения ртути, обладая низкой степенью диссоциации и будучи менее адсорбированными илистой фракцией почвы, легче поглощаются растениями. Общее содержание ртути в почве вследствие ее высокой токсичности не должно превышать 2 кг/га, обычно содержится в почве в количестве 0,01-1,0 мг/кг [193]. Ртуть способна при наличии условий для окисления мигрировать в широком диапазоне pH. Исследования, проведенные в нашей стране, показали, что ртуть хорошо сорбируется в верхних слоях перегнойно-аккумулятивного горизонта разных типов почв глинистого и суглинистого гранулометрического состава. В песчаных, кислых и обедненных гумусом почвах процессы миграции ртути выражены сильнее. В таких почвах проявляется также процесс испарения органических соединений ртути, которые обладают свойством летучести [194, 195]. Вероятность отравления животных, содержащихся в условиях фермерских хозяйств и животноводческих комплексов связана с загрязнением кормов. Слабый контроль качества кормов и сырья для комбикормов приводят к повышенному уровню тяжелых металлов и ртути в рационе. Кроме отравления они ухудшают использование питательных веществ, а значит, замедляют рост и развитие животных [196].

Например, попадание ртути в организм жвачных: крупного рогатого скота и овец вызывает проявление типичных для интоксикации элементов

патологий, затрагивающих выделительную и нервную систему, нарушение активности ферментов и кроветворной функции [197]. При повышенных содержаниях ртути в объектах агробиоценозов преимущественно из-за обработки территорий под посевами ртутьорганическими пестицидами и загрязнении кормовых источников происходит закономерное проникновение органических соединений ртути в продукцию животноводства. Поскольку эти соединения крайне медленно выводятся организмом, наблюдается их высокое содержание в тканях и органах крупного рогатого скота. Установлено, что концентрация токсиканта напрямую зависит от возраста животного и сезона: накопление ртути наиболее интенсивно в пастбищный период [198].

В последние годы часто появляется информация о значительном превышении допустимого уровня ртути в рыбной продукции [199, 200].

Таким образом, анализ данных, приводимых в научной литературе, позволяет заключить о роли ртути как исключительно опасного для животных и человека тяжелого металла.

**Мышьяк** – классифицируют, как один из опасных токсических элементов, способных к накоплению и миграции в почве, создавая реальную угрозу для поступления его в опасных для человека формах.

Долгосрочное поступление неорганического мышьяка в организм человека связано с поражениями кожи, раком, нейротоксичностью, сердечно-сосудистыми заболеваниями, аномальным метаболизмом глюкозы и сахарным диабетом.

Мышьяк является одним из наиболее опасных элементов. Его содержание в почвах и влияние на свойства почв активно изучается во многих странах [201-203]. В почву мышьяк может поступать как из природных, так и из техногенных источников. Мышьяк в почвах преимущественно представлен трехвалентными и пятивалентными формами – соответственно арсенитами ( $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ ,  $\text{HAsO}_3^{2-}$ ,  $\text{AsO}_3^{3-}$ ) и арсенатами ( $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ ,  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$ ). Пятивалентная форма менее подвижна, прочнее

адсорбируется почвой. [204]. Накопление мышьяка растениям в основном зависит от окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) почвы и реакции почвенной среды. [205].

Почвенные микроорганизмы играют важную роль в круговороте веществ и являются одним из показателей качества почвы, поэтому изучению влияния одного из самых токсичных элементов - мышьяка на состав и функции микробиоты уделяется много внимания [206].

Микробная биомасса и активность микроорганизмов являются чувствительными индикаторами загрязнения почв тяжелыми металлами и мышьяком [207].

В избыточных количествах мышьяк способен ингибировать клеточные функции, связанные с метаболизмом и вызывать снижение биологической активности почвы или гибель микроорганизмов [208-210].

Кратковременное воздействие тяжелыми металлами влияет на популяцию микроорганизмов, ингибирует деятельность чувствительных к загрязнению микроорганизмов, что в свою очередь снижает биохимическую активность почвы. Снижение активности Р-глюкозидазы, уреазы, фосфатазы, сульфотазы вызванное мышьяковым загрязнением, может привести к изменениям в циклах круговорота основных питательных элементов - углерода, азота, фосфора и серы [211, 212]. При попадании в почвенный слой часть мышьяка трансформируется при взаимодействии с веществами и минералами, входящими в состав почвы.

В связи с чем важны систематические исследования по оценке влияния на почву и растения тяжелых металлов и токсичных элементов, содержащихся в фосфорных удобрениях, полученных из различного сырья по разным технологическим схемам [213].

В этом отношении внимания заслуживают фосфорные удобрения, поскольку содержание в них примесей тяжелых металлов и токсичных элементов, поступающих из сырья, может достигать относительно высоких величин. Мышьяк может содержаться в фосфатной руде, используемой для

производства фосфорных минеральных удобрений. Содержание мышьяка в удобрениях зависит от его концентрации в фосфатной породе. Использование фосфорного сырья с низким содержанием мышьяка для производства удобрений поможет сохранить чистоту и качество пищевых продуктов, а также и здоровье человека.

В результате возможность негативного воздействия фосфорных удобрений выше, но несомненно ниже в сравнении с техногенными загрязнителями. Обусловлено это высоким качеством российских руд, отличающихся от зарубежных более низким содержанием тяжелых металлов и токсичных элементов [214]. Для оценки степени биологического воздействия необходимо знание уровня токсичности данного тяжелого металла и металлоида. В рекомендациях ЮНЕП наиболее опасными тяжелыми элементами названы кадмий и мышьяк [215].

Мышьяк классифицируют, как один из опасных токсических элементов, способных к накоплению и миграции в почве при производстве сельскохозяйственной продукции, создавая реальную угрозу для поступления его в опасных для человека формах.

Согласно обобщенным данным, содержание мышьяка в растениях, произрастающих на незагрязненных почвах, варьирует от 0,009 до 1,5 мг/кг абсолютно сухого вещества с максимальными значениями, характерными для листовых овощных культур. Отмечается, что трехвалентный мышьяк (арсениды) в целом значительно более токсичен для растений, чем пятивалентный (арсенаты) [216]. Например, некоторые системы производства способствует концентрации определенных металлов в зернах риса, среди которых мышьяк представляет наибольшую проблему, настолько, что законодательство Европы ограничивает содержание неорганического мышьяка до 0.2 мг/кг продукции, а если она идет в пищу, ограничение еще сильнее – 0.1 мг/кг риса.

В соответствии с Регламентом (ЕС) № 2019/1009 Европейского Парламента и Совета установлены предельные нормы для тяжелых металлов

в минеральных удобрениях: мышьяк – 40 мг As/кг. Считается, что указанное количество не будет способствовать накоплению мышьяка в сельскохозяйственной продукции. Однако, научные исследования по безопасному содержанию этих элементов в удобрениях продолжаются, и, возможно, будут обновленные данные по этому вопросу [217].

Относительно нормирования мышьяка, как токсиканта 1-го класса опасности, в Российской Федерации накоплен обширный опыт на основе длительных токсиколого-гигиенических исследованиях и многочисленных нормативных документах по предельно-допустимым концентрациям в почве, пищевой продукции и кормах для сельскохозяйственных животных. Среди наиболее важных можно выделить:

- Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»;

- Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»;

- Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС) 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»;

- ГОСТ 17.4.1.02-83 «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения»;

- МУ 2.1.7.730-99. 2.1.7. «Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания»;

- О нормировании содержания мышьяка в почвах (Безгулова О.С., Околелова А.А., Электронное периодическое издание ЭФУ «Живые и биокосные системы», 2012, № 1);

- СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

Для выдерживания нормативов по мышьяку в почвах и продуктах питания должны учитываться отличия физико-химических свойства мышьяка.

В отличие от кадмия мышьяк является более подвижным токсикантом, его наиболее опасной формой является мышьяк в степени окисления +3 и +5. Последняя форма является наиболее распространенной при загрязнении почв удобрениями. Анионная форма мышьяка является высокоподвижной и усвояемой растениями по трансляционной цепочке «удобрение-почва-растение» практически для всех видов почв и ее значений pH. Буферные свойства почвы при этом значительно ниже, чем для катионной формы кадмия.

По данным Виноградова А.П., содержание мышьяка в почвах мира, в среднем, колеблется от 1 до 40 мг/кг при среднем содержании 5-6 мг/кг [218]. По данным Орлова Д.С. и др., средняя концентрация этого элемента в почве изменяется в широком диапазоне 0,1—0,2 до 30—40 мг/кг [219].

В целом, содержание мышьяка в верхнем слое незагрязненной почвы обычно колеблется в интервале 0,2—16 мг/кг [220].

Предельно допустимая концентрация (ПДК) мышьяка в почвах России - 2 мг/кг. Однако считается, что это значение сильно занижено [221], так как большинство фоновых почв содержит количество мышьяка выше 2 мг/кг.

Стоит отметить, что в гигиеническом нормативе ГН 2.1.7.2041-06 установлено ПДК для мышьяка - 2 мг/кг (валовое содержание), однако оговорено, что эта величина дается «с учетом фона (кларка)».

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что содержание мышьяка в почвах весьма разное. В то же время общее (валовое)

содержание мышьяка не является исчерпывающей характеристикой загрязнения почв и опасности перехода мышьяка по пищевой цепочке.

Реальную угрозу для экосистем представляет не валовое содержание мышьяка в почве, а его содержание в подвижной форме. Мышьяк в данной форме из загрязненной им почвы проникает в растения и оказывает на них негативное воздействие. Поступающие из почвенных растворов токсичные элементы накапливаются в корневой системе и в других органах растений. Через почву по цепям питания мышьяк может поступать в организм животных и человека [222].

Обстоятельные работы по определению содержания подвижных форм тяжелых металлов проведены в системе агрохимической службы страны в условиях производства на полях хозяйств. На уровне экономических районов можно выделить три группы районов с различным содержанием в почве элемента: в первую группу с самым низким содержанием (1,70-2,64 мг/кг) входят такие районы, как Северный, Северо-Западный, Поволжский и Волго-Вятский; во вторую группу (3,57-4,23 мг/кг) – ЦЧО, Северо-Кавказский, Уральский, Западно-Сибирский и Восточно-Сибирский; в третью группу (с содержанием больше 7,0 мг/кг As) вошел только Дальневосточный район [223]. Многочисленными исследованиями установлена миграция мышьяка в почвах и поверхностных водах от промышленных или природных источников, которые показывают значительную площадь распространения и загрязнения мышьяком. Это характерно для месторождений пиритов, руд цветных металлов, промышленных объектов. Однако их влияние на плодородные почвы минимально в отличие от минеральных удобрений, содержащих подвижный мышьяк и вносимых в корневую зону растений. Это приводит к сорбции мышьяка, высвобождаемого из удобрения и его трансляции в продуктивные органы растения и его накоплению в опасных для человека концентрациях.

Также необходимо учитывать, что уровень содержания тяжелых металлов в почве не всегда отражает их накопление в растениях и производимой животноводческой продукции [224].

Загрязнение растений токсикоэлементами в количествах, превышающих ПДК, происходит даже в тех случаях, когда их количество в почве ниже предельно допустимых концентраций [225].

Необходимо обратить внимание, что жесткие требования предъявляются к содержанию мышьяка в осадках сточных вод при использовании их в качестве удобрений. В соответствии с ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 «Охрана природы (ССОП). Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений» допустимая концентрация содержание мышьяка в осадках 1-й группы должно составлять 10 мг/кг сухого вещества и для 2-й - 20 мг/кг сухого вещества. Этим действующим нормативным документом, устанавливаются обязательные требования к безопасному содержанию мышьяка в удобрениях производимых из осадков сточных вод. Нормы установлены на основе расчетных и экспериментальных данных по влиянию мышьяка в удобрениях на загрязнение почв при разных фоновых уровнях мышьяка в почве. Показано, что при обычных дозах внесения удобрения практически весь мышьяк переходит в плодородный слой почвы и создает опасные концентрации выше ПДК.

Таким образом, для удобрений, выделяемых в отдельную группу с улучшенными экологическими характеристиками, нормативы должны быть еще жестче.

Наиболее эффективным и экологически предпочтительным способом ремедиации почв является фитовосстановление. В монографии В.П. Середина. «Загрязнение почв» [226] приведены различные варианты метода фитовосстановления почв.

Гигиеническое нормирование тяжелых металлов и мышьяка в почвах ведется по различным механизмам их негативного влияния на окружающую

среду и организм человека. Например, ПДК мышьяка и ртути в почве определяют по фитоаккумуляционному механизму (перенос и накопление в растениях), а свинца, кобальта и меди по общесанитарному (влияние загрязнителей на процессы биовосстановления почв и влияние на почвенную микробиому, консорциумы микроорганизмов, развитие патогенной микрофлоры). Также в одних случаях используются валовые концентрации загрязняющих веществ, в других случаях – концентрации подвижных форм.

Взаимовлияние загрязнителей с усилением эффекта токсичности при использовании гигиенических нормативов в виде ПДК индивидуальных токсикантов не учитывается.

Расчеты интегральных коэффициентов экологической напряженности территории могут давать отклоняющиеся результаты от реальной ситуации, в том числе в сторону занижения экологической опасности.

Дополнение действующей платформы гигиенических нормативов системой показателей редуцированного (то есть сниженного) воздействия на окружающую среду представляется целесообразным и своевременным. Установление таких показателей, которые будут взаимосвязаны с улучшенными показателями улучшенной промышленной, сельскохозяйственной продукции и продовольствия, гармонично дополнит действующую платформу гигиенического нормирования и закроет лакуны в цепочке производства и обращения и экологическом мониторинге.

Улучшенные характеристики в экологическом отношении должны определять достижение следующих целей:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma c_i \cdot t_i \ll \Pi_i \quad (1) \\ \frac{d c_i}{d t_i} = 0 \quad (2) \end{array} \right.$$

$c_i$  – концентрация  $i$ -го загрязнителя в окружающей среде (почва, природные воды, воздух) и продуктах питания;  
 $t_i$  – время экспозиции загрязнителя;

$\Pi_i$  – пороговая доза  $i$ -го загрязнителя в окружающей среде и продуктах питания.

Неравенство (1) означает минимально возможное воздействие на окружающую среду и здоровье человека на длительном отрезке времени (десятки лет). Второе неравенство (2) отражает градиент снижения загрязнителя во времени при применении улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия. Это неравенство справедливо и для отдельного случая исходного высокого загрязнения (мультипликатор  $> 1$  к ПДК соответствующего загрязнителя). Наглядно это представлено на рис. 4.32 с каскадным приближением к минимальному (в пределе – нулевому) загрязнению и общему снижению негативного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

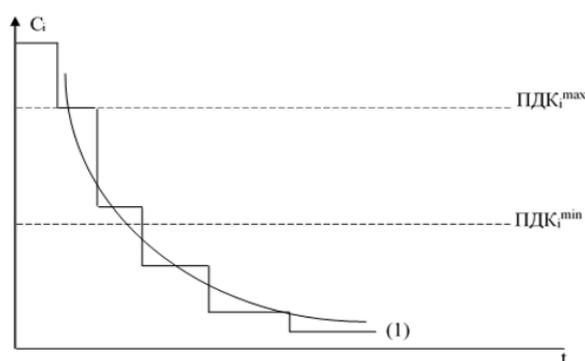


Рисунок 4.32 - Градиент загрязнителя ( $i$ ) в окружающей среде и продуктах питания при применении улучшенной промышленной продукции и производстве улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия; – равновесная линия приближения к нулевому загрязнению

На рис. 4.33 представлен статус и потенциал развития различных сегментов сельскохозяйственной продукции и продовольствия. По комплексу показателей наибольшим потенциалом устойчивого развития обладает сегмент улучшенной сельхозпродукции.

Нормирование концентраций токсичных и опасных веществ, а также исключение из применения для производства улучшенной сельскохозяйственной продукции химических средств защиты растений высоких классов опасности ставит защитный барьер на потенциальное усиление токсичности в окружающей среде за счет метаболических

процессов и взаимовлияния различных веществ. Например, препарат гептахлор, являющийся сравнительно низкотоксичным, под воздействием микроорганизмов почвы трансформируется в гептахлорэпатид с кратно более высокой токсичностью [227].

Переход на платформу продукции с улучшенными характеристиками позволит обеспечить контроль и целенаправленное снижение экологической нагрузки на окружающую среду с установлением прослеживаемой причинно-следственной связи трансляции загрязнителей по трофическим цепочкам. Целью является кардинальное снижение экологической нагрузки на длительном временном отрезке.

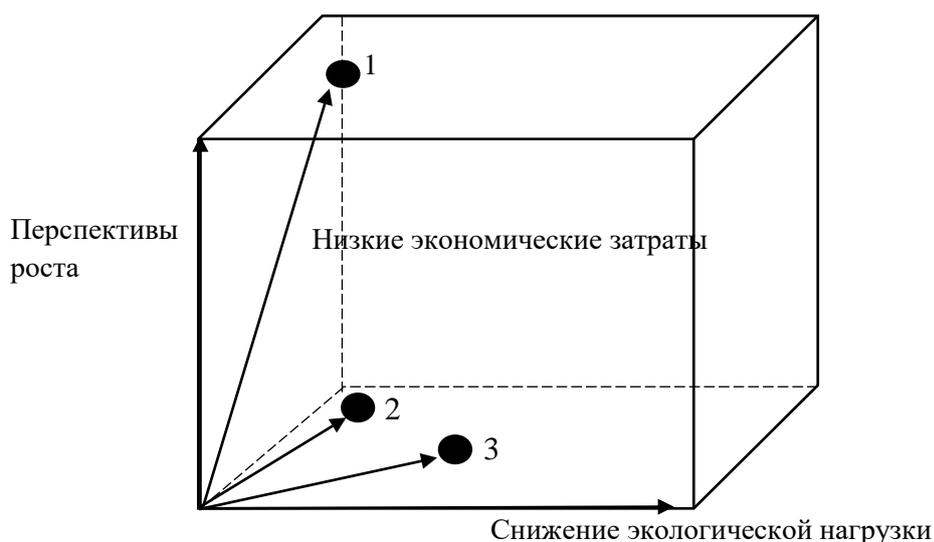


Рисунок 4.33 - Статус различных сегментов:

- (1) – улучшенная продукция (высокие перспективы роста, низкая экологическая нагрузка, относительно низкие экономические затраты);
- (2) – органическая продукция (средняя перспектива роста, низкая экологическая нагрузка, высокие экономические затраты);
- (3) – массовая (безопасная) продукция (средняя перспектива роста, низкие экономические затраты, средняя экологическая нагрузка).

На рис. 4.34 качественно показано влияние постоянной нагрузки на окружающую среду с ее выходом за пределы равновесия, при котором малые

дозы загрязнителей приводят к декомпенсации природной экосистемы и прекращению ее существования.

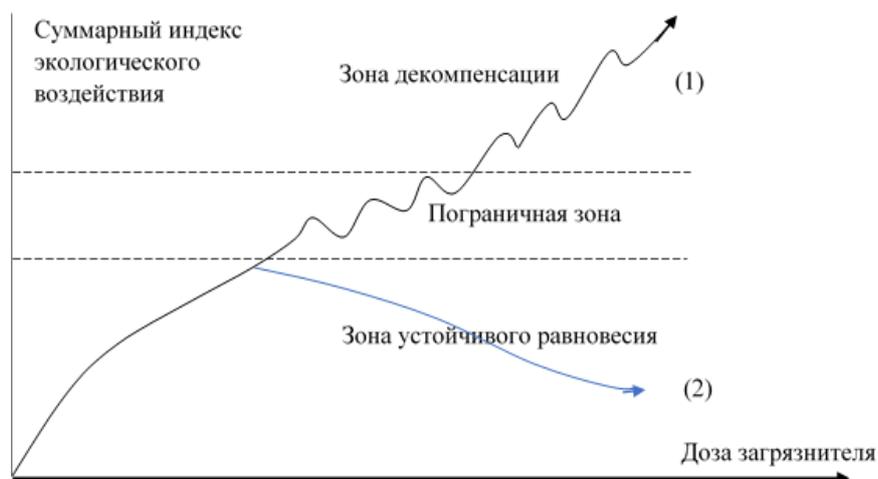


Рисунок 4.34 - Выход экологической системы за пределы равновесия

При этом уже накопленное экологическое воздействие сужает временной интервал выхода за пределы равновесия. Платформа улучшенной продукции с преобладающим контролем экологических показателей обеспечит сохранение устойчивости экосистемы даже при условии исходного накопленного экологического загрязнения.

В наглядном виде общую экологическую нагрузку при производстве и обращении улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия можно представить в виде (рис. 4.35). Переход с одной интегральной кривой экологической нагрузки на другую (1→2→3) осуществляется за счет применения улучшенных агрохимикатов и пестицидов, биовосстановления почв и других агроэкологических мероприятий с постепенным погашением накопленного стартового загрязнения (например, на загрязненных почвах) с постепенным выходом на траекторию минимального экологического следа.

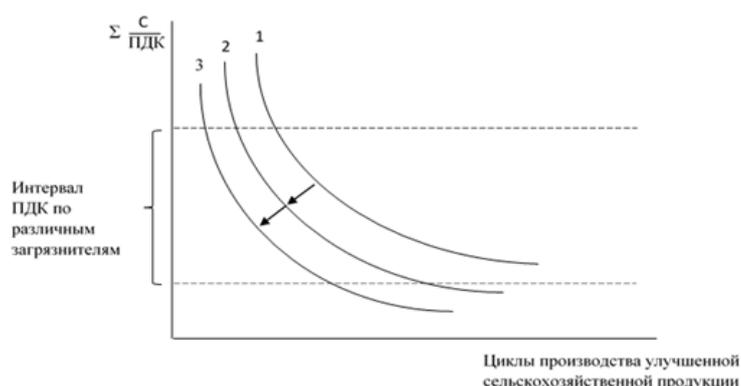


Рисунок 4.35 - Асимптотическое приближение к минимальному «нулевому» уровню экологического воздействия.

При этом даже на первых этапах можно добиться эффекта подавления синергизма и(или) сенсibilизации живых объектов окружающей среды за счет снижения концентрации токсикантов в окружающей среде. Например, в системе усиления негативного воздействия на живые организмы с одновременным содержанием органических веществ и тяжелых металлов (рис. 4.36) снижение концентрации последних приведет к ослаблению синергетического эффекта.

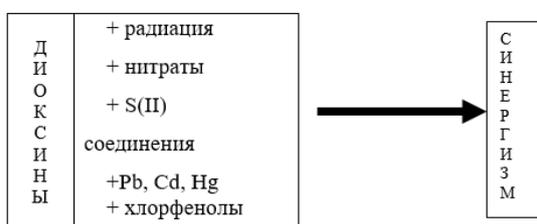


Рисунок 4.36 - Комбинации диоксинов и других факторов негативного воздействия на организм, для которых выявлено явление синергизма

Таким образом, снижение доз внесения токсикантов даже на одном этапе сельскохозяйственного производства может давать как прямой эффект снижения экологической нагрузки и воздействия на живые организмы, так и опосредованный в виде разрывов накопления ксенобиотиков в трофической цепи и попадания в продукты питания человека. Это приводит к общему снижению поступления загрязнителей в организм человека по цепочке «почва – природная вода – растение – сельхозпродукция – продукты питания – человек».

Минимизация без токсикантов, содержащихся в применяемых агрохимикатах и пестицидах, обеспечивает нормальное функционирование биологического цикла образования аминокислот, жиров, углеводов без обрыва трансформационных цепочек и образования побочных продуктов представлена на рис. 4.37.

Неорганические компоненты минеральных удобрений активно вовлечены в процесс синтеза белков и их чистота, определяемая низкой концентрацией токсичных элементов и веществ, определяет полноту синтеза целевых соединений и образования побочных органических веществ, в том числе опасных для окружающей среды или инициирующих побочные циклы трансформаций веществ, вредных для растений и животных и здоровья человека.

Прямое и косвенное действие токсинов (за счет образования токсичных соединений, образуемых или катализируемых исходными токсикантами, нарушает процессы обмена и фотосинтеза и биопревращений на клеточном уровне (рис.4.38).

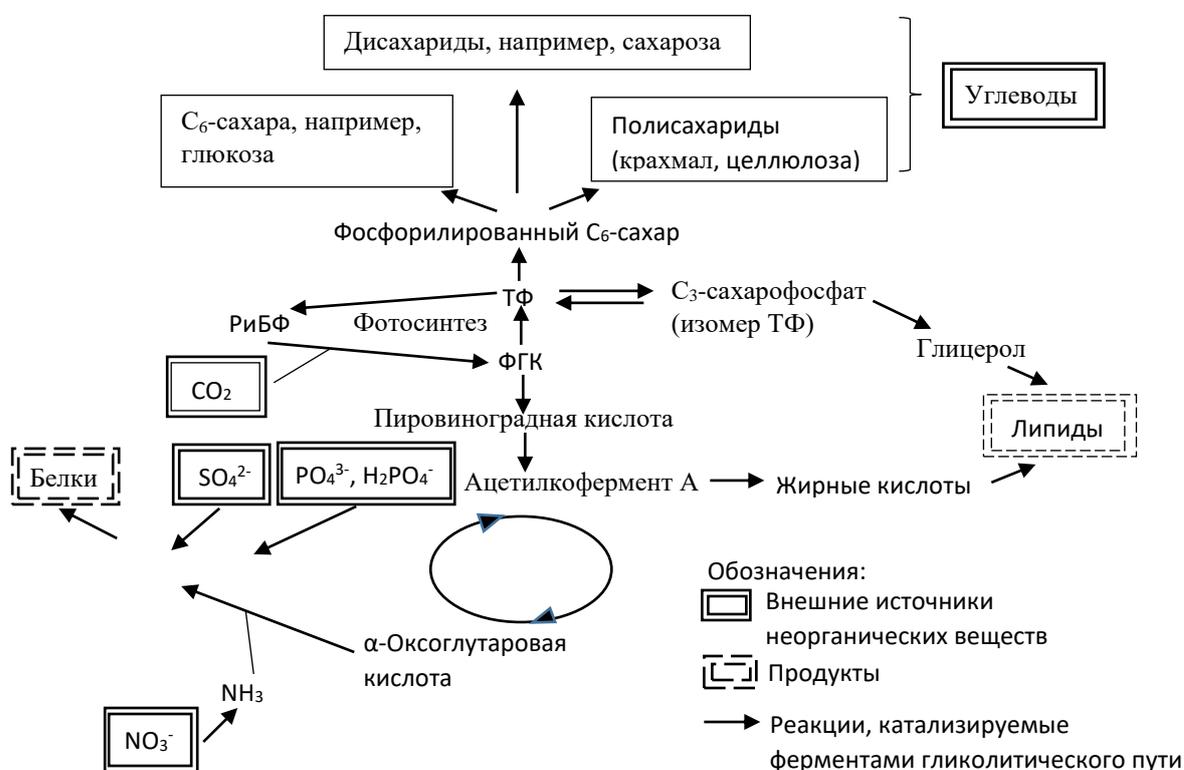


Рисунок 4.37 - Фиксация углекислого газа у большинства изученных в этом отношении растений обеспечивается ферментом РибФ (рибулезобисфосфат) – карбоксилазой – самым

распространенным на Земле белком, который, однако, соединяется и с кислородом, сокращая продуктивность фотосинтеза при «фотодыхании». При этом первым продуктом их фотосинтеза становится не ФГК, а другие органические кислоты (яблочная, аспарагиновая, щавелевоуксусная)

При низких дозах токсикантов клеточные процессы находятся в зоне равновесия без видимых изменений обмена веществ, однако по мере увеличения концентраций и доз загрязнителей метаболизм на клеточном уровне начинает давать сбой в виде неуправляемых реакций и образования гаммы органических веществ, влияние которых на биохимические процессы практически невозможно предсказать. При этом процессы синтеза могут оказаться в зоне замедления (депрессии), а побочные процессы, напротив, будут катализироваться (ускоряться). В результате меняется природная структура микробиома почвы с исчезновением наиболее чувствительных микроорганизмов.

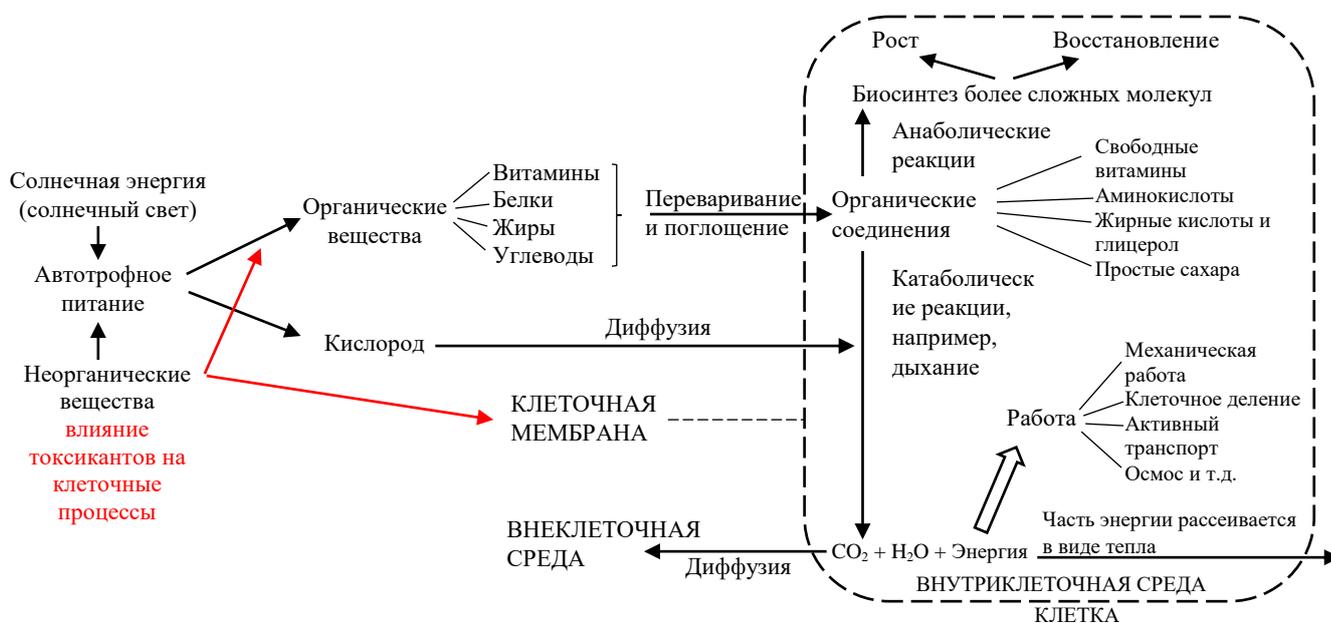
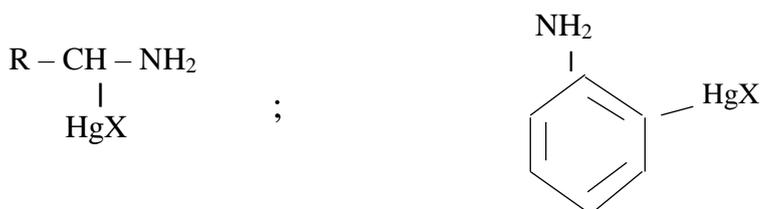


Рисунок 4.38 - Действие токсикантов проявляется на начальных циклах фотосинтеза и обмена веществ на клеточном уровне [228]

При нормальных условиях ртуть, свинец, кадмий могут образовывать элементарноорганические соединения с ковалентной связью металл-углерод. В качестве органических соединений выступают соединения сложного строения, образующиеся в почве в процессе жизнедеятельности микроорганизмов – полисахариды, полифенолы, пептиды, аминокислоты и другие. Наиболее опасным является связывание указанных двухвалентных переходных металлов с остаточными качествами пестицидов, например, хлорорганических или фосфорорганических.

В результате образуются соединения совершенно другого типа и свойств по сравнению с образующимися в природной среде и часто с более высокими экотоксичными свойствами чем их исходные составляющие:



где X – неорганический или органический анион.

Ртуть-органические соединения чрезвычайно токсичны, особенно жидкие низшие диалкильные производные [229]. Аналогичный механизм образования элементарноорганических соединений характерен и для кадмия  $\text{Cd}^{2+}$ .

При этом ковалентная связь «углерод – металл» сравнительно неустойчива и в природной среде может диссоциировать на составляющие.

Другой механизм на молекулярном уровне характерен для образования мышьяк-органических соединений.

Мышьяк может образовывать разнообразные органические соединения со связями «мышьяк – углерод», «мышьяк – сера», «мышьяк – кислород», «мышьяк – хлор» с различными координационными числами и устойчивостью соединений.

При этом значительная часть мышьяк-органических соединений подвергается гидролизу, прежде всего, в щелочной среде с образованием

чрезвычайно ядовитых остатков соединений мышьяка (III). Особенно опасными для окружающей среды и человека являются соединения со связями «мышьяк – хлор», «мышьяк – углерод ароматического кольца».

Мышьяк-органические соединения возникают в результате биометилирования неорганических соединений мышьяка посредством процессов, опосредованных ферментами, связанными с витамином В<sub>12</sub>. Например, плесень *Scopulariopsis brevicaulis* продуцирует значительные количества триметиларсина, если присутствует неорганический мышьяк. Органическое соединение арсенобетаин, бетаин, содержится в некоторых морских продуктах, таких как рыба и водоросли, а также в грибах в больших концентрациях. В среднем человек получает 10-50 мкг As в день. Значения около 1000 мкг не являются необычными после употребления рыбы и грибов. Но есть рыбу мало опасно, потому что это соединение мышьяка почти нетоксично. Арсенбетаин был впервые обнаружен в западном лобстере.

Углеводы, связанные с мышьяком, известные под общим названием арсеносахара, особенно обнаружены в морских водорослях. Также известны мышьяк-содержащие липиды.

Несмотря на данные многочисленных исследований по экотоксичности мышьяка в зависимости от его валентности, концентраций, доз и фоновой экологической нагрузки на живой организм, остаются серые зоны в прогнозировании влияния соединений мышьяка на окружающую среду.

В диссертационной работе Приходько Г.В. систематизирован обширный российский и зарубежный опыт по влиянию соединений мышьяка на животных. Исследования подтверждают неоднозначные пути трансформации мышьяк-содержащих соединений в сложных биологических системах, какими являются живые организмы [230]. Исследования биотрансформации некоторых органических соединений As, используемых в качестве пищевых добавок и лекарственных средств, показывают, что они превращаются в более легко выводимые из организма, а иногда и более токсичные вещества (Hogan&Eagll, 1944; Cristan et al.# 1972, 1975; Calvert,

1075). Эти изменения в молекулярной структуре редко влияют на его валентность и не ведут к образованию неорганических соединений As.

Канцерогенность неорганического мышьяка у людей, особенно в легких и коже, была достаточно хорошо установлена в результате эпидемиологических исследований. (Маккинни Дж.Д., *Метаболизм и утилизация неорганического мышьяка у лабораторных животных и людей*, Лаборатория исследований воздействия на здоровье, Агентство по охране окружающей среды США, 27711, Исследовательский Треугольный парк, Северная Каролина, США).

В 2011 году Международным агентством по исследованию рака (IARC) установлено, что неорганические формы As являются канцерогенами группы 1, т.е. могут оказывать негативные эффекты в любых концентрациях [231].

В биосистеме с наличием биологически активных веществ различной функциональной направленности сочетание токсичных элементов в катионной (ртуть, кадмий, свинец) и анионной (мышьяк) формах приводит к связыванию органических веществ и потере ими биологически активных свойств. Это можно показать на примере процесса метаболического дыхания растений (рис. 4.39).

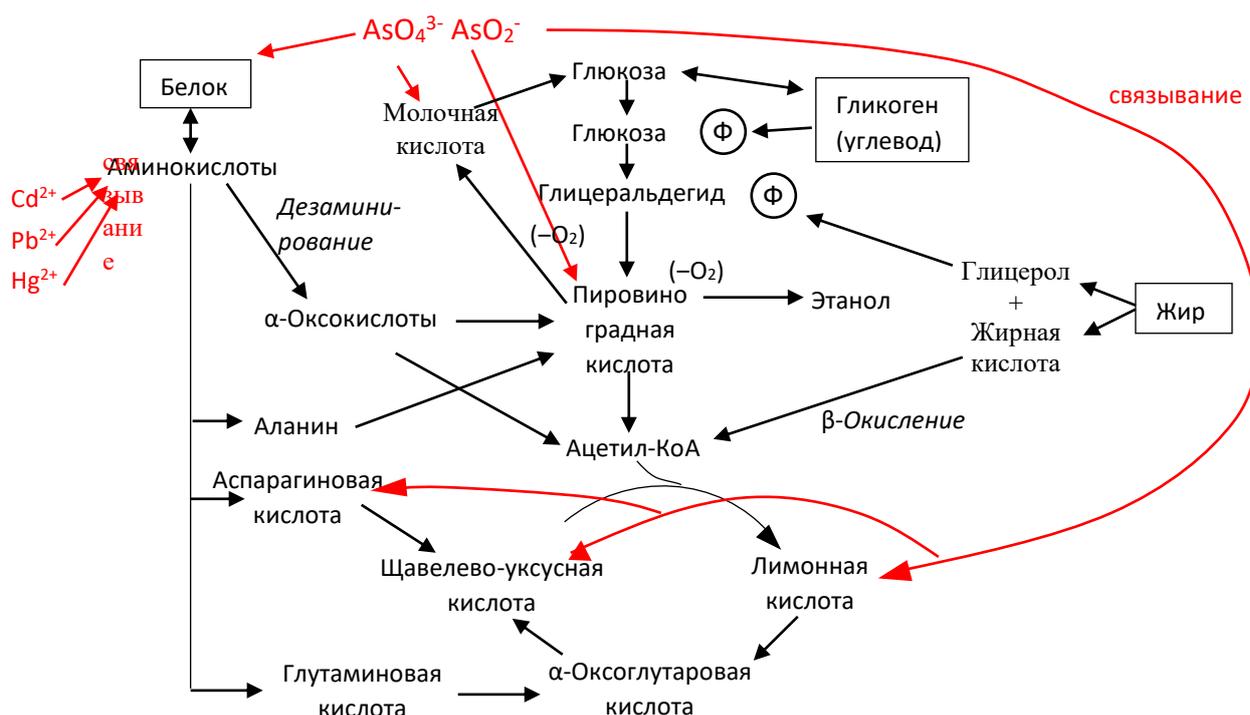


Рисунок 4.39 - Главные метаболические пути дыхания (из Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор, 1996)

Образование связей «катион металла II – углерод», «мышьяк – углерод»; «мышьяк – кислород» и других приводят к образованию интермедиатов с противоположными свойствами относительно исходных органических веществ, блокировке метаболического процесса и последующему образованию побочных, в том числе и особо токсичных веществ.

С учетом порядковой разницы в молекулярных массах неорганических катионов и анионов с высокомолекулярными полисахаридами, полиаминами, кислоты, альдегидами даже незначительные их концентрации оказывают критическое действие на важнейшие метаболические процессы дыхания, накопления и переноса энергии, разложения органических остатков в почве, в которых задействованы органические вещества тех же классов, что и в процессах дыхания (рис. 4.40).

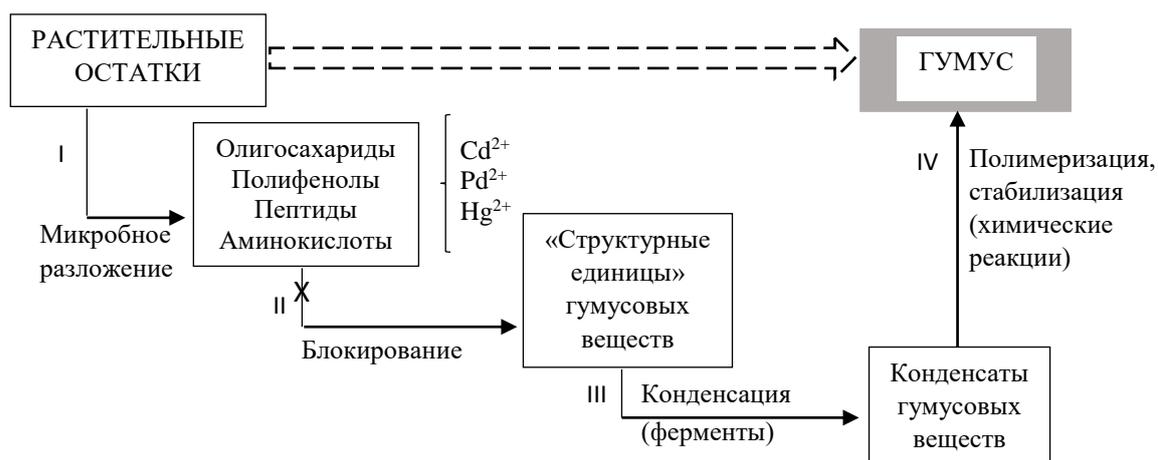


Рисунок 4.40 - Схема последовательных этапов образования гумуса из растительных остатков (по М.М.Кононовой)

В результате блокирование процессов на молекулярном и клеточном уровнях образование органических длинноцепочечных кислот практически

прекращается. Плодородный слой теряет важнейшую составляющую – гумус, что, в свою очередь, становится лимитирующим фактором плодородия почв и отзывчивости сельскохозяйственных культур на дозы минеральных удобрений.

Поэтому нормирование токсичных элементов в улучшенных минеральных удобрениях обеспечивает отсутствие негативного эффекта блокировки метаболических процессов в почве как относительно действующих концентраций токсикантов, так и их доз при высоких нормах внесения минеральных удобрений.

Таким образом, улучшенные минеральные удобрения, прежде всего, сложные имеют явное предпочтение для применения на сельскохозяйственных землях с негативной динамикой органической составляющей. В комбинации с соответствующими биопрепаратами можно ускорить процессы образования гумусовых и фульвокислот, а отсутствие токсикантов не будет оказывать тормозящего или блокирующего эффекта.

**Фитовосстановление почв.** Идея этого биологического метода очистки почв (и грунтовых вод) происходит за счет того, что растение накапливает загрязнение из почвы в своих побегах. Это могут быть ионы тяжелых металлов, или ядовитые органические соединения, или радиоактивные загрязнения. Преимущество фитовосстановления перед другими методами восстановления почв состоит в том, что загрязнения удаляются из почвы, не разрушая ее структуры, и без снижения почвенного плодородия. Фитовосстановление почвы — это весьма сложный процесс, который может протекать по различным механизмам, иногда одновременно по нескольким.

Фитостабилизация — это механизм выделения растением химических соединений, которые иммобилизуют загрязнения на поверхности раздела корней и почвы.

Фитоаккумуляция — это механизм захвата загрязнений корнями растения и затем его перенос и накопление (фитоэкстракция) в побегах

растения и листьях. Обычно такой механизм осуществляют для восстановления почв, осадков и грунтовой воды, загрязненных металлами. Специфические виды растений используются для поглощения больших количеств металлов из почвы, затем с засеянной загрязненной территории собирают урожай. Биомассу компостируют для повторного использования металлов или сжигают, золу отправляют на регулируемую свалку.

Фиторазложение — это метаболизм загрязнений внутри побегов растений. Растения производят ферменты, например, дегалогеназу и оксигеназу, которые катализируют разложение загрязнений. Сейчас проводятся исследования возможности фиторазложения ароматических и хлорированных алифатических соединений.

Безусловно, как и любой другой способ фитовосстановления имеет свои ограничения, однако при прочих равных условиях он имеет безусловные преимущества – не только не допускает потери органических и полезных минеральных веществ, но еще улучшает состав и структуру почв.

## **5. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ – ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ «ЗЕЛеной» ПЛАТФОРМЫ**

Биостимуляторы для растений – это обширная группа веществ и микроорганизмов, которые могут изменить физиологию растения, улучшить эффективность, урожайность и устойчивость. Сельхозтоваропроизводители применяют продукты с биостимуляторами для обработки семян, почвы, для приготовления раствора для опрыскивания, для улучшения качества и урожайности. Также можно говорить и о других свойствах этой группы веществ – они выступают в качестве элиситоров, усилителей роста, как фитостимулирующие вещества, фитопротекторы, биоудобрения, биоактиваторы.

Выявлено множество веществ, способных выступать биостимуляторами. В целом биостимуляторы можно разделить по признаку исходного сырья: органические кислоты, в том числе гуминовые, аминокислоты, пептиды; экстракты растений (в основном из водорослей); микробиологические организмы, а также неорганические соли.

Виды биостимуляторов по типу компонентов и применению:

1. Микробные модификаторы.
2. Органические кислоты.
3. Биодобавки в корма животных.
4. Биодобавки для очистки сточных вод.
5. Фосфиты.

### **5.1. Микробные модификаторы**

Микробные модификаторы (PGP) обычно классифицируются как агенты биологического контроля (также называемые биопестицидами) или биоудобрения. Биоудобрения представляют собой биологические продукты, содержащие живые микроорганизмы, которые при нанесении на семена, растительные поверхности или почву способствуют увеличению подачи питательных веществ, увеличению биомассы корней или корневой зоны и увеличению мощности поглощения питательных веществ растениями. Биоудобрения могут использоваться в качестве дополнения к минеральным удобрениям. Микробные модификаторы в основном включают свободно живущие бактерии, грибы и арбускулярные микоризные грибы (AMF), которые были выделены из различных сред, включая почву, растения, растительные остатки, воду, и компостируемые навозы. Среди наиболее чувствительных к биоудобрению веществ - растительные ризобактерии (PGPR) и бактерии, способствующие росту растений (PGPB), обе из которых являются свободноживущими бактериями, которые в основном изолированы от ризосферы. Несколько обзоров PGPR были опубликованы за последние несколько лет [231.1]. В табл. 5.1 приведены основные типы

микроорганизмов, которые используются для биомодифицированных удобрений.

Функционирование биоудобрений осуществляется путем фиксации, мобилизации или растворения (солюбилизации) питательных веществ. Они включают свободно живущие почвенные бактерии - азотобактер и симбиотические бактерии - Rhizobia, а также штаммы грибов, такие как Arbuscular Mycorrhiza. Rhizobia образуют симбиотические отношения со многими растениями. Rhizobia используются как эффективные модификаторы для сои на протяжении десятилетий и могут обеспечить до 90 процентов фиксации азота из атмосферы.

Новые данные свидетельствуют о способности биоудобрений улучшить урожайность культур и эффективность использования питательных веществ. На основе анализа 171 рецензируемых публикаций сделан вывод об увеличении урожайности при использовании биоудобрений. В публикации [231.2] делается вывод о том, что:

- биоудобрения демонстрируют значительные результаты в сухом климате;
- биоудобрения значительно улучшают эффективность азота и фосфора;
- биоудобрения, характеризующиеся P-солюбилизацией и N-фиксацией имеют самый высокий потенциал для повышения урожайности сельскохозяйственных культур;

Таблица 5.1. Основные типы биологических организмов для биоудобрений

Группы бактерий [231.3]	Примеры
Биоудобрения с фиксацией азота	
Свободноживущие	Azotobacter, Bejehnkia, Clostridium, Klebsiella, Anabaena, Nostoc
Симбиотические	Rhizobium, Frankia, Anabaena, Azollae
Ассоциативно-симбиотические	Azospirillum
Биоудобрения мобилизующие фосфор	
Бактерии	Bacillus megaterium var, Phosphaticum, Bacillus subtilis. Bacillus circulans
Фунгициды	Penicillum Spp. Aspergillus awamori
Arbuscular Mycorrhiza fungi (AMF)	Glomus Spp., Gigaspora Spp., Acaulospora Spp., Scutellospora Spp., Sclerocystis Spp.

Ectomycorrhiza	Laccaria Spp. Pisolithus Spp, Boletus Spp. and Amanita Spp.
Ericoid Mycorrhiza	Pezizella ericae
Orchid Mycorrhiza	Rhizoctonia solani
Биодоброения для микроэлементов	
Bacillus Spp	
Солюбилизаторы силикатов и цинка	
Растениеобразующие ризобактерии	
Pseudomonas	Pseudomonas fluorescens

- эффективность биодоброений увеличивается при более высоких значениях фосфора в почве;
- эффективность арбускулярных микоризных грибов (AMF) объясняется высокой P-солюбилизацией и N-фиксирующим действием;
- прививка AMF наиболее успешна при нейтральном pH и низком содержанием органического вещества в почве.

При разработке эффективных микробных модификаторов необходимо учитывать несколько факторов. Например, виды и разнообразие растений иногда могут быть определяющим фактором в получении преимуществ при использовании биодоброений. Различные виды растений или сорта могут давать различные типы корневых экссудатов, которые поддерживают активность микроорганизмов-модификаторов, а также служат субстратами для образования биологически активных веществ микроорганизмами. Воспроизводимость эффектов микробных модификаторов необходимо тестировать по целому ряду типов почв и условий окружающей среды. Другим ключевым фактором для разработки микробных модификаторов является коммерческая рецептура. Микроорганизмы-модификаторы должны выживать в выбранной рецептуре и вызывать желаемую активность после внедрения в почву. Кроме того, при использовании в обычном сельском хозяйстве микроорганизмы также должны быть совместимы с химическими удобрениями и химическими средствами защиты растений, которые обычно используются на семенах или листе целевого урожая.

Некоторые микроорганизмы увеличивают доступность выбранных питательных веществ в почве благодаря усиленной солюбилизации, тем

самым позволяя растениям лучше усваивать питательные вещества. Низкая доступность поглощаемых форм фосфора в почве представляет собой важную проблему для сельскохозяйственных систем. Даже когда фосфор удобрения вводится в почву, он не может быть поглощен растениями, так как фосфор легко связывается с частицами почвы и остаётся недоступным для растений.

Комбинирование биопрепаратов с минеральными удобрениями обеспечивает улучшение обменных процессов в почве и увеличение степени использования фосфора в удобрениях за счёт следующих факторов:

- стимулирования развития корневой системы растений и поглощения из почвенных растворов в прикорневой зоне фосфора в усвояемой форме ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ).

- блокирование процессов иммобилизации/ретроградами фосфора в почвенных растворах за счёт связывания в малорастворимые фосфаты кальция, железа, аммония. Блокирование происходит за счет выделения продуктов метаболизма бактерий и самого растения, сложной структуры, обладающих свойствами удерживать фосфор в фитоусвояемой форме.

- уменьшение расхода фосфора на побочные процессы поглощения.

В результате степень использования фосфора при внесении минеральных удобрений можно довести до высоких показателей (60-80% от внесенного) и свести к минимуму его потери в нецелевое распределение в водоемы, поверхностные и подземные воды.

Bioconsortia представляет собой технологию, которая объединяет питательные вещества и средства защиты растений, и использует микробиологическую науку для улучшения характеристик культур и повышения урожайности. В сердце этой инновационной технологии лежит microbial consortia (комбинации микробов) – элементы естественных сообществ бактерий и грибов. Эти комбинации помогают регулировать рост растений, оказывая влияние на массу корней и помогая ускорять развитие

растений через их устойчивость к абиотическим факторам, биотической устойчивости и повышенному содержанию продуктов обмена веществ.

Микробы вносят свой вклад в урожайность злаковых благодаря различным механизмам взаимодействия, включая стимулирование роста растений, повышенное поглощение питательных веществ и повышенную устойчивость к стрессам. Эти характеристики редко принадлежат отдельному (виду) микробов – обычно они являются продуктом взаимодействия сообществ микроорганизмов

Компания BioConsortia Inc. была основана в начале 2018 года для дальнейшего развития и извлечения прибыли из microbial consortia (комбинаций микробов), (она продолжила) работу, начатую компанией BioDiscovery Limited в Новой Зеландии, которая сейчас является дочерним предприятием компании BioConsortia Inc. Компания специализируется на исследовании естественных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и за последние двадцать лет приобрела высокий уровень знаний по сверхвысокой производительности и отбору биологической активности. Компания BioConsortia Inc. обладает собственной уникальной научно-исследовательской моделью, в которой микробиома растений и microbial consortia (комбинации микробов) используются для улучшения почти любого фенотипа растений. В настоящее время две компании обладают очень большой коллекцией предварительно отсортированных и описанных микроорганизмов, включающей более 45 000 микробов, в том числе 9000 эндофитов (растительных паразитов) – микробов, которые находятся в тканях растений и оказывают наиболее прямое воздействие на выживание и рост растения. Сейчас на основе этой коллекции микроорганизмов компания BioConsortia Inc. разрабатывает процесс отбора микробов, связывающий отбор сильного фенотипа с определением последовательности ДНК с высокой пропускной способностью, что позволяет определить группы микробов, которые влияют на выражение полезных свойств в следующем

поколении растений. Микробы отбираются растением как взаимосвязанная и взаимоподавляющая группа очень различных организмов.

Для разработки продуктов для обработки семян, ученые компании BioConsortia определили наиболее благоприятные микробы из группы. Это лучшая альтернатива селекции симбиотических штаммов микроорганизмов.

Недавно компания BioConsortia Inc. объявила об открытии новой научно-исследовательской лаборатории в Дейвис, Калифорния. Совместно с Калифорнийским университетом и несколькими компаниями по защите сельскохозяйственных культур и биотехнологии в этом регионе Дейвис стал центром передовых технологий для сельского хозяйства и технической микробиологии. Новые лаборатории компании BioConsortia Inc. были специально спроектированы и построены для удовлетворения потребностей компании, включая лаборатории микробиологии и молекулярной биологии, камеры для выращивания и оборудование для геномного анализа [232].

Развитие сегмента фитоадаптивных удобрений наряду с динамично растущими сегментами удобрений с повышенной эффективностью отвечает самым насущным требованиям обеспечения высоких урожаев сельскохозяйственных культур при одновременном повышении их качества, защиты урожаев от внешних и внутренних факторов и сохранения природного агроландшафта.

Однако, для полного раскрытия эффективности применения таких удобрений необходимо вовлечение растения и, прежде всего, его корневой системы на ранних стадиях развития в обмен с системой питания на молекулярно-генетическом уровне. И в этом отношении ключом и регулятором такого обмена выступают микробиологические препараты, содержащие высокие концентрации физиологически активных и полезных микроорганизмов. Заселяя прикорневую зону растения в период вегетационного развития, микроорганизмы обеспечивают развитие, распределение по вертикали и горизонтали корневой системы и её укрепление, что обеспечивает его оптимальное питание минеральными и

органическими веществами, способствует выработке полезных аминокислот, флавоноидов, а также биостимуляторов, вырабатываемых самим растением.

Важным свойством полезных микроорганизмов является вытеснение и подавление патогенной микрофлоры и продуктов их метаболизма, повышение иммунной защиты растений к внутренним и внешним стрессам.

За счет длительной селекции отбирается наиболее эффективный и жизнестойкий штамм микроорганизмов, при этом товарной формой биопрепарата может быть, как жидкая форма, так и сухая порошкообразная форма с высоким содержанием активных микроорганизмов.

Микроорганизмы, влияют на способность растения переносить стресс. Известно, что различные культуры растений устанавливают с определенными бактериями симбиотические отношения (табл. 5.2). Бактерии рода *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Pseudomonas* и *Bacillus* обладают стратегией адаптации и процветают в неблагоприятных условиях. Адаптация проявляется в изменении состава клеточной стенки и способности накапливать высокие концентрации растворимых веществ.

Они обеспечивают повышение способности удерживать воду и повышенную толерантность к осмотическим и ионным стрессам. Состав клеточной стенки изменяется путем обогащения экзополисахаридов (EPS) и липополисахаридов - белки и полисахариды-липиды в форме защитной биопленки на поверхности корня.

Таблица 5.2. Виды ризобактерий и механизмы промотирования развития растений

PGP	PGP Механизмы	Культура
<i>Rhizobacteria</i>	Фиксация Азота	Бобовые
<i>Azoarcus</i>	Фиксация Азота	Рис
<i>Azobacter</i>	Синтез Цитокинина	Огурец
<i>Azorhizobium</i>	Фиксация Азота	Пшеница
<i>Azospirillum</i>	Фиксация Азота	Зерновые, рис, сахарный тростник
<i>Azotobacter</i>	Фиксация Азота	Пшеница, ячмень, овес, рис, подсолнечник, кукуруза, свекла, табак, чай, кофе, кокос
<i>Bacillus</i>	Синтез Ауксина	Картофель

Bacillus	Синтез Цитокинина	Огурец, туя восточная
Bacillus	Синтез гиббереллина	Перец
Bacillus	Солюбилизация калия	Пшеница, суданская трава, баклажаны, перец, огурец
Bacillus	Индукция стрессоустойчивости	Кукуруза, арахис
Bacillus	Производство антибиотиков	Люцерна
Bacillus	Производство сидерофоров	Кукуруза, перец
Beijerinckia	Фиксация Азота	Сахарный тростник
Burkholderia	Фиксация Азота	Рис
Chryseobacterium	Производство сидерофоров	Томат
Frankia	Фиксация Азота	Ольха
Gluconacetobacter	Фиксация Азота	Сахарный тростник
Herbaspirillum	Фиксация Азота	Сахарный тростник, бобовые, рис, сорго
Mycobacterium	Индукция стрессоустойчивости растений	Кукуруза
Paenibacillus	Синтез индолуксусной кислоты	Сосна
Paenibacillus	Солюбилизация калия	Черный перец
Phyllobacterium	Солюбилизация фосфата	Клубника
Pkyllobacterium	Производство сидерофоров	Клубника
Pseudomonas	Хитиназа и Р-глюканазы	Бобы мунг, пшеница
Pseudomonas	АСС синтез деаминазы	Зерновые
Pseudomonas	Производство антибиотиков	Томат, кукуруза
Pseudomonas	Производство хитиназы и п-глюканазы	Бобовые
Pseudomonas	Производство сидерофоров	Арахис
Rhizobia	Фиксация Азота	Бобовые
Rhizobia	Индукция стрессоустойчивости растений	Рис
Rhizobium	Фиксация Азота	Салат, морковь
Rhizobium	Синтез индолуксусной кислоты	Перец, томатные бобы мунг
Rhizobium	Солюбилизация фосфата	Морковь, салат, помидор, перец
Rhizobium	Производство сидерофоров	Морковь, салат, помидор, перец
Sinorhizobium	Синтез хитиназа и $\beta$ -глюканаза	Томат
Sphingomonas	Синтез гиббереллина	Индийская сирень

Растение стимулируют рост ризобактерий, которые улучшают атипичные стрессовые реакции растений. Установлено, что эти бактерии связаны с высоким уровнем IAA, которая облегчает солевой стресс и производства EPS, которые могут помочь в поддержании водяной пленки вокруг корней и/или помощи в восстановлении благоприятного градиента водного потенциала. Эти функции оказались полезными во время солевого стресса, повышенной температуры, pH и засухи. Инокуляция кукурузы азотобактером показывает, что штамм обладает общим положительным

воздействием при солевом стрессе, облегчая поглощение К, а также увеличение содержания фосфора и азота [233].

Активные микроорганизмы в ризосферной зоне оказывают комплексное воздействие на систему «почва-растение» в следующих направлениях:

1. промотируют синтез полезных веществ (фитогармонов, витаминов, аминокислот, ауксинов и т.д.), непосредственно поглощаемых растением и участвующих в его развитии;

2. мобилизуют и трансформируют в биоусвояемую форму макро- и микроэлементы, находящиеся в почве в бионедоступной форме. Это, прежде всего, относится к фосфору, переходящему в определенных условиях в малорастворимые фосфаты, кремния, играющего важную роль в минеральном питании растений, но также в значительной степени находящегося в бионеусвояемой форме; группы важнейших микроэлементов – железа (Fe), марганца (Mn), цинка (Zn), меди (Cu);

3. улучшает органо-минеральный баланс и структуру почвы в прикорневой зоне, вытесняет патогенную микрофлору, генерирует комплекс метаболитов деятельности и формирует необходимую расширенную базу физиологически активных соединений для поддержания биоразнообразия;

4. модулирует иммунную систему растения, обеспечивая в ранний период вегетации гармоничное формирование клеток и комплексную поддержку развития и роста растения.

Наиболее выраженным стимулирующим действием обладают симбиотические структуры (ассоциации) бактерий, дополняющих биохимические цепочки превращений друг друга и усиливающих биостимулирующее и биофунгицидное действие. Полезные микроорганизмы запускают сложный механизм индуцирования целой гаммы биомаркерных веществ, устанавливающих многоканальную связь между растением и микробиоценозом, определяющую роль в которой играет взаимодействие с тонкой биопленкой, непосредственно соприкасающейся с корневой системой

растения. Биопленка выполняет роль стабилизатора (буфера) для обеспечения растения всеми жизненно важными компонентами, включая питательные элементы в биоусвояемой форме, поддержания стабильного осмотического давления почвенного раствора даже в периоды значительных внешних колебаний содержания почвенной влаги, температур, солевого состава, различных загрязнителей в виде химических пестицидов, тяжелых и радиоактивных элементов. Биопленка выполняет роль полупроницаемой биомембраны, отбирающей для растения полезные вещества и задерживающей патогенную микрофлору и загрязнители различной природы.

Одним из важнейших процессов, постоянно протекающих в биопленке, является генерация активных биокомпонентов, участвующих в процессе сольюбилизации труднодоступных форм фосфора минеральной части почвы. К таким компонентам относятся ферменты типа фитазы, сложные органические соединения, удерживающие растворенные анионы фосфора ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) в растворе в биоусвояемой форме.

Общая схема прямого и косвенного взаимодействия ризосферных микроорганизму на примере штамма *Pseudomonas fluorescens* приведена на рисунке 5.1.

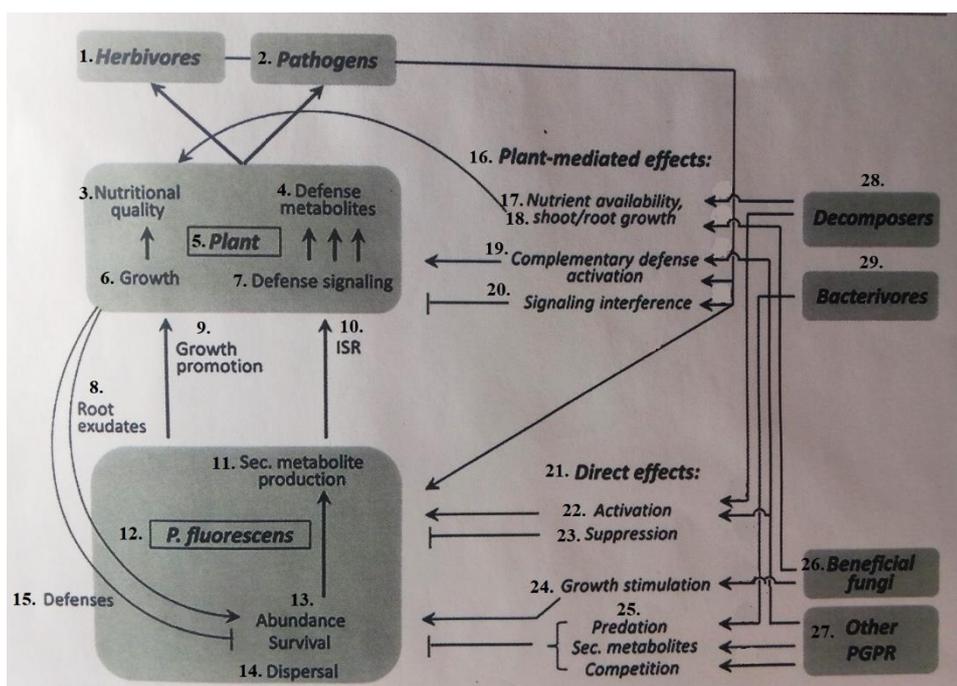
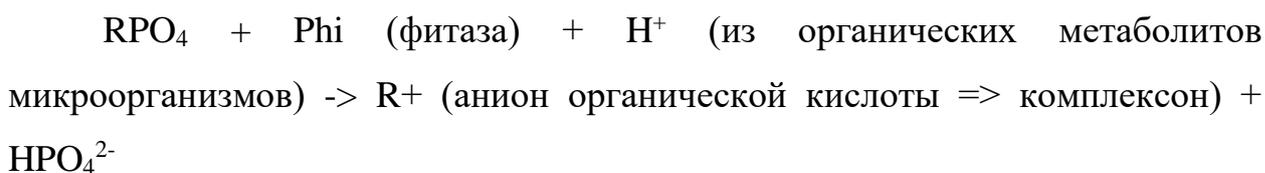


Рисунок 5.1 - Прямой и непрямой (в среде растения) эффект ризосферных и ассоциированных с растением организмов на взаимодействие *Pseudomonas fluorescens* и растение-носитель:

1. Травоядные; 2. Патогены; 3. Качество питания; 4. Защитные метаболиты;
5. Растение; 6. Рост; 7. Защитная сигнальная система; 8. Корневые волоски;
9. Промотирование роста; 10. ISR; 11. Производство метаболита; 12. *Pseudomonas fluorescens*;
13. Выживаемость; 14. Распыление; 15. Защита; 16. Влияние в среде растения;
17. Доступность питательных веществ; 18. Рост корней; 19. Комплексная защитная активация;
20. Сигнальная система; 21. Прямое действие; 22. Активация;
23. Подавление; 24. Стимуляция роста; 25. Конкуренция вторичных метаболитов;
26. Полезные грибы; 27. Другие растениеобразующие ризобактерии.

Особенностью процесса является биохимический перенос селективных компонентов вместе с почвенным раствором к иммобилизованным в почве источникам фосфора, его мобилизация в усвояемой форме и взаимодействие почвенного раствора с биомембраной с проникновением к корням растений фосфора в усвояемой форме и оптимальной концентрации.

Процесс деминерализации (солюбилизации) фосфора (рис.5.2):



где R-катион трехвалентного металла, (R=Fe, Al). Аналогичный процесс характерен и для двухвалентных металлов, связывающих фосфат-ионы в малорастворимые соли (кальций, натрий, цинк).

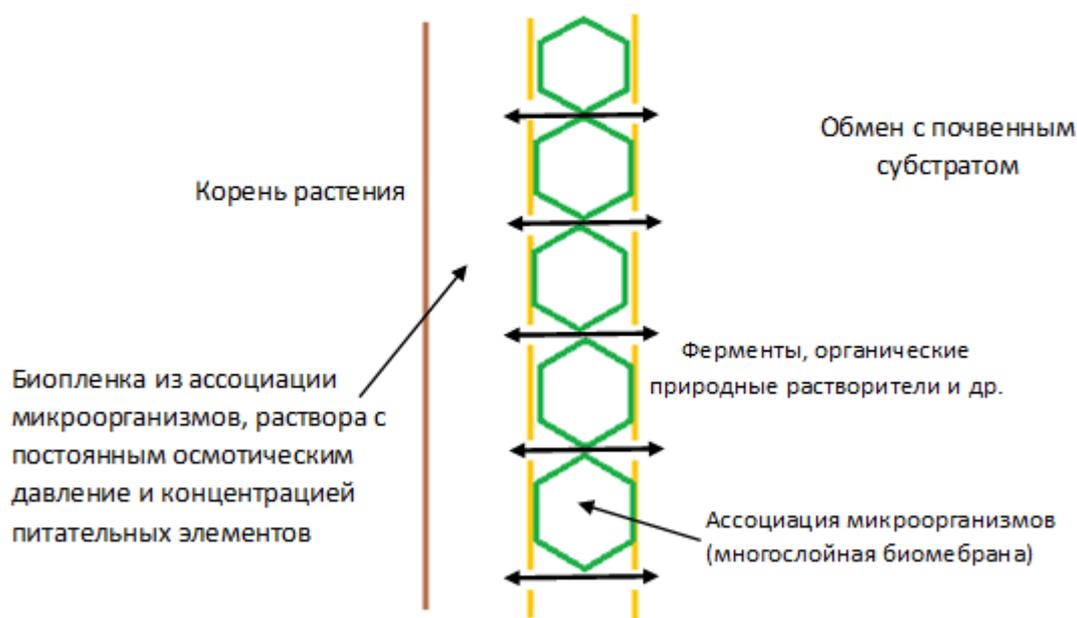


Рисунок 5.2. Схема действия биоактивных веществ

Образование активной системы «растение-микроорганизмы – почва» обеспечивает ее саморегуляцию и тонкую настройку биохимических процессов для обеспечения потребностей растений. При возникновении дефицита в фосфорном питании, растение «сигнализирует» об этом усиленным выделением в ризосферу полисахаров, органических кислот и ферментов, стимулирующим процесс мобилизации фосфора в том числе и из труднодоступных для растений источников – малорастворимых фосфатов, органической части почвы, арбускулярных микоризных грибов (AMF).

За счет расщепления\растворения источников иммобилизованного в почве фосфора концентрация дигидро- и гидрофосфат-ионов в почвенном растворе повышается до значений больше необходимых для минерального питания растения. За счет гидравлического и осмотического переноса почвенного раствора усвояемый фосфор доставляется к ризосфере, а биопленка выполняет роль регулятора, поддерживая оптимальную концентрацию фосфора в питательном растворе для растения. На границе раздела «почвенный раствор – биопленка» образуется движущий градиент

концентраций ( $\Delta C$ ) и осмотического давления ( $\Delta p$ ), обеспечивающий перенос массы через биопленку к коревой системе растения.

Дополнительным эффектом является и блокировка доступа патогенной микрофлоры к корневой системе растений. Различные штаммы микроорганизмов включают различные механизмы биоконтроля патогенов. В частности, штамм *Bacillus subtilis* за счет выработки селективных антибиотиков (табл. 5.3).

### ***Продукт БисолбиФит***

Эффективность применения биопродуктов на основе штамма микроорганизмов *Bacillus Subtilis* подтверждена и на массовых сельскохозяйственных культурах. Механизм действия микробиологического препарата «БисолбиФит» заключается в том, что входящие в него микроорганизмы повышают усвояемость питательных веществ из минеральных удобрений и мобилизуют их почвенные запасы; вырабатывают аминокислоты, витамины, гормоны и органические кислоты, которые ускоряют развитие растений и укрепляют их иммунитет; синтезируют вещества, блокирующие развитие фитопатогенных микроорганизмов.

Таблица 5.3. Процессы, проходящие в различных почвенных микроорганизмах, на этапе взаимодействия растение-бактерия

Вид	Биофертилизация	Фитостимуляция	Контроль патогенов
<i>Azospirillum brasilense</i>	Фиксация азота	Ауксины и гиббереллины	Индукцированное системное сопротивление (ISR) и сидерофоры
<i>B. subtilis</i>	Увеличение фосфора и азота	Ауксины	Антибиотики
<i>Pseudomonas flourescens</i>	Увеличение фосфора	Ауксины	2,4-дицентил-флороглицинол
<i>Streptomyces griseus</i>	Увеличение фосфора	Ауксины	Хитиназы
<i>Trichoderma harzianum</i>	Увеличение фосфора и азота	Ауксины	Микопаразитизм и энзимы

В микрополевом опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с яровой пшеницей установлено, что нанесение на гранулы аммиачной селитры микробиологического препарата «БисолбиФит» достоверно увеличивало вынос с урожаем азота и калия и имела место тенденция повышения накопления в нем фосфора. Коэффициент использования растениями азота удобрений, определенный с применением стабильного изотопа  $^{15}\text{N}$ , увеличивался в 1,15-1,22 раза. В полевом опыте нанесение микробиологического препарата, созданного на основе штамма *Bacillus subtilis* Ч-13, улучшало азотное питание яровой пшеницы, связанное с более высокой концентрацией элементов питания в растениях в период вегетации, что положительно сказывалось на повышении урожайности зерна, при этом микробиологический препарат «БисолбиФит» был эффективнее при использовании аммиачной селитры в дозе 45 кг/га. Внесение под яровую пшеницу аммиачной селитры, обработанной микробиологическим препаратом, увеличивало коэффициент использования растениями азота удобрения, рассчитанный разностным методом, и повышало накопление в урожае не только азота, но и фосфора, и калия [234].

Таким образом, уникальное сочетание биологического стимулирования развития растений за счет активных микроорганизмов с правильным минеральным питанием и отсутствием экологически вредных примесей создает отдельную нишу для развития адаптивно-ландшафтного земледелия с сохранением и развитием биоразнообразия, почвенного плодородия и отсутствием наполнения вредных примесей в почве, подземных водах и поверхностных водоемах. По механизму действия минеральные удобрения, модифицированные биопрепаратами, можно называть новым классом – фитоадаптивные удобрения.

Преимуществом коммерческой формы БисолбиФита является технологическая простота нанесения и закрепления препарата на поверхности гранулированных минеральных удобрений, а высокая гарантированная концентрация активных клеток микроорганизмов

обеспечивает синергетический эффект от активизации минерального фосфорного питания растений БисолбиФитом. При этом не изменяются техника и технологии по транспортировке, хранению и внесению минеральных удобрений, что полностью исключает физический барьер для применения фитоадаптивных удобрений.

Установлено, что гранулы минеральных удобрений, модифицированные биопрепаратом «БисолбиФит», усваиваются растениями на 20—30% эффективнее по сравнению с контрольными образцами. Многолетними исследованиями подтверждена высокая эффективность сочетания обработок посадочного материала и вегетирующих растений биопрепаратом «Экстрасол» (жидкая форма) и внесения минеральных удобрений, модифицированных препаратом «БисолбиФит» (сухая форма). Ниже приведены результаты опытов с препаратом «БисолбиФит» на урожайность кукурузы сорта Росс 199 МВ. Опыт проводился в 2009 г при участии ООО «Регион-Агро-Волга» совместно с ФГУ ЦАС «Нижегородский» на базе Филиала ООО «Газпромтрансгаз Нижний Новгород» ПХ «Пушкинское». Максимальную эффективность показал вариант Тукосмесь + «БисолбиФит» (обработка растений).

### ***Продукт Экстрасол***

Исследования убедительно показывают преимущества применения биопрепарата Экстрасол по сравнению с известными способами утилизации пожнивных остатков – заделкой в почву измельченной соломы, обработкой пожнивных остатков водными растворами азотных удобрений. Агрохимические преимущества обработки Экстрасолом пожнивных остатков настолько очевидны, что этот способ является единственно эффективным на современном этапе и с агрохимической, и с экологической точек зрения. Авторы работы дают релевантное объяснение механизму действия препарата в агроценозе [234.1].

Бактерии *B. subtilis*, продуцирующие различные антибиологические вещества, проявляют высокую конкурентную способность в процессе

колонизации растений, их надземного и корневого опада. На фоне обогащения свежей органикой реставрируются существовавшие и формирующиеся новые межорганизменные ассоциации, в том числе ответственный за целлюлозолитические, лигниндеструктивные и гумификационные процессы. Присутствие *B. Subtilis* в агроценозе усложняет структуру микробного сообщества в однолетнем и многолетнем циклах. Уже при однократном проливе почвы экстрактом через 60 суток число морфотипов бактерий в пахотном горизонте возрастало на 32-70%. Положительное последствие экстракта на микрофлору и плодородие почвы сохранялось на протяжении не менее чем двух вегетационных периодов. Бациллярные препараты с контролируемыми функциями поэтапно обеспечивают продуктивную жизнедеятельность комплекса почвенных микроорганизмов, трансформирующих органические вещества, создаются стартовые условия и вытесняется функционально бесполезная микрофлора; осуществляется снабжение сбалансированными энергетическими потоками и питательными субстратами (в том числе за счет ассоциативной азотфиксации); стабилизируется процесс деструкции и гумификации.

Полезные микроорганизмы, помимо прямого влияния на патогены, путем синтеза веществ, ограничивающих их рост, способны индуцировать системную устойчивость растения к широкому спектру возбудителей болезней (рис. 5.3). Иммуитет, приобретенный после контакта с непатогенными микроорганизмами, носит название индуцированной системной устойчивости (ISR). Механизм его достаточно сложен и связан с индукцией ряда биохимических реакций в растении.

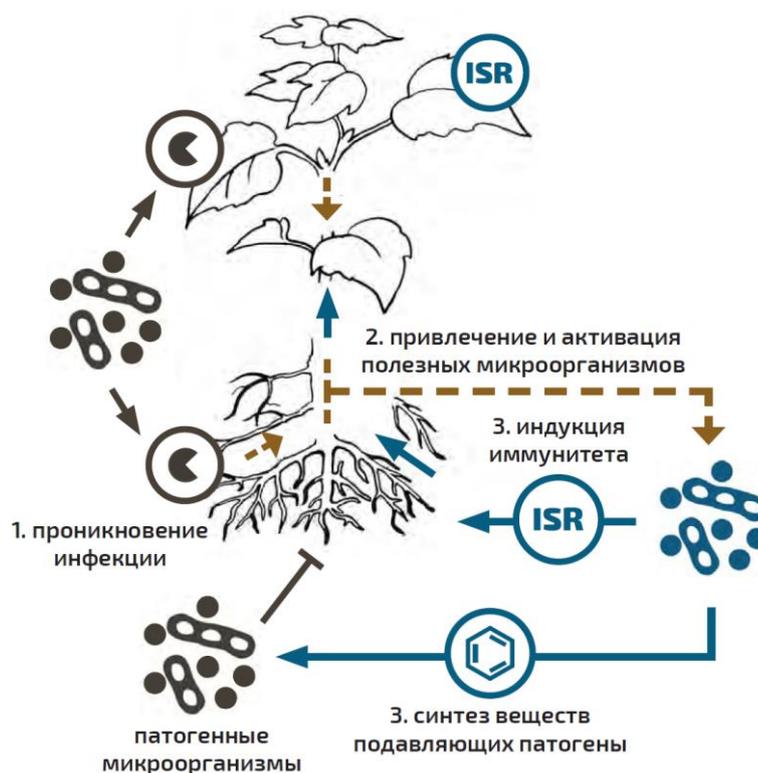


Рисунок 5.3 - Взаимодействия микробиологических веществ в цикле развития растения [234.2]

В обзоре [234.3] даны определения различных организаций и исследователей, начиная от Европейской ассоциации производителей биостимуляторов, понятий «биостимуляторы» и аналогичных по смыслу, классификация биостимуляторов по источникам происхождения, характеристика коммерческих продуктов – биостимуляторов на рынке.

### ***Метабактерин***

Примером инновационного биопрепарата нового поколения является препарат комплексного воздействия Метабактерин, разработанный российскими специалистами РАН и ИЦ «Промбиотех».

Препарат в качестве биологически активных материалов содержит известный и высокоэффективный штамм *Methylbacterium extorgues*. Этот штамм селекционирован из естественной микрофлоры на поверхности листьев и обладает уникальным свойством развиваться под воздействием УФ лучей солнечного света и заселять поверхность листьев с нижней и верхней

сторон, укреплять его поверхность, делая его прочной и глянцевой, защищать его таким образом от потогенной микрофлоры и препятствовать поеданию вредными насекомыми.

Действие препарата проявляется на протяжении всего периода вегетации растения. Проникая внутрь клетки и межклеточного пространства, бактерия *Methylbacterium extorgues* поглощает выделяемый клеткой метиол и выделяет в качестве продуктов жизнедеятельности фитогормоны (ауксины, цитокинины), обладающие симбитическими свойствами со стимуляторами роста растения и антагонистическими свойствами с патогенными микроорганизмами. Препарат эффективно подавляет грибковые заболевания рода *Fusarium Bipolaris sorokiniana*, *Aspergillus niger*, *S. Nodorum* и др. Способы внесения препарата варьируются от прикорневого внесения, обработки семян перед посадкой до обработки по листу. В последнем случае препарат эффективно работает не только в обработанной наземной части растения, но и в корневой системе.

Также уникальными отличительными свойствами препарата являются:

1. Сохранение жизнеспособности активных микроорганизмов при низких температурах (до  $-20^{\circ}\text{C}$ ), что значительно расширяет возможности его хранения в неотопливаемых помещениях.

2. Малые дозировки за счет высокой концентрации КОЕ бактерий в препарате. Дозы препарата исчисляются первой десяткой грамм на Га для зерновых, что выгодно отличает Метабактерин от других биофунгицидов и биостимуляторов [235].

Функциональные отличия биопрепаратов от химических агрохимикатов приведены на рисунке 5.4.

	<b>БИОПРЕПАРАТ</b>	<b>ХИМИЧЕСКИЙ ПРЕПАРАТ</b> (пестицид, удобрение, стимулятор)
Функции	<b>МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ</b> подавляющее большинство биологических препаратов проявляют стимулирующие, защитные (и от болезней и от стрессов) и удобрительные функции, живые микроорганизмы производят широкий спектр полезных веществ, обладающих, в том числе уникальными свойствами, отсутствующими у химических препаратов	<b>УЗКОНАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ</b> Как правило, один химический продукт содержит одно или ограниченное количество действующих веществ, несет только одну функцию — либо защита, либо питание, либо стимуляция
Длительность действия	Живые микроорганизмы, заселяясь рядом с растением или в него, осуществляют полезную деятельность на протяжении всей жизни растения	Действующие молекулы химических продуктов имеют строго ограниченный срок действия – питательные вещества удобрения быстро исчерпываются, молекулы, например, фунгицидов, активны в среднем в течение 20 дней и т.д.
Последствие	Последовательное применение биопрепаратов на одном поле в течение многих лет, приводит к снижению инфекционной нагрузки, повышению почвенного плодородия, улучшению структуры почвы	Последовательное интенсивное применение минеральных удобрений и пестицидов может приводить к засолению и эрозии почв, падению уровня плодородия, возникновению устойчивых штаммов заболеваний
Быстродействие	Для начала эффективной работы полезными микроорганизмами часто нужно время для заселения и размножения, поэтому видимый эффект биопрепарата может проявляться не сразу	В большинстве случаев эффект от применения химических средств проявляется достаточно быстро
Сила действия	При профилактических обработках и наличии достаточного времени для размножения полезных микроорганизмов, биопрепараты работают с высокой эффективностью. Отрицательный эффект при превышении дозировки невозможен!	При соблюдении регламентов применения химические средства являются важным инструментом технологии возделывания растений. Превышение дозировки приводит к накоплению опасных веществ в продукции и/или повреждению растений.
Безопасность	Биопрепараты не только полезны, но и безопасны для человека и окружающей среды	В подавляющем большинстве химические средства в той или иной степени опасны для человека и экологии

Рисунок 5.4 - Отличие биопрепаратов от химических

### ***Азотовит***

Отличительными полезными свойствами Азотовит являются следующие:

- способствует переводу атмосферного азота в форму, пригодную для питания растительного организма, обеспечивая растения азотным питанием;
- существенно снижает содержание вредных нитратов в почве и токсическое влияние фунгицидов на проростки растений;
- вырабатывает антибиотики, подавляющие фитопатогенную микрофлору (корневые гнили, ризоктониоз и др.);
- выделяет в почву биологически активные вещества (БАВ), в частности, гетероауксины, которые стимулируют развитие корневой и проводящей систем у растений, повышают стрессоустойчивость, стимулируют образование продуктивных побегов;

- активно вырабатывает фитогормональные соединения, стимулирующие рост и развитие растений и повышающие их сопротивляемость к болезням;
- синтезирует целый спектр витаминов (в том числе группа В), превосходя по этому показателю пивные дрожжи. Эти витамины усваиваются и накапливаются в растениях, стимулируя их развитие и повышая качество продукции;
- позволяет выращивать экологически чистую продукцию с высоким содержанием витаминно-минеральных веществ, полезных для человека;
- способствует развитию вегетативной системы растений (лист, стебель, соцветие), повышает урожайность, восстанавливает плодородие почв.

## 5.2. Фосфатовит

Вторым микробиологическим препаратом-удобрением является Фосфатовит, действующим веществом которого являются живые клетки и споры бактерий *Bacillus mucilaginosus* Bac 10 (штамм В-8966). Титр препарата, выпускаемого в жидком виде,  $0,12 \times 10^9$  КОЕ/г. Штамм В-8966 также не является генетически модифицированным, отсутствует патогенное влияние на окружающую среду и человека.

В системе «почва-растение-питательные вещества» препарат отвечает за следующие процессы:

- мобилизует труднодоступные формы фосфора и калия, обеспечивая растения фосфорным и калийным питанием.
- существенно снижает токсическое влияние фунгицидов на проростки растений.
- подавляет патогенную микрофлору.
- является стимулятором корнеобразования, способствует развитию мощной корневой системы растений, является стимулятором роста растений, вырабатывает витамины группы «В» и биологически активные вещества.

- увеличивает урожайность сельскохозяйственных культур до 40 %, значительно повышает качество выращиваемой продукции.

- позволяет выращивать экологически чистую продукцию с высоким содержанием витаминно-минеральных веществ, полезных для человека.

Исследованиями в области эффективных микробиологических препаратов и их внедрением в сельскохозяйственную практику с 2004 года занимается компания «Промышленные инновации».

Препараты для улучшения минерального питания растений применяются как для традиционных сельскохозяйственных культур массового производства, например, зерновых культур, на открытом грунте, так и в теплицах для производства овощей и фруктов, декоративного цветоводства. Компания на собственной производственной базе в Новомосковске выпускает микробиологические препараты под торговыми марками Азотовит и Фосфатовит, имеющими государственную регистрацию в качестве агрохимиката.

Препараты также активно применяются и за рубежом - в Германии, Австрии, Франции, Швейцарии и Голландии.

Действующим веществом препарата Азотовит являются живые клетки и споры бактерий *Azotobacter chroococcum* (штамм В-9029), титр живых клеток и их метаболитов составляет  $5 \times 10^9$  КОЕ/г. Штамм В-9029 не является генетически модифицированным и патогенным для окружающей среды и человека.

### **5.3. Гумусовые кислоты**

#### ***Гуминовые кислоты***

Группа темноокрашенных гумусовых кислот, растворимых в щелочах и не растворимых в кислотах ГОСТ 27593-88 «Межгосударственный стандарт. Почвы. Термины и определения. Гуминовые кислоты» оптимизируют дыхание и метаболизм, ускоряют передвижение питательных веществ и интенсивность фотосинтеза. Анализ накопленного научного материала по

применению гуминовых удобрений в тепличном производстве позволяет сделать вывод, что их применение, во-первых, снижает дозы минеральных удобрений, во-вторых, появляются возможности отказа от использования дорогих пестицидов, и, в-третьих, повышается качество плодов сельскохозяйственных культур, увеличивается урожайность и рентабельность сельскохозяйственного производства. Функциональные особенности спектра действия гуминовых кислот определяются способом их получения и качеством исходного сырья – субстрата.

Гуминовые кислоты изначально присутствуют в почве с большим количеством органической материи в слое гумуса, их дополнительное внесение не приводит к загрязнению, истощению или ухудшению состава почв. Они выполняют функцию хелатов, соединяя минеральные вещества и делая их более доступными для растений. Также они адсорбируют токсины. При недостатке гуминовых кислот наблюдается замедленный рост растений, низкий коэффициент прорастающих семян и большая подверженность растений экологическому стрессу.

Показано, что листовое нанесение раствора гуминовых кислот положительно влияет на рост растений, и самый большой рост наблюдался в группе растений, обработанных концентрированным раствором. Также применение гуминовых кислот сокращает потребность в применении азота, что может сыграть положительную роль в уменьшении степени загрязнения почв азотными удобрениями.

Гуминовые кислоты активно используются в животноводстве в качестве кормовой добавки. Многочисленные исследования показали, что они активируют обмен веществ и укрепляют иммунитет, что ведет к лучшей выживаемости поголовья. Длительное применение позволяет увеличить привес в массе тела. Важным плюсом применения гуминовых кислот является отсутствие негативных последствий от их употребления в пищу. Они не вызывают побочных эффектов, генных мутаций и положительно сказываются на пищеварении, выступая в роли адсорбента и выводя

болезнетворные бактерии из организма, предотвращая развитие патогенных процессов.

### ***Фульвокислоты***

Группа гумусовых кислот, которые растворяются и в воде, и в щелочах, и в кислотах. В целом это затрудняет их фракционирование и выделение, а значит и изучение свойств и биологической активности.

Хорошая растворимость фульвокислот по сравнению с гуминовыми кислотами является причиной их более высоких концентраций и распространения в поверхностных водах. Содержание фульвокислот, как правило, превышает содержание гуминовых кислот в 10 раз и более.

В силу меньшего размера, молекулы фульвокислот обладают большей биологической активностью и быстрым действием. Исследования показывают, что растения начинают реагировать на внесение фульвокислот в течение четырех часов, а положительные изменения в скорости роста и развития корневой системы наблюдаются уже в первые двое суток.

## **5.4. Биодобавки в кормах животных**

Биологизация животноводческой отрасли - мировой тренд последних лет. Например, в странах Евросоюза производство комбикормов, содержащих в своем составе биологические компоненты, составляет 95% или 147,9 млн. т от общего произведенного объема (по данным на 2015 год). В США биокомпоненты добавляют примерно в половину кормов.

В России также отмечается рост спроса на биопрепараты для сельскохозяйственных животных. С 2012 по 2015 год объем рынка пре- и пробиотиков увеличился в 1,2 раза и составил 2,9 тыс. т. У нас пока добавляют пробиотики всего в 12% кормов, однако, по мнению экспертов, к 2021 году этот показатель вырастет в полтора раза. Самая популярная биодобавка в России - кормовой пробиотик. Одним из коммерчески используемым пробиотиком является Энзимспорин. Общая схема производства пробиотиков приведена в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Общая схема производства пробиотиков

Засев материала	Промышленная ферментация	Концентрирование биомассы	Сушка и гранулирование	Контроль качества	Выпуск пробиотика
Подготовка материала для засева ферментера промышленная ферментация концентрирование биомассы сушка и гранулирование, контроль качества выпуск продукта лабораторные инкубаторы, термостаты, стерилизаторы, посевные ферментационные установки	Промышленные ферментационные установки, реакторы для подпиток и для приготовления питательных сред	Микрофильтрационные установки, центрифуги	Установки сушки распылительной и сушки в псевдокипящем слое, грануляторы	Контроль качества выпускаемой продукции	Фасовочные установки, упаковочные установки

### *Энзимспорин*

Кормовая пробиотическая добавка для оптимизации процессов пищеварения, повышения продуктивности и сохранности рыбы и других гидробионтов, в т.ч. ракообразных. Энзимспорин содержит комплекс спорообразующих бактерий: *Bacillus subtilis* ВКМ В-2998D (ВКПМ В-314), *Bacillus licheniformis* ВКМ В-2999D (ВКПМ В-8054), *Bacillus subtilis natto* ВКМ В-3057D (ВКПМ В-12079). В 1 г. кормовой добавки содержится не менее  $5 \times 10^9$  КОЕ/г (колониеобразующих единиц) спорообразующих бактерий рода *Bacillus*.

*Bacillus Subtilis* - Сенная палочка - является антогонистом патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, таких как сальмонелла, протей, стафило-кокки, стрептококки, дрожжевые грибки. К основным полезным свойствам пробиотика данного вида можно отнести:

- продуцирует ферменты, удаляющие продукты гнилостного распада тканей;
- восстанавливает численность популяций лакто- и бифидобактерий, кишечной палочки и других микроорганизмов, составляющих нормофлору желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и обеспечивающих его нормальное функционирование;
- синтезирует аминокислоты, витамины и иммуноактивные вещества;
- с помощью ненаправленного многоступенчатого УФ мутагенеза и селекции из штамма *Bacillus subtilis* ВКПМ В-314 был получен изолят с индексом FL 31-14 (депонированный во Всероссийской коллекции микроорганизмов ИБФМ им.Скрябина РАН под номером ВКМ-В-2998D) с повышенной термостабильностью, обладающий высокой антагонистической и гликозил-гидролазной активностью, который использовали при создании нового комплексного препарата.

Преимущества препарата Энзимспорин:

- Высококонцентрированный пробиотический препарат.
- Сухая и термостабильная форма.
- В отличие от других пробиотиков препарат содержит три, а не одну-две культуры бактерий рода *Bacillus*, способных взаимодополнять и заменять друг друга при различных условиях среды и температуры.
- Стоимость (ниже аналогов)
- Технологическая поддержка по оптимизации рационов кормления, анализу кормов, рекомендациям профильных НИИ и университетов.

### **5.5. Биодобавки для очистки сточных вод**

Проведены прикладные исследования по применению (табл. 5.5) спорообразующего штамма микроорганизмов на основе *Bacillus* sp. ВЛКМ И-5061 для повышения эффективности биологической очистки промышленных сточных вод. Экспериментальные исследования показали, что указанный штамм обладает более высокой деструкционной способностью по

отношению к фосфатам и нефтепродуктам [235.1]. На примере очистки реальных сточных

Таблица 5.5. Применение различных штаммов микроорганизмов для очистки сточных вод [235.2]

№	Штамм микроорганизма	Загрязнение
1	дрожжи <i>Candida tropicalis</i>	резорцин (феноловое соединение)
2	дрожжи <i>Candida lipolytica</i> , <i>Candida utilis</i> , <i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	кадмий, кобальт, медь, цинк, никель
3	псевдомона дехроматика Романенко	соли хрома
4	вибрион дехлоратика Кузнецова	перхлораты
5	<i>Medusomyces gisevi</i> (медузомицет, чайный гриб)	удаляет 85% цианидов и 100% керосина
6	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	кадмий, кобальт, медь, хром, железо, никель, серебро, золото
7	грибы рода <i>Aspergillus</i>	кобальт, радий
8	<i>Bacillus subtilis</i>	гексаметилендиамин, поверхностно-активные вещества, красители, морфолинсодержащие стоки, этилкетон, этилацетат, пропионовый альдегид, кротоновый альдегид, ацетальдегид, стирол
9	<i>Desulfovibrio Baarsii</i> "ЭГАС-6"	ионы тяжелых металлов
10	водоросли <i>Chlorella vulgaris</i>	кадмий, никель, кобальт, цинк, стронций, молибден
11	водоросли <i>Cladophora</i>	аммонийный, нитратный азот; магний, калий, сера, кобальт, цинк, кадмий, свинец и др. тяжелые металлы
12	<i>Alkaligenes sp.</i>	жирные кислоты
13	<i>Pseudomonas sp.</i>	поверхностно-активные вещества, красители, морфолинсодержащие стоки, ароматические углеводороды, гетероциклические амины, фенолсодержащие стоки металлургических заводов, Нафталин-2-сульфонат, А-Метилстирол
14	<i>Pseudomonas putida</i>	бензол
15	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	этилкетон, этилацетат, пропионовый альдегид, кротоновый альдегид, ацетальдегид, стирол
16	<i>Achromobacter guttatus</i>	капролактамы
17	<i>Trichosporon cutaneum</i>	ароматические углеводороды, гетероциклические амины, фенолсодержащие стоки металлургических заводов
18	<i>B. coagulans</i>	кротоновый альдегид, ацетальдегид, этанол, бутанол, этилацетат, винилбутиловый эфир

19	<i>Pseudomonas stutzeri</i>	амины
20	<i>Pseudomonas stutzer</i>	амины

вод одного из предприятий г. Тольятти показано, что штамм эффективно работает в водной среде в широком интервале температур (от +5 до +65°C) при добавлении штамма непосредственно в сточную воду. Внедрение штамма активатора деструкции нефтепродуктов и фосфатов обеспечивает увеличение степени очистки от фосфатов на 50%, по нефтепродуктам на 67%.

### 5.6. Фосфиты

Роль фосфитов как биостимуляторов до конца остается неясной и является предметом дискуссий. Moog с соавторами [236] показали, что внекорневое применение фосфитов не влияет на рост или урожайность клубники. Однако, в многочисленных исследованиях других авторов сообщается, что фосфиты улучшают качество плодов и активируют защитные механизмы клубники. Благоприятные эффекты применения фосфитов описаны в литературе при внекорневой (листовой) подкормке цитрусовых, персиков, малины, бананов, картофеля, лука, сладкого перца, томатов. Отмечается, что применение фосфитов увеличивает содержание питательных веществ в плодах, улучшает внешний вид и упругость плодов. В табл.5.6 представлены описанные в литературе благоприятные эффекты применения фосфитов в качестве биостимуляторов. Bertsch с соавторами утверждает, что наибольший эффект применение фосфитов  $Phi$  наблюдается при их совместном применении с фосфатами  $Pi$ : применение смеси 50%  $Pi$  (в виде  $НРО_4^{2-}$  и 50%  $Phi$  (в виде  $Н_2РО_3^-$ ) повышает урожайность, качество и устойчивость к абиотическому стрессу латука, томатов и бананов. С другой стороны, использование 100%  $Phi$  для листовой подкормки этих растений приводит к угнетению их роста и повреждению корневой системы. Подробный анализ применения фосфитов как биостимуляторов приводится в обзорах Trejo-Tellez и Yamakawa.

Таблица 5.6. Применение фосфитов в качестве биостимуляторов

С/х культура	Фосфит	Метод применения	Эффект
Авокадо	Фосфористая кислота	Листовая подкормка	Увеличение размера
Банан	Фосфористая кислота (50% $\text{Phi}$ + 50% $\text{Pi}$ )	Питательный раствор гидропонной установки	Увеличение биомассы и содержание Р во всем растении
Цитрусовые	Фосфористая кислота	Листовая подкормка	Повышение урожайности и содержания фруктовых кислот в плодах
Персики	Фосфористая кислота	Листовая подкормка	Увеличение содержания сахаров
Малина	Фосфористая кислота	Листовая подкормка	Повышение упругости ягод
Клубника	Фосфористая кислота/калия фосфит	Листовая подкормка питательный раствор для корневой подкормки	Увеличение содержания фруктовых кислот, антоцианинов, сахаров

В обзоре Trejo-Tellez отмечается, что подавляющее количество исследований биостимулирующей активности фосфитов проводилось с использованием коммерческих  $\text{Phi}$ -содержащих продуктов, на упаковках которых точное содержание  $\text{Phi}$  не отражено, что не позволяет точно оценить дозировку использовавшихся фосфитов. Кроме того, такие продукты представляют собой сложные смеси, содержащие аминокислоты, макро- и микроэлементы, что может исказить и/или маскировать эффекты  $\text{Phi}$ .

С резкой критикой питательного и биостимулирующего эффекта фосфитов выступает в своем обзоре и экспериментальных работах Yamaoka. В своем обзоре Yamaoka подчеркивает, что фосфиты не могут заменять или дополнять фосфаты. Особо подчеркивается, что негативные эффекты влияния фосфитов на растения становятся более выраженными при недостаточном количестве фосфора, а это доказывает, что фосфиты не являются источником фосфора для растения. Фосфиты не метаболизируются растениями, а при их накоплении и избыточном применении рост и развитие растений угнетаются. Положительные эффекты применения фосфитов Yamaoka объясняется подавлением и профилактикой болезней растений, а

также превращением фосфитов в фосфаты за счет хорошо известного микробиологического окисления. Более того, Yamaoka с соавт. подтвердили экспериментально, что комбинация  $\text{Phi}+\text{Pi}$  по сравнению с чистыми фосфатами  $\text{Pi}$  не демонстрирует стимулирующего эффекта, а при увеличении содержания  $\text{Phi}$  рост растений подавляется.

Этот пример показывает потенциал открытия новых агрохимических свойств и для уже известных веществ. Продолжаются научные дискуссии о разностороннем агрохимическом действии ряда уже хорошо известных и изученных неорганических соединений, прежде всего, фосфитов, в которых фосфор находится в степени окисления  $3+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ . Ряд исследователей изучили и отметили роль фосфитов в качестве фунгицидов, гербицидов и, что самое интересное, биостимуляторов.

Многофакторность полезных свойств биоактивных штаммов микроорганизмов определяет и практические направления, и области их применения: в качестве активных биопрепаратов в комбинации с минеральными кормовыми добавками, премиксами, кормами, минеральными удобрениями. Еще одним эффективным направлением применения микробиологического препарата на основе штамма микроорганизмов *Bacillus Subtilis* 4-13 является переработка в естественных условиях сельскохозяйственных остатков.

Особенно перспективным является создание на базе гранулированных фосфорсодержащих удобрений с низким содержанием экологически опасных примесей (кадмий, мышьяк, ртуть, свинец, хром IV) нового класса удобрений с заданными свойствами:

1. необходимый набор макро-, мезо- и микроэлементов в усвояемой для растений форме и нужной пропорции;
2. синхронизация процессов обмена питательных веществ между удобрением, почвой и растением с максимальной скоростью подвода питательных элементов к растению в период вегетации и формирования плодов;

3. защита от потерь питательных элементов при их вымывании из почвы или смывании при листовой обработке, связывании в неусвояемые соединения, неэффективного распределения в почве и ее сверхминерализации и подобных процессов;

4. поддержание эффективности питания растения и его развития при неблагоприятных внешних факторах – перепады температуры, засуха, переувлажнение и т.д.

5. обеспечение целевых показателей урожайности и качества урожая сельскохозяйственных культур со снижением зависимости от почвенно-климатических факторов;

6. сохранение биоразнообразия агроландшафта при интенсивном сельском хозяйстве с применением агрохимикатов.

Решить такую задачу высокой сложности можно только на основе последних достижений химической технологии, микробиологии, неорганического и органического синтеза. На рис. 5.5 схематично отражена совокупность факторов, влияющих на развитие отрасли.

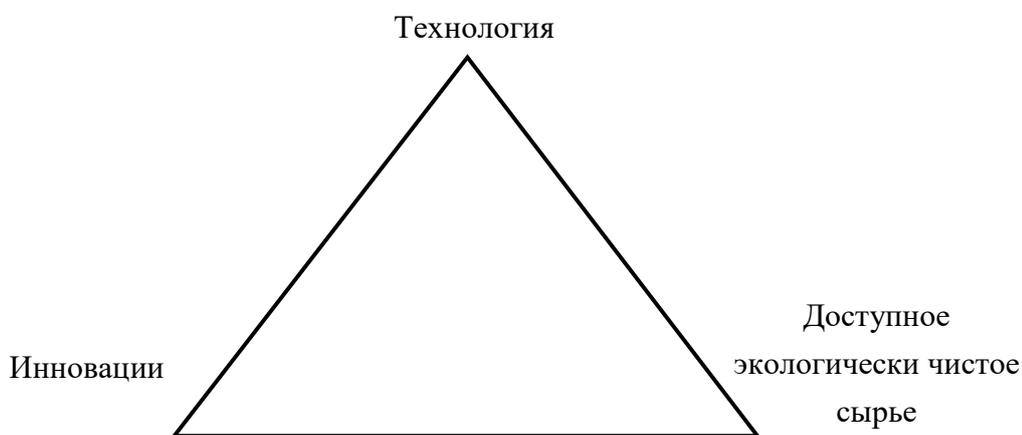


Рисунок 5.5 - Необходимые условия для создания удобрений нового класса

Новые виды удобрений должны будут сочетать качества удобрений с управляемой скоростью растворения, с защитой от потерь азота с ингибиторами уреазы и нитрификации, защиты от ретроградации фосфора в почве, регулирования процессов обмена в почве.

Фактически речь идет о создании на новом качественном уровне «умных» удобрений, не только без ущерба для окружающей среды, выполняющих задачу эффективного питания растений, но и восстанавливающих природное биоразнообразие.

Функционально активные микроорганизмы фактически запускают множеством контуров биохимических трансформаций в системе «почва-удобрения-растения», обеспечивающих синхронное сбалансированное развитие всех систем и функций растений за счет работы всего агробиоценоза и переводящих его в устойчивое состояние к внешним негативным факторам. Ведущая роль в иницировании и стимулировании этих процессов принадлежит функционально активным организмам. Они выступают не прямыми участниками, а опосредованными, катализируя сложные процессы биохимического синтеза через целый спектр метаболитов.

11-13 июня 2018 г. в Риме состоялась 6-я Пленарная ассамблея Глобального почвенного партнерства, действующего в рамках Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO). Одной из ключевых тем в работе ассамблеи являлось рассмотрение международного кодекса поведения в области управления питанием растений и применения удобрений (далее – Кодекс). Кодекс нацелен на формирование и внедрение в практику базовых принципов эффективного и безопасного применения удобрений с сохранением агроландшафта и природной экосистемы. Кодекс определяет основные направления работ и развития практики безопасного применения удобрений.

Наиболее релевантным для решения комплексной задачи повышения урожайности, повышения качества урожая и его сохранности в условиях внешних и внутренних стрессов, увеличения эффективности минерального питания растений, прежде всего, по фосфору является применение активных штаммов микроорганизмов.

В целях повышения урожайности в условиях стрессовых факторов на постоянной основе проводятся различные научные и производственные

опыты. Например, в 2022 году ученые ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» совместно с «ФосАгро-Белгород» начали испытания новых систем минерального питания для сои на основе гранулированных и жидких удобрений производителя минеральных удобрений ГК «ФосАгро» [237]. При этом фундаментом для новой модели по-прежнему остается фокус на долгосрочную перспективу применения минеральных удобрений. Ведущая роль отрасли минеральных удобрений в обеспечении мировой продовольственной безопасности сохранится. Внутри отрасли будет выделяться сегмент «чистых» фосфорных удобрений, не содержащих экологически вредных примесей и наиболее отвечающих развитию направления зеленой агрохимии. В сочетании с новыми препаратами, прежде всего биопроисхождения, «чистые» фосфорные удобрения обеспечат решение задачи производства здоровых продуктов питания для человека без экологической нагрузки на почву. На рис.5.6 схематично изображена пирамида возрастания ценности удобрений от традиционных минеральных удобрений к фитоадаптивным (биоминеральным) удобрениям.

В выходящих в последние годы научных изданиях обобщен значительный массив функциональных и прикладных исследований, показывающий существенный прогресс в понимании механизма действия биопрепаратов различной природы и фиксации дополнительных позитивных факторов, сопровождающих их применение в растениеводстве.

Приводятся убедительные данные о группе микробов (ризобактерия, цианобактерия, актиномисеты, микорриза, эндофиты и тд), которые выступают в качестве микробиологических инокулянтов, а их выгодная функциональность на разных уровнях используется в коммерческом производстве для удовлетворения потребностей фермеров. Так рост растений промотируется ризобактериями (PGPR) и цианобактериями, которые обратили на себя внимание за счет своей значительной роли в восстановительной экологии и устойчивом развитии.

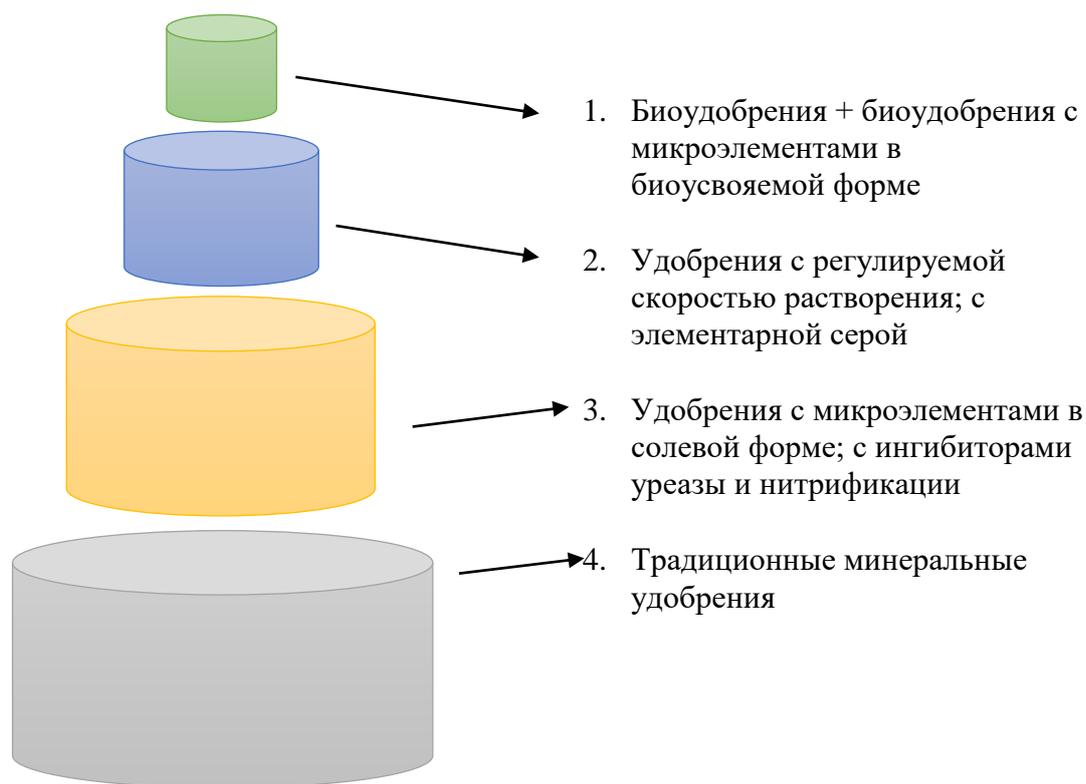


Рисунок 5.6 - Пирамида возрастания ценности удобрений

Селекцию эффективных бактерий с понятными механизмами работы можно использовать для развития области биоудобрений и биопестицидов с получением экономической выгоды в условиях полевой работы. Микробиологические инокулянты могут быть использованы для интегрированной системы управления питательными веществами для получения стабильной урожайности без вреда для экологии. Биопродукты играют значительную роль в системе управления питания почвы, однако механизмы действия до конца не изучены, а многофакторность влияния требует тщательного изучения.

В средне- и долгосрочной перспективе именно этот сегмент удобрений будет расти опережающими темпами в 3-4 раза больше, чем обычные минеральные удобрения. С учетом доказанного на практике увеличения эффективности минерального питания и, прежде всего, снижение потерь

фосфора при внесении минеральных удобрений, области применения фитоадаптивных (биоудобрений) будут постоянно расширяться от нишевых дорогостоящих сельскохозяйственных продуктов до массовых сельскохозяйственных культур.

## **6. «ЗЕЛЕНАЯ» ПЛАТФОРМА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВАМИ**

Важным этапом в переходе к устойчивому развитию российского АПК стало принятие в июне 2021 года Федерального закона № 150-ФЗ «О сельскохозяйственной продукции, сырье и продовольствии с улучшенными характеристиками» (далее - Федеральный закон, ФЗ №-159), вступающего в силу с 1 марта 2022 г.

Федеральный закон был подготовлен в соответствии с поручением Президента Российской Федерации В.В. Путина, который установил правовые основы создания российского бренда продукции и сырья с улучшенными характеристиками. Федеральный закон создает законодательную и нормативно-техническую базу зеленой платформы и обеспечивает необходимые условия, критерии и процедуры для подтверждения особых улучшенных характеристик промышленной продукции, в том числе и минеральных удобрений.

Цели Федерального закона направлены на решение задач, обозначенных в Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года посредством:

- проведения мероприятий по созданию новых товарных направлений и групп;
- сохранение, восстановление и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения, их рациональное использование, вовлечение в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых пахотных земель;

- развитие пищевой и перерабатывающей промышленности, в том числе с внедрением инноваций;
- поддержки продвижения экспорта сырья и продукции агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов;
- цифровизация отраслей и подотраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов и др.

Федеральный закон создает платформу для появления нового, перспективного и конкурентного направления производства продукции в российском АПК – «Зеленая продукция», которая будет отмечена знаком экологической маркировки «Зеленый эталон/ Green One» и будет являться единым национальным брендом.

Распределение видов сельскохозяйственной продукции по экологичности представлено на рис. 6.1.



Рисунок 6.1 - Схема распределения видов сельскохозяйственной продукции по экологичности. [238].

Федеральный закон не распространяется на отношения, связанные с производством, хранением, транспортировкой и реализацией продукции охоты, рыбной продукции, произведенной на судах рыбопромыслового флота, продукции переработки древесины и иных лесных ресурсов, органической продукции.

Сельскохозяйственное сырье с улучшенными характеристиками, улучшенная промышленная и иная продукция являются базовыми элементами при производстве улучшенной продукции.

Под улучшенными характеристиками продукции и сырья предлагается понимать показатели качества и безопасности сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, которые основываются на учете экологических факторов.

Основными целями правового регулирования ФЗ №-159 являются:

- защита окружающей среды, с сохранением земельных, водных ресурсов и биоразнообразия агроландшафтов;
- сокращение негативного влияния на здоровье человека;
- содействие устойчивому развитию сельского хозяйства;
- повышение качества пищевой продукции, производимой в Российской Федерации;
- развитие внутреннего рынка сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками.
- Соответственно, основные принципы производства продукции и сырья с улучшенными характеристиками следующие:
  - минимизация негативного воздействия на окружающую среду на всех этапах производства продукции;
  - снижение загрязнения почв и биоразнообразия агроландшафтов;
  - низкоуглеродное или углероднейтральное производство сельскохозяйственной продукции и продовольствия;
  - применение сельскохозяйственного сырья и удобрений, в том числе минеральных, с особыми экологическими характеристиками;
  - применение биокомбинированных и биопрепаратов;
  - применение пестицидов низкого класса опасности, оказывающие низкое негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека;
  - сокращение потерь энергоресурсов на всех этапах производства;
  - сокращение потерь сельхозпродукции и продовольствия на всех этапах производства, хранения, транспортирования и потребления.

Требования к улучшенным характеристикам, будут устанавливаться национальными или межгосударственными стандартами в сфере производства сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками. Для разработки национальных стандартов в структуре «АНО Роскачество» создан технический комитет по стандартизации 708 «Экологическая маркировка» (ТК 708), (прим.: до 2022 года действовал проектный технический комитет по стандартизации 708 «Экологически чистая сельскохозяйственная продукция, сырье и продовольствие»).

Для реализации положений ФЗ №-159 разработаны 6 национальных российских национальных стандартов, которые вступили в действие 2 марта 2020 г.:

- ГОСТ Р 58662-2019 «Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Термины и определения»;

- ГОСТ Р 58659-2019 «Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Общие требования»;

- ГОСТ Р 58660-2019 «Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Производство, транспортирование и хранение»;

- ГОСТ Р 58660-2019 «Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Оценка соответствия»;

- ГОСТ Р 58658-2019 «Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Удобрения минеральные. Общие технические условия»

- ГОСТ Р 58663-2019 «Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Удобрения минеральные. Методы определения свинца, кадмия, мышьяка, никеля, ртути, хрома (VI), меди, цинка и биурета».

В 2022 году в ТК 708 разработан проект и завершено публичное обсуждение стандарта ГОСТ Р «Овощные культуры защищенного грунта с улучшенными характеристиками», рассчитанный в том числе на выращенные с применением гидропонного производства, предназначенные для потребления в свежем виде или в качестве сельскохозяйственного сырья с улучшенными характеристиками для промышленной переработки. Планируемый срок вступления ГОСТ в силу - 1-е полугодие 2023 года. Относительно тепличных культур улучшенные характеристики означают применение замкнутого водооборота; сниженное содержание тяжелых металлов; особые требования к семенам (без генной инженерии); упаковка не приводит к загрязнению окружающей среды; используются повторно перерабатываемые или биоразлагаемые материалы (для упаковки и тары); недопущение смешивания и применение энергосберегающих технологий; использование преимущественно биологических.

Федеральным законом предусматривается добровольное подтверждение соответствия сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками документам по стандартизации сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками в порядке, установленном статьей 21 Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

После прохождения добровольной сертификации и получения сертификата соответствия производители сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками получают возможность использования для маркировки сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками графического изображения (знака соответствия) единого образца.

Графическое изображение (знак соответствия), утвержден приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 11 февраля 2022 г. № 70 (рис.6.2).



Рисунок 6.2 - Графическое изображение (знак соответствия) для маркировки сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками

При размещении указанной маркировки на упаковке, потребительской или транспортной таре продукции, соответствие которой не подтверждено или действие сертификата соответствия которой приостановлено либо прекращено, производители такой продукции будут нести ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Для информирования потребителей о производителях сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками и видах производимой ими продукции в 2022 году создан единый государственный реестр производителей сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками (далее - реестр), ведение которого будет осуществляться Минсельхозом России.

Сведения, содержащиеся в реестре, будут являться общедоступными и размещаться на официальном сайте указанного федерального органа исполнительной власти, в том числе в форме открытых данных.

В целях обеспечения удобства для потребителей и возможности оперативного информирования о товаре, относящемся к сельскохозяйственной продукции, сырью и продовольствию с улучшенными характеристиками, при нанесении маркировки такой продукции должно

обеспечиваться формирование кода (QR-кода) для создания возможности удаленного получения с использованием технических средств сведений о производителях сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками и видах производимой ими сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками, содержащихся в реестре.

Формирование QR-кодов, а также нанесение их на упаковку сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия с улучшенными характеристиками будут осуществляться соответствующим хозяйствующим субъектом-производителем такой продукции.

Участвуя в развитии зеленой платформы, предприятия получают следующие основные преимущества:

1. возможность доказательно выделять сырье, сельхоз- и пищевую продукцию с улучшенными характеристиками в отдельный сегмент;
2. создать массовый конкурентный «зеленый» сегмент на рынке агропромышленной продукции и в торговых продуктовых сетях;
3. создать новую платформу для продвижения на внешний рынок «зеленой» продукции и продовольствия с доказательной базой ее улучшенных характеристик, а также сертификации продукции с нанесением общероссийского отличительного знака экомаркировки «Зеленый эталон/ «GREEN ONE»;
4. получить дополнительную прибыль за счет роста объем продаж на фоне растущего потребительского спроса экологичную продукцию;
5. повысить конкурентные преимущества продукции, выпускаемой предприятием;
6. укрепить и повысить положительный имидж компании за счет экологичности производства;
7. усилить корпоративную репутацию и доказательства действенности инициатив компании в области экологии и устойчивого развития;

8. укрепить внутрикорпоративную культуру за счет понимания важности проделанной работы для здоровья людей и окружающей среды;

9. усилить роль бренда (если экомаркировка участвует в стратегии его развития);

10. появляется возможность использования льгот, предусмотренных законодательством для экологически ответственных предприятий;

11. повысить технологические и инновационные конкурентные преимущества и как следствие снижаются производственные издержки.

12. сократить количество отходов в связи с внедрением технологии прослеживаемости продукции;

15. осуществлять производство в общемировом тренде на переход к устойчивому сельскому хозяйству, экологизации производства, снижения потребления ресурсов и негативного воздействия на окружающую среду.

16. использовать механизм государственных «зеленых» закупок, что дает преференции как на внутреннем, так и на внешнем рынках;

16. становится возможным участие в международных и внутригосударственных программах поддержки и развития экологичного бизнеса.

Производство улучшенной сельскохозяйственной, промышленной продукции и продовольствия направлено на последовательное уменьшение наличия в пищевой продукции опасных для здоровья человека загрязняющих веществ.

Выбор особо опасных для здоровья человека элементов и веществ определяется накопленной базой знаний и результатов мониторинга загрязнения окружающей среды на продолжительном интервале времени.

В таблице 6.1 приведены критерии «опасных веществ для окружающей среды и человека» в разных системах.

Согласно оценкам ВОЗ, 24% бремени (преждевременной смертности) могут быть обусловлены экологическими факторами. Среди детей в возрасте 0-14 лет доля смертей, связываемых с воздействием окружающей среды,

составляет 36%. Установлены большие региональные различия, например, 25% всех смертей в развивающихся регионах были обусловлены экологическими причинами, однако их доля в развитых регионах составила только 17%, при этом такие различия могут быть обусловлены как различиями, например, в экологической обстановке в регионе, так и доступностью медицинской помощи. В развитых странах экологическим факторам приписывается более существенный вклад в течение сердечно-сосудистых и онкологических болезней.

В 2019 году некоммерческая организация Healthy Baby Bright Futures опубликовало исследование содержимого питания для младенцев. Результаты показали, что только 5% из проверенных образцов оказались чистыми. Остальные 95% содержали существенные количества токсичных тяжелых металлов.

Данные вызывающие беспокойство цифры были подтверждены отчетом конгресса Подкомитета по политике в отношении экономики и потребителей в феврале 2021 года.

Опасные количества свинца, кадмия, ртути и неорганического мышьяка были найдены в нескольких ведущих компаниях по производству детского питания в США. Эти тяжелые металлы не имеют безопасного уровня содержания и являются нейротоксинами, которые приводят к снижению IQ и когнитивных способностей.

Производителей попросили предоставить внутренние данные о политике тестирования и результатах тестов на содержание тяжелых металлов в ингредиентах и конечной продукции. Hain, Nurture, Beech-Nut и Gerber выполнили запрос конгресса, а Sprout, Walmart и Campbell отказались сотрудничать и не предоставили информацию.

Проведенный анализ детского питания показал превышение безопасного уровня содержания ртути в 5 раз, содержание кадмия в 69 раз, мышьяка в 91 раз, свинца в 177 раз.

Таблица 6.1. Критерии «опасных веществ для человека и окружающей среды» в разных системах.

Система критериев	«Название» опасных веществ	Критерии устойчивости	Критерии бионакопления	Критерии токсичности	Иные признаки и комментарии
ООН СОЗ	Стойкий органический загрязнитель (грязная дюжина)	Время полураспада в воде > 2 месяцев или в отложениях/почвах > 6 месяцев	BCF > 5000 или log Kow > 5 или данные по мониторингу биоты	Свидетельство негативного влияния на здоровье человека или окружающую среду или характеристики токсичности, демонстрирующие вред здоровью человека или окружающей среде	Дальний перенос: измеренные уровни вдали от источника или данные мониторинга в удаленной зоне или доказательство мультимедийным моделированием и период полураспада в воздухе > 2 дней
ЕЭК ООН СОЗ	Стойкий органический загрязнитель	Время полураспада в воде > 2 месяцев или в отложениях/почвах > 6 месяцев	BCF > 5000 или log Kow > 5	Возможность негативно повлиять на здоровье человека или окружающую среду	Дальний перенос: давление паров < 1000 Па и период полураспада в воздухе > 2 дней или данные мониторинга в удаленной зоне
ЕРА, США	СБТ	Время полураспада в воде, грунте и отложениях ≥ 60 дней и в воздухе > 2 дней	BCF > 1000	Токсичность для рыб: Низкая опасность > 10 мг/л Средняя опасность 0.1-10 мг/л Высокая опасность < 0.1 мг/л	
ЕРА, США	ССБТ	Время полураспада в воде, грунте и отложениях ≥ 180 дней и в воздухе > 2 дней	BCF ≥ 5000		
ХЕЛКОМ	Список потенциально опасных веществ; список веществ, требующих немедленных первоочередных действий	Обнаружено в одном или более мест; достигает или вероятно достигнет морской среды	Признаки риска для морской среды или здоровья человека через еду	Общая угроза водной среде из-за вредных свойств	Другими причинами являются синергетические эффекты, деградация до СБТ, синергетически активные вещества и «иные опасения», такие как нарушения эндокринной системы
ОСПАР	Список потенциально опасных веществ ОСПАР; список химикатов для первоочередных мер ОСПАР	Время полураспада (T <sub>1/2</sub> ) 50 дней	log Kow ≥ 4 или BCF ≥ 500	Тводн: высокая ЛД50 ≤ 1 мг/л, долговременная концентрация, не приводящая к видимым эффектам ≤ 0.1 мг/л или Тмлекопитающих: КМР или долговременная токсичность	Вещества, вызывающие иные опасения, также могут быть включены (вызывающие нарушения эндокринной системы)
нормы CLP	Вредное вещество (здесь: только для окружающей среды)	Не деградирует быстро	BCF ≥ 500 (log Kow ≥ 4)	(высокая < 1 мг/л) Долговременная < 100 мг/л	Любое свойство, приводящее к попаданию в любой класс опасности GHS
ЕС ООВ	Особо опасные вещества	См. ЕС СБТ и ССБТ	См. ЕС СБТ и ССБТ	Канцероген, мутаген или токсично для репродукции категории 1 или 2	Вещества, оцениваемые индивидуально, демонстрируя научное свидетельство возможных серьезных эффектов, дают повод к равной опасности
ЕС СБТ	Стойкие, накапливаемые и токсичные вещества	Самостоятельно не деградирует. Или T <sub>1/2</sub> вода [60] 40 дней T <sub>1/2</sub> отложения [180] 120 дней T <sub>1/2</sub> грунт 120 дней	BCF > 2000	NOEC < 0.01 мг/л или К или М (категории 1 и 2) или Р (категории 1, 2 и 3) Долговременная экспозиция может причинить вред здоровью (R48)	
ЕС ССБТ	Очень стойкие и в большой степени бионакапливающиеся вещества	Самостоятельно не деградирует. Или T <sub>1/2</sub> вода > 60 дней T <sub>1/2</sub> отложения > 180 дней	BCF > 5000		
РДВ	Приоритетные и приоритетные опасные вещества (список)	Угроза здоровью человека и окружающей среде			Учет приоритетных веществ в оценке рисков и нормах ЕС

Некачественные системы проверок и стандартов, применяемые производителями, также вызывают беспокойство. Beech-Nut используют добавки с высоким содержанием мышьяка, Hain тестирует только ингредиенты, Nurture сознательно продавали продукцию с высоким содержанием тяжелых металлов, и большинство компаний редко, если вообще, проводят проверку на ртуть.

После раскрытия этих фактов особой реакции со стороны производителей не последовало. В то время как Beech-Nut решили уйти с рынка на неопределенное время и отозвать некоторые из продуктов, Gerber не спешил делать то же самое.

Также было выявлено, что несколько производителей применяют неверные стандарты и допускают высокое содержание токсичных металлов в своей продукции. Nurture продавала продукцию под маркой HappyBABY с содержанием 180 ppb мышьяка, 641 ppb свинца, 10 ppb ртути, а 65% конечной продукции содержало более 5 ppb кадмия. Beech-Nut использовала ингредиенты с максимальным содержанием металлов (913 ppb мышьяка, 887 ppb свинца и 345 ppb кадмия). Так же Hain продавала продукцию под маркой Earth's Best Organic, где использованы ингредиенты с содержанием 309 ppb мышьяка, 352 ppb свинца и 260 ppb кадмия. Ни Beech-Nut, ни Hain не проверяли свою продукцию на содержание ртути.

Обнародование этих тревожных цифр вызвало различную реакцию. Beech-Nut отозвали продукцию с мышьяком и временно ушли с рынка детских рисовых хлопьев. Hain объявили о предпринятых мерах по уменьшению содержания тяжелых металлов в детских рисовых хлопьях, но последующие тесты показали среднее содержание As на уровне 66.4 ppb.

Также была исследована продукция компании HolleUSA. Компания маркировала свою продукцию как «без свинца» и «без следов тяжелых металлов». Проведение продукции этой компании проверок выявило высокое содержание мышьяка, кадмия и свинца.

Отсутствие интереса со стороны производителей быстро реагировать на эту проблему привлекло внимание FDA (Управление по контролю и продуктами и лекарствами).

На основании открытий Подкомитета, FDA инициировало план действий «Ближе к Нулю» в апреле 2021. Стратегия из 4 ступеней нацелена на постепенное уменьшение содержания тяжелых металлов в детском питании и предусматривает планы действий до 2024 года.

В сентябре 2021 подкомитет опубликовал обновление к первоначальному отчету. Авторы отмечают, что Агентство должно ускорить процесс, быстрее установив стандарты содержания тяжелых металлов и поручив производителям тестировать их конечные продукты.

FDA установило только одно ограничение по тяжелым металлам в детском питании - мышьяк в рисовой каше на уровне 100 ед/млрд. Это едва регулирует всего один из четырех вредных элементов на рынке детского питания.

Недостаток регулирования позволяет производителям пропускать относительно недорогие исследования, которые обеспечили бы безопасность их продукции.

Проведенные масштабные эпидемиологические исследования воздействия химических веществ на большом контингенте населения (десятки тысяч), с применением методов биомониторинга, с определением в биосубстратах, около 1900 химических веществ и их метаболитов, позволили с высокой надежностью оценить риск здоровью населения. На основании выполненных эпидемиологических исследований ВОЗ выделила 10 приоритетных химических соединений или их групп и основные группы заболеваний, связь которых с воздействием приоритетных химических соединений доказана или предполагается.

По результатам исследований предлагается установить очень низкие промежуточные уровни токсических тяжелых металлов, которые постепенно будут уменьшены: ртуть – 2 ppb; кадмий и свинец – 5 ppb; Мышьяк – 10 ppb.

Представленный в таблице 6.2 перечень приоритетных химических веществ является главной проблемой здравоохранения при изучении влияния окружающей среды на здоровье.

Для оценки комплексного влияния загрязнителя на организм человека от разных источников применяют принцип (формулу) суммирования. Например, если вещество поступает в организм человека с атмосферным воздухом, водой и пищей, то производят расчет по следующей формуле:

$$C_{\text{атм}} / \text{ПДК}_{\text{атм}} + C_{\text{воды}} / \text{ПДК}_{\text{воды}} + C_{\text{прод}} / \text{ПДК}_{\text{прод}}$$

где  $C_{\text{атм}}$ ,  $C_{\text{воды}}$ ,  $C_{\text{прод}}$  – концентрация данного вещества в атмосфере, воде, продуктах питания.

Таблица 6.2. Приоритетные химические соединения при изучении влияния окружающей среды на здоровье [239]

Приоритетные химические соединения	Группы болезней
Взвешенные частицы (PM 10, PM 2,5), азот диоксид, озон	Заболевания сердечно-сосудистой системы и болезни органов дыхания
Мышьяк	Онкологические, сердечно-сосудистые и эндокринные заболевания, психоневрологические нарушения и нарушения развития, заболевания
Асбест	Заболевания органов дыхания, онкологические заболевания
Бензол	Заболевания крови, онкологические заболевания
Кадмий	Заболевания опорно-двигательного аппарата, мочеполовой системы, сердечно-сосудистой системы
Диоксины	Онкологические и эндокринные заболевания
Фториды	Заболевания костной системы
Свинец	Психоневрологические нарушения и нарушения развития, сердечно-сосудистые и эндокринные заболевания, заболевания крови, мочеполовой системы и опорно-двигательного аппарата
Ртуть	Сердечно-сосудистые и неврологические заболевания
Пестициды	Заболевания органов дыхания и сердечно-сосудистые заболевания, онкологические заболевания

Для улучшенной сельскохозяйственной продукции и продуктов питания по каждому виду нормируемого вещества должно выполняться неравенство:

$$C_{\text{атм}} / \text{ПДК}_{\text{атм}} + C_{\text{воды}} / \text{ПДК}_{\text{воды}} + C_{\text{прод}} / \text{ПДК}_{\text{прод}} < 1$$

При этом улучшенные характеристики продуктов питания будут снижать общую нагрузку на организм человека по видам опасных и токсичных веществ с учетом общей схемы миграции загрязнителей (рис.6.3).

В Руководстве по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний показаны причинно-следственные связи заболеваемости населения от уровня общего и специфического экологического загрязнения. В факторах причинно-следственной связи находятся зависимость «экспозиция – эффект», т.е. риск развития заболеваемости должен возрастать с увеличением экспозиции, и зависимость «время – эффект», т.е. воздействие должно предшествовать изменению заболеваемости [240].



### Рисунок 6.3 - Схема миграции загрязнителей

Указанные два фактора являются одними из ключевых для оценки риска и управления экологическим воздействием на здоровье человека.

Платформа улучшенной сельскохозяйственной, промышленной продукции и продовольствия направлена на последовательное уменьшение экспозиции, а также доз воздействия загрязняющих веществ. Важнейшим в этом отношении является создание отдельной группы улучшенных продуктов питания, с особо жесткими требованиями остаточного содержания загрязняющих и вредных элементов и веществ. Платформа «Зеленый эталон» обеспечивает полную прослеживаемость и инструменты управления производством и обращением улучшенной сельскохозяйственной продукции и продуктов питания.

При оценке рисков заболеваемости это позволит переходить на более низкие уровни риска вплоть до минимального риска, не требующего компенсационных или корректирующих действий, т.е. фактически снизить его до природного (рис. 6.4).



Рисунок 6.4 - Переход на минимальный уровень риска для здоровья человека

Во многом улучшенные показатели продуктов питания закладываются на этапе производства улучшенной сельскохозяйственной продукции:

- за счет применения улучшенных минеральных удобрений устанавливаются жесткие нормативы содержания тяжелых металлов и мышьяка, определяющие отсутствие загрязнения сельскохозяйственных почв и продукции;

- за счет применения биологических средств защиты растений и улучшенных химических средств защиты растений обеспечивается отсутствие индивидуального и комбинированного перекрестного загрязнения органическими веществами.

Методические основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, дано в соответствующем Руководстве Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [241]. При расчете общей потенциальной дозы воздействия на здоровье человека учитываются все источники и маршруты поступления вредных веществ по нижеприведенной форме (табл.6.3)

Таблица 6.3. Расчет суммарной дозы воздействия вредных веществ при многомаршрутной многосредовой экспозиции

Путь поступления	Объекты окружающей среды					
	воздух	почва	питьевая вода	открытый водоем	продукты питания	сумма
Ингаляция	$D_{ai}$	$D_{si}$	$D_{wi}$	$D_{ri}$		
Перорально		$D_{so}$	$D_{wo}$	$D_{ro}$	$D_{fo}$	
Накожно		$D_{sd}$	$D_{wd}$	$D_{rd}$		
Сумма	$D_a$	$D_s$	$D_w$	$D_r$	$D_f$	$D_{sum}$

Для расчета величины поступления вредного химического вещества, учитывающую воздействующие концентрации, величину контакта, частоту и продолжительность воздействий, массу тела человека, используют следующую формулу:

$$I = \frac{C \times C_r \times \Sigma_r \times \Sigma_d}{B_w \times A_t} ,$$

где:  $I$  – количество вещества на границе обмена, мг/кг массы тела человека в сутки;  
 $C$  – концентрация химического вещества (например, в продуктах питания), действующая в период экспозиции (мг/кг или мг/л);  
 $C_T$  – величина контакта, количество среды, контактирующей с человеком в единицу времени или за один случай воздействия, например, кг/сутки или т/сутки;  
 $\Sigma_T$  – частота контакта, число дней/год;  
 $\Sigma_d$  – продолжительность воздействия, число лет;  
 $V_w$  – масса тела в период экспозиции, кг;  
 $A_t$  – среднее время экспозиции, число дней из анализа источников и маршрутов поступления загрязнителей в организм человека, исходя из критериев частоты контактов и времени экспозиции, можно сделать следующую классификацию сред по степени убывания: «воздух – продукты питания – питьевая вода – открытые водоемы – почва».

По суммарному воздействию триада «продукты питания – питьевая вода – почва» является преобладающей как источник и маршруты поступления вредных веществ в организм человека (рис.6.5).

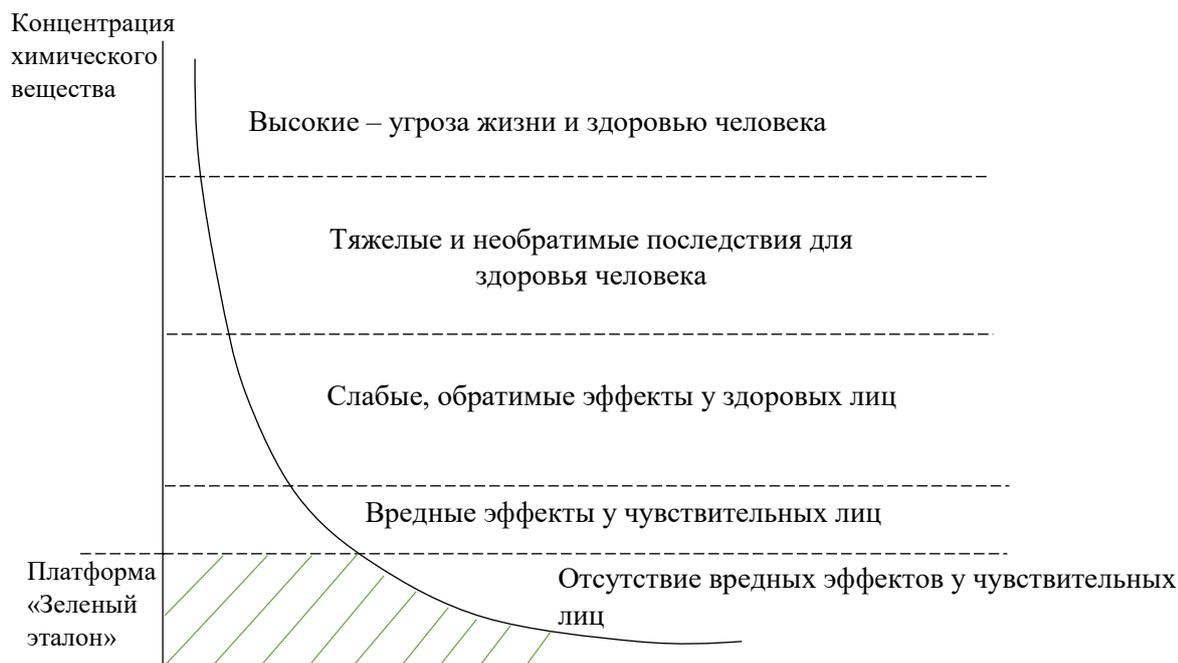


Рисунок 6.5 - Условная градация эффектов и последствий воздействия концентраций загрязняющих веществ на организм человека

Задачами платформы улучшенной сельскохозяйственной, промышленной продукции и продовольствия являются снижение количества поступающих веществ за весь период его жизни по маршрутам «почва –

питьевая вода – продукты питания» за счет снижения средней и максимальной разовой концентрации химических веществ.

Реализация на практике положений и требований платформы улучшенной сельскохозяйственной и промышленной продукции обеспечит выход на низкие концентрации загрязняющих веществ, не приводящих к негативным эффектам даже для чувствительных групп населения.

Важным при понижении концентраций загрязняющих веществ является практическое исключение суперпозиции (комбинированного перекрестного воздействия загрязняющих веществ). Результирующий эффект заключается в кардинальном снижении индекса опасности для здоровья человека, определяемом как сумма коэффициентов опасности для веществ с однородным механизмом действия или как сумма коэффициентов для разных источников и путей поступления разнородных по механизму действия поступления химических веществ. В свою очередь, коэффициент опасности определяется как отношение воздействующей дозы (или концентрации) химического вещества к его безопасному уровню воздействия.

### ***Пищевые добавки для улучшенной продукции***

В целях производства пищевой продукции с улучшенными характеристиками необходима большая работа по дополнительной классификации пищевых и кормовых добавок, с точки зрения выделения из них приоритетной группы не имеющих потенциально негативных последствий для здоровья птиц, животных и человека.

В отношении пищевых добавок появляются новые данные о небезопасности ряда добавок для здоровья человека при регулярном употреблении продуктов питания.

По определению ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения) пищевые добавки – это природные соединения и химические вещества, которые сами по себе обычно не употребляются в пищу, но в ограниченных количествах преднамеренно вводятся в продукты. В разных странах в производстве продуктов питания используют около 500 пищевых добавок.

Добавки регулируют влажность продуктов, размельчают и разрыхляют их, эмульгируют и уплотняют, отбеливают и глазируют, окисляют, охлаждают и консервируют и так далее. Европейская комиссия по пищевым добавкам помечает их буквой «Е» - это сокращение от «Еuroре». Затем следует трех- или четырехзначная цифра, в которой закодировано полное название химического соединения.

Добавки с кодом Е-1\*\* - это красители искусственного или натурального происхождения. Код консервантов – Е-2\*\*, они предупреждают развитие бактерий в продуктах. Антиокислители (Е-3\*\*) предупреждают окисление жиров, препятствуют развитию токсичных бактерий. Токоферолы и витамин Е закодированы под Е306 и Е309 – это безопасные добавки, чего нельзя сказать про антиокислители ВНА (Е320) и ВНТ (Е321). Стабилизаторы и эмульгаторы (Е-4\*\*) улучшают текстуру и внешний вид продуктов. Широко используются подсластители (Е-4\*\* и Е-9\*\*), они примерно в 200 раз слаще сахара. Некоторые из них (например, Е-952 – цикламат, используемый в газированных напитках) недостаточно безопасны. Усилители вкуса и другие добавки (Е-2\*\*, Е-3\*\*, Е-5\*\*, Е-9\*\*) применяются как на стадии приготовления, так и в конечных продуктах. Добавок очень много, и они различны по своему действию. К примеру, нитраты (Е250 – нитрит натрия, Е251 – нитрат натрия и Е252 – нитрат калия) содержатся в колбасных изделиях, в копченой рыбе, шпротах, консервированной сельди. Добавляют их и в твердые сыры, для предупреждения вспучивания.

Продукты, содержащие эти добавки, нельзя употреблять людям, страдающим заболеваниями печени, кишечника, дисбактериозом, холициститом. У таких людей часть нитратов, попадая в желудочно-кишечный тракт, превращается в более токсичные нитрозоамины. А Е620 – глутаминовая кислота и Е621 – глутамат используются для усиления и сохранения вкуса. При избытке она начинает оказывать токсическое действие, особенно на печень и поджелудочную железу. Как правило, на

упаковке не указывается количество содержащихся добавок, поэтому трудно определить с количеством продукта, которое безопасно для потребления в сутки [242]. Пищевые добавки E103, E105, E121, E123, E125, E126, E130, E131, E142, E153 – красители, содержатся они в сладкой газированной воде, леденцах, цветном мороженом, используются в производстве конфет, шоколада с начинкой, желе, покрывающего мясные продукты, паштетов, супов и бульонов. Научно доказано, что все эти добавки могут способствовать образованию злокачественных опухолей.

E210, E211, E213-217, E240 – консерванты. Содержатся в консервах любого вида (грибы, компоты, соки, варенья) и могут привести к образованию злокачественных опухолей.

E221-226 – консерванты. Используются при любом консервировании. Могут привести к заболеваниям желудочно-кишечного тракта.

E230-232, E239 – консерванты. Содержатся в консервах любого вида. Могут вызвать аллергические реакции.

E311-313 – антиоксиданты (антиокислители). Есть в йогуртах, кисломолочных продуктах, колбасных изделиях, сливочном масле, шоколаде.

Могут вызвать заболевания желудочно-кишечного тракта. E407, E447, E450 – стабилизаторы и загустители. Содержатся в вареньях, джемах, сгущенном молоке, шоколадном сыре. Могут вызвать заболевания желудочно-кишечного тракта.

E324a, E924b – пеногасители содержатся в газированных напитках. Могут привести к образованию злокачественных опухолей.

Альтернативой пищевым фосфатам (E450, E451, E452) может стать тригалола – невосстанавливающийся дисахарид, образованный из остатков глюкозы. Это вызвано тем, что высокое содержание фосфора в пище приводит к заболеванию населения остеопарозом.

Пищевые добавки, применяемые для производства улучшенной продукции должны соответствовать общему требованию минимального

риска и отсутствия реакции организма на их наличие для людей с повышенной чувствительностью. Наряду с этим, пищевые добавки не должны привносить на этапе производства улучшенного продовольствия химических загрязнителей, исключаемых на этапе производства улучшенной сельскохозяйственной продукции. Возможно разработка улучшенных пищевых добавок. К улучшенным пищевым добавкам как непосредственно влияющих на здоровье человека через продукты питания должны предъявляться особенно жесткие требования как к их составу, так и концентрации в продуктах питания. Для информирования потребителя целесообразно отражать состав и концентрацию улучшенных пищевых добавок на упаковке.

В ЕС давно ведется последовательная работа по расширению информированности потребителя о полезных и вредных свойствах продуктов питания. Например, в 2013 году в Великобритании ввели добровольный «светофор», показывающий соответствие продуктов стандартам здорового питания. Красным цветом помечается содержание более 17,5 г жиров, 22,5 г сахара, 1,5 г соли на 100 г продукта. Если же в нем менее 3 г жиров, 5 г сахара и 0,3 г соли – графа помечается зеленым цветом. Содержание вещества между этими показателями помечается желтым. Кроме этих показателей, на некоторых продуктах указывается дневная норма потребления жиров, сахара и соли.

Нормативно-правовая база в ЕС о маркировке продуктов питания призвана гарантировать потребителям доступ к четкой, всеобъемлющей и надежной информации о содержании и составе продукции для защиты их здоровья и интересов. Например, на упаковке должны быть четко указаны такие аллергены, как соя, глютен или лактоза.

Положение (ЕС) № 1169/2011 о представлении потребителям о продуктах питания было принято 13 декабря 2014 г.; обязательство по предоставлению информации о питательной ценности применяется только с 13 декабря 2016 г. Управляющим предприятий пищевой промышленности

дали три года на обеспечение постепенного перехода к новому режиму маркировки предварительно упакованных и предварительно не упакованных продуктов питания.

Данный новый нормативный акт о предоставлении информации потребителям заменяет и объединяет в один законодательный акт ранее существовавшие на основе Директивы 2000/13/ЕС правила маркировки, представления и рекламы продуктов питания и на основе Директивы 90/496/ЕЕС правила указания питательной ценности на продуктах питания, а также другие законодательные акты по конкретным категориям продуктов питания.

Основным новшеством в этом новом нормативном акте было требование к производителям указывать присутствие аллергенов в неупакованных продуктах питания, присутствие имитированных продуктов питания (например, растительной продукции, заменяющей сыр или мясо) и, наконец, определенные положения о маркировке происхождения. Конкретные изменения включали:

- улучшение читабельности информации (минимальный размер шрифта для обязательной информации);
- более четкое и гармонизированное представление аллергенов (например, сои, орехов, глютена, лактозы) для предварительно упакованной продукции (привлекать внимание с помощью шрифта, стиля или фоновой цвета) в списке ингредиентов;
- обязательную информацию об аллергенах для предварительно не упакованных продуктов питания, в том числе в ресторанах и кафе;
- требование об определенной информации о пищевой ценности для большинства предварительно упакованных переработанных продуктов питания;
- обязательную информацию о происхождении свежего мяса свиней, овец, коз и птицы;

- одинаковые требования к маркировке для онлайн продаж, дистанционной продажи или покупки в магазине;
- список инженерных наноматериалов в ингредиентах;
- конкретную информацию о растительном происхождении рафинированного масла и жиров;
- улучшенные правила недопущения использования методов, вводящих в заблуждение;
- указание ингредиента – заменителя для «Имитирующих» продуктов питания;
- четкое указание «мясных обрезков» или «рыбных обрезков»;
- четкое указание на размороженную продукцию.

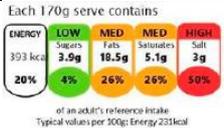
Стратегия «От фермы к вилке» ставит в качестве одной из основных целей содействие переходу к полезному для здоровья или экологичному рациону. Эта стратегия касается всей продовольственной цепочки и содержит описание, в частности, необходимости стимулировать переработку и изменение рецептуры экологически чистых продуктов питания для предоставления потребителям дополнительных возможностей посредством маркировочной информации и для уменьшения количества пищевых отходов. Соответственно, было предложено следующее:

1. Предложение о гармонизированной обязательной маркировке пищевой ценности на передней части упаковки. Цель – улучшить понимание клиентами пищевой ценности продуктов питания при их закупке. На основе существующего анализа выделяют четыре типа маркировок на передней части упаковки, в настоящее время используемых или разрабатываемых в ЕС. Они послужат основой для разных вариантов учета потребительской информации о пищевой ценности в целях маркировки на передней части упаковки (рис. 6.4).

2. Установление «пищевых профилей», ограничивающих продвижение (с помощью заявлений о пищевой ценности или о пользе для

здоровья) продуктов питания с высоким содержанием жиров, сахаров и(или) соли.

Таблица 6.4. Примеры маркировки пищевых продуктов

Этикетки, специфичные для питательного вещества		Краткие этикетки - примеры																															
Числовые (вариант 1)	С цветовым кодированием (вариант 2)	Логотипы – знаки качества (вариант 3)	Дифференцированные показатели (вариант 4)																														
 <p>Each 170g serve contains</p> <table border="1"> <tr> <td>Energy</td> <td>Sugars</td> <td>Fat</td> <td>Saturates</td> <td>Salt</td> </tr> <tr> <td>325 kcal</td> <td>4.6g</td> <td>12.2g</td> <td>4.4g</td> <td>1.5g</td> </tr> <tr> <td>18%</td> <td>5%</td> <td>17%</td> <td>22%</td> <td>24%</td> </tr> </table> <p>of an adult's Reference Intake</p>	Energy	Sugars	Fat	Saturates	Salt	325 kcal	4.6g	12.2g	4.4g	1.5g	18%	5%	17%	22%	24%	 <p>Each 170g serve contains</p> <table border="1"> <tr> <td>ENERGY</td> <td>LOW Sugars</td> <td>MED Fats</td> <td>MED Saturates</td> <td>HIGH Salt</td> </tr> <tr> <td>393 kcal</td> <td>3.9g</td> <td>18.5g</td> <td>5.1g</td> <td>3g</td> </tr> <tr> <td>20%</td> <td>4%</td> <td>26%</td> <td>26%</td> <td>50%</td> </tr> </table> <p>of an adult's reference intake Typical values per 100g; Energy/231kcal</p>	ENERGY	LOW Sugars	MED Fats	MED Saturates	HIGH Salt	393 kcal	3.9g	18.5g	5.1g	3g	20%	4%	26%	26%	50%	 <p>Green Tick      Keyhole      Choices</p>	 <p>NUTRI-SCORE A B C D E</p>
Energy	Sugars	Fat	Saturates	Salt																													
325 kcal	4.6g	12.2g	4.4g	1.5g																													
18%	5%	17%	22%	24%																													
ENERGY	LOW Sugars	MED Fats	MED Saturates	HIGH Salt																													
393 kcal	3.9g	18.5g	5.1g	3g																													
20%	4%	26%	26%	50%																													

3. Рассмотрение возможности предложить расширение обязательного указания происхождения или географического происхождения некоторой продукции. Цель этой меры – дать клиентам возможность лучше определять происхождением продуктов питания и облегчить потребителям выбор экологически чистых продуктов питания на основе имеющейся информации. Следующие продукты питания были определены как продукты, знания о происхождении которых потребителей интересуют особо: молоко и молоко в качестве ингредиента; мясо, используемое в качестве ингредиента; мясо кролика и мясо птицы; рис; твердые сорта пшеницы, используемые в макаронных изделиях; картофель и помидоры, используемые в некоторой томатной продукции.

4. Исправление правил маркировки даты в ЕС («срок годности» и «годен до»). Комиссия будет разрабатывать систему маркировки экологически чистых продуктов питания совместно с другими соответствующими инициативами, включая данную инициативу, и с учетом возможного развития событий в области цифровой информации.

Улучшенные характеристики сельскохозяйственной продукции обеспечивают получение соответствующих продуктов питания, отличающихся следующими положительными особенностями:

- сбалансированный и полный состав необходимых белков и аминокислот для человека с высокой усвояемостью;
- представительный набор усвояемых микронутриентов (витамины, минеральные вещества, микроэлементы, биологически активные вещества – клетчатка, пищевые волокна, ферменты);
- пониженное или нулевое содержание насыщенных жиров, включая трансизомеры жирных кислот, простых сахаров и поваренной соли, глютена, комбинированных синтетических пищевых добавок, заменителей сахара, усилителей вкуса, консервантов, красителей;
- пониженное содержание труднорасщепляемых и трудноусвояемых соединений и веществ.

Часть критериев сбалансированного питания человека изложена в Методических рекомендациях МР 2.3.1.0253-21 «Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

В России необходимо развивать индустрию обогащенного и специализированного питания. С накоплением научных знаний меняется представление о важности питания для здоровья. Если 20 лет назад ВОЗ называла только пять заболеваний, напрямую связанных с дефицитом определенных веществ в питании (это рахит, цинга, йодо- и железодефицит, гемералопия или, проще говоря, куриная слепота), то теперь в этом перечне несколько десятков патологий, включая сердечно-сосудистые и онкозаболевания. Между тем современные технологии позволяют «модифицировать» привычные продукты, улучшая их свойства, влияющие на здоровье. В ФГБНУ ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова (РАН) разработаны мясные продукты, которые за счет содержания особых пептидов

полезны гипертоникам. В ФГАНУ НИИ молочной промышленности уже производятся лечебные молочные продукты, лишенные некоторых белков, вызывающих аллергию [243].

В развитие направления полезного питания следует привести правильную инициативу Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по цветовой маркировке. В 2018 году был подготовлен проект методических рекомендаций по цветовой индикации пищевых продуктов, разработанной на основе разработок ФИЦ НИИ питания и биотехнологии (табл. 6.5).

Таблица 6.5. Цветовая классификация продуктов питания по уровню содержания физиологически чувствительных веществ

Вещество	Зеленая (низкий) на 100 г	Желтая, янтарная (средний) на 100 г	Красная (высокий)
<b>Жиры</b>	менее 3 г	от 3 до 17,5 г	более 17,5 г на 100 г или 21 г на порцию
<b>Насыщенные жиры</b>	менее 1,5 г	от 1,5 до 5 г	более 5 г на 100 г или 6 г на порцию
<b>Сахар</b>	менее 5 г	от 5 до 22,5 г	более 22,5 г на 100 г или 27 г на порцию
<b>Поваренная соль</b>	менее 0,3 г	от 0,3 до 1,5 г	более 1,5 г на 100 г или 1,8 г на порцию

Платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия обеспечивает полную прослеживаемость жизненного цикла производства продуктов питания. Это позволит максимально полно и достоверно информировать потребителя о применяемых агрохимикатах, средствах защиты растений, семян, применяемых агротехнологиях и делать осознанный выбор продуктов питания на основе проверенной информации.

Условие добровольной сертификации применяемых в производстве улучшенной сельскохозяйственной продукции семян, минеральных удобрений, средств защиты растений, других агрохимикатов (регуляторов и стимуляторов роста и др.) обеспечивает полную прослеживаемость всего цикла производства улучшенной сельскохозяйственной продукции.

Рациональное сочетание системы питания растений и их защиты от сорняков, болезней и вредителей обеспечивает достижение улучшенных показателей качества, а именно потребительских характеристик и показателей загрязняющих веществ.

Ниже приведены показатели качества и безопасности для массовой сельскохозяйственной культуры – пшеницы озимой (табл. 6.6.).

Таблица 6.6. Продукция: зерно озимой пшеницы

Показатели биологической полноценности, %	
Белок	13-16
Клейковина	26-30
Стекловидность	80-90
Сила муки, 10Дж	200-500
Объем хлеба, мл	550-650
Допустимые показатели качества по содержанию загрязняющих веществ	
Нитрозоамины, мг/кг	0,002
Афлатоксин В <sub>1</sub> , мг/кг	0,005
Т-2 токсин, мг/кг	0,1
Зеараленон, мг/кг	1,0
Дезоксиниваленон, мг/кг	1,0
Цезий-137, Ки/кг	$1,0 \times 10^{-8}$
Стронций-90, Ки/кг	$1,0 \times 10^{-9}$
Неметаллы, мг/кг:	
Йод	1,0
Мышьяк	0,2
Селен	0,5
Сурьма	0,1
Фтор	2,5
Тяжелые металлы, мг/кг	
Ртуть	0,01
Кадмий	0,02
Свинец	0,2
Цинк	25,0

Никель	0,5
Хром	0,2
Пестициды, мг/кг	
Базудин	0,1
ГХЦГ	0,1
Симазин	1,0
Хлорофос	0,1

Дополнительно к указанным показателям безопасности в качестве улучшенных показателей можно обоснованно обеспечивать:

1. более низкие показатели содержания загрязняющих веществ;
2. распределение аминокислот;
3. создание оптимального микроэлементного и витаминного профиля сельскохозяйственных культур;
4. оптимальный профиль усвояемых ненасыщенных жиров и других необходимых питательных веществ можно формировать на всем пути создания продуктов питания – от сельхозпродукции до товарных продуктов питания.

Управление процессом создания и усиления полезных свойств сельскохозяйственной продукции и продуктов питания с использованием природных факторов, улучшенных характеристик применяемых семян, агрохимикатов, средств защиты растений, пищевых и кормовых добавок и т.д., является уникальным сочетанием для платформы улучшенной сельхозпродукции (рис.6.6).

Для производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия необходимо использовать уже накопленную базу данных и знаний по культурам с особо ценными свойствами. Одной из таких культур является высокопродуктивная растительная культура амарант, обладающая рядом несомненных преимуществ по сравнению с традиционными культурами. [244].

Ниже перечислены ключевые преимущества амаранта:

1. Амарант принадлежит к растениям с самым эффективным C4-фотосинтезом.

2. Количество минерального азота, используемого амарантом на рост и развитие (доля «азота роста»), значительно выше, чем доля «азота поддержания» уже сформировавшейся биомассы, поэтому эта культура потенциально может давать урожай биомассы до 300 т с га.

3. Амарант обладает низким транспирационным коэффициентом, поэтому он прекрасно растет в условиях засухи или засоления.

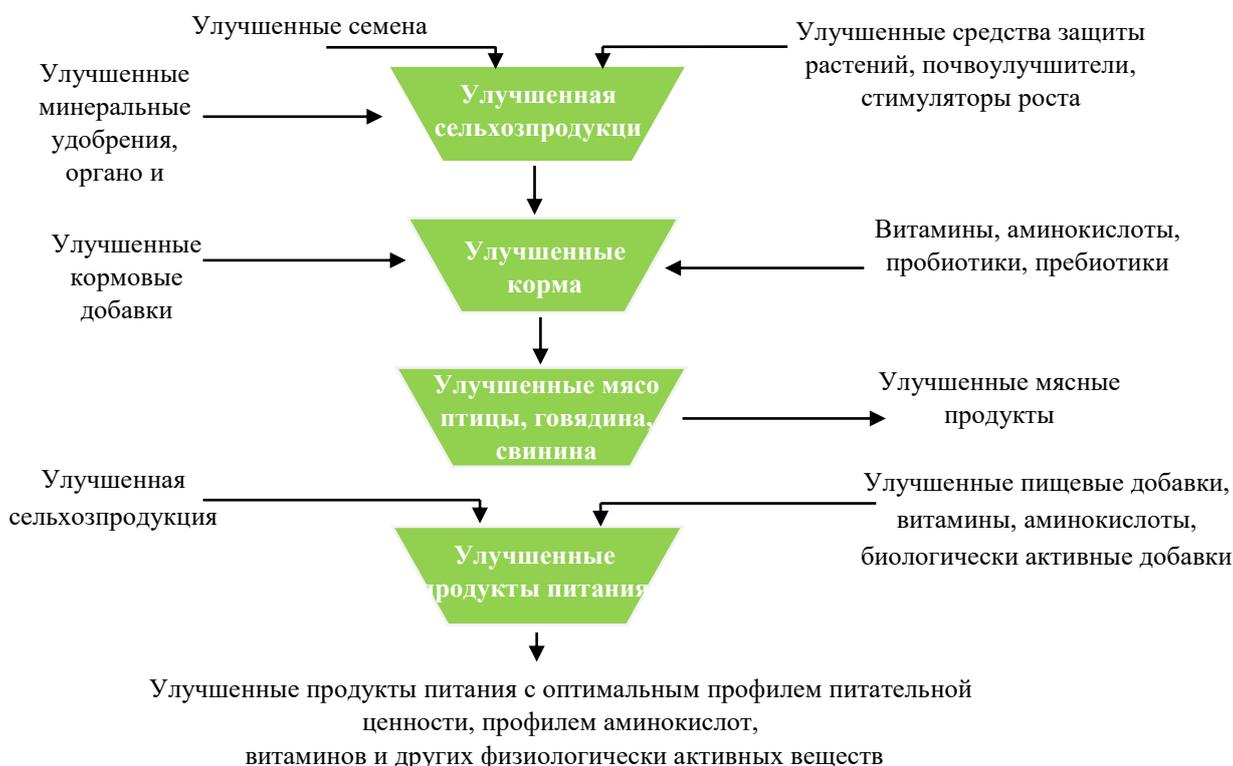


Рисунок 6.6 - Цикл создания улучшенных продуктов питания с заданным профилем питательных компонентов, витаминов, аминокислот и отсутствием токсичных веществ

4. Урожай 10 растений амаранта обеспечивает 1 га посевным материалом. Одно растение может дать до 300 тысяч семян.

5. Энергетические затраты человека на производство единицы биомассы амаранта наименьшие по сравнению с другими культурами (для получения 1 ккал энергии при производстве сои затрачивается 0,8 ккал, пшеницы – 0,1-0,2 ккал, а амаранта – менее 0,1 ккал). Это обеспечивает

наиболее высокую конкурентоспособность амаранта среди всех возделываемых зерновых и кормовых растений.

6. Эта культура, все органы которой (зерно, листья, стебли, корни) могут использоваться человеком.

7. Зерно амаранта содержит от 13-17 процентов белка, что значительно выше, чем у большинства других зерновых растений. С 1 гектра за 100 дней вегетации можно получить 2-3 т белка.

8. Эта единственная культура, которая содержит самые качественные белок, жиры и углеводы. Это зерновая, кормовая, овощная, техническая, сидеральная и декоративная культура.

9. Белок амаранта богат аминокислотой лизином, что выгодно отличает его от большинства зерновых культур, таких как пшеница и кукуруза, в белке которых содержится в 2-3 раза меньше лизина. Это делает белок амаранта полноценным, повышая его «скор» до 75.

10. Зерно амаранта содержит сквален, токотриенолы и Омега 6, которые могут быть использованы в медицине для лечения и профилактики многих болезней.

11. Из белков зерна амаранта выделены биоактивные пептиды, которые участвуют в предотвращении возникновения рака, диабета и сердечно-сосудистых заболеваний.

12. Масло амаранта используют для профилактики кардиологических заболеваний и снижения уровня холестерина.

13. Амарант не содержит глютена, что делает возможным использование его для питания людей, больных целиакией или не переносящих клейковину.

14. Для амаранта характерно высокое содержание растительных волокон.

15. Зерно амаранта способно «вспучиваться», как и зерно кукурузы, и может использоваться для питания в виде «попамаранта» с добавкой кукурузы.

16. Необходимо учитывать, что старые листья амаранта содержат значительное количество щавелевой кислоты. Поэтому стоит избегать употребления их в пищу, особенно тем людям, у которых имеются признаки подагры, заболевания почек или ревматоидного артрита.

17. Амарант может использоваться как источник генов для их переноса в различные традиционные культуры с целью улучшения качества белка и липидного состава.

### ***Кормовые добавки для улучшенной продукции***

В последние годы производство животноводческой продукции демонстрирует устойчивый рост. Однако, для развития животноводства необходимы качественные корма. В Российской Федерации только половина из заготавливаемых объемистых кормов соответствует 1 и 2 классам качества (ГОСТ Р 55986-2014 «Силос из кормовых растений. Общие технические условия», ГОСТ Р 55452-2013 «Сено и сенаж. Технические условия»). (Информационный бюллетень, МСХ. № 5. 2022. С. 21).

В целях решения задачи производства кормов 1 и 2 класса компания «Иннопрактика» инициировала изучения эффективности отечественного биологического консерванта для заготовки силоса и сенажа. (Агробизнес. № 3. 2022. С. 16.).

Особое значение имеет изучение возможности и разработка методов использования кормовых добавок, заменяющих антибиотики, а также изыскание новых источников питания из числа природных средств.

Среди потребителей во всем мире растет спрос на продукцию, не содержащую вредных веществ, в том числе антибиотиков, пестицидов и консервантов [245].

Получать продукцию животноводства и птицеводства, превосходящую по своим показателям традиционные, так называемые обогащенные продукты, позволяет использование последних достижений науки. Так, высококачественное молоко можно получать путем насыщения рационов коров конъюгированной линолевой кислотой [246]. Многие страны давно

начали борьбу против применения антибиотиков при выращивании сельскохозяйственных животных и птицы. В 2016 году Генеральная Ассамблея ООН признала их использование в животноводстве и птицеводстве одной из основных причин резистентности к противомикробным препаратам у людей.

В России распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.03.2019 № 604-р в рамках реализации Стратегии предупреждения распространения антимикробной резистентности в Российской Федерации на период до 2030 года установлен запрет на использование противомикробных препаратов для ветеринарного применения не в лечебных целях с 2020 года. Кроме того, с 2020 года началось регулирование использования противомикробных препаратов при производстве кормов.

В последние десятилетия на стыке наук ведутся активные исследования и улучшение практики производства и применения кормов для животных и птиц. Основными критериями перехода на систему улучшенного питания животных и птиц являются:

- сбалансированные корма по содержанию и пропорциям основных питательных веществ, микроэлементов, клетчатки, белков и углеводов;
- максимальная энергонасыщенность единицы кормов;
- низкий экологический, в том числе углеродный, след жизненного цикла индивидуальных составляющих и кормовых смесей;
- физическая и стоимостная доступность сырья для производства составляющих кормов;
- снижение потерь при формировании кормовых смесей за счет перехода на комплексные премиксы и добавки промышленного изготовления.

В частности, принимаются активные усилия по увеличению степени усвояемости фосфора из растительного сырья с применением высокоэффективных препаратов фитазы. В статье приведены данные об эффективности фитазы Акстра ТМ PHY GOLD в рационах с высоким

содержанием фитата ( $> 0.33\%$ ) с переводом неусвояемого фосфора в биоусвояемую форму [247]. Авторы исследования отмечают незаменимость усвояемого фосфора в стартерном периоде (первые 10 суток развития птиц). Риск нарушения минерализации костной ткани в первый период развития является главным препятствием к переходу на использование рационов без неорганического фосфора.

Оптимальным является сочетание минеральной добавки в виде высококонцентрированного по фосфору монокальцийфосфата с высокоэффективным ферментом фитаза. Такое сочетание можно рассматривать как премикс для комбикормов с улучшенными характеристиками по следующим основаниям:

- оптимизация расхода кормового монокальцийфосфата с высвобождением доли для внесения других необходимых добавок, например, кальцийсодержащих;

- повышение биологической усвояемости фосфора организмом птиц, прежде всего, в стартерный период развития и, как следствие, снижение попадания фосфора в окружающую среду с продуктами жизнедеятельности.

Наряду с этим на современной научной базе разрабатываются и формируются новые критерии улучшенных рецептов кормов.

Это связано с ограничениями доступности ряда кормовых добавок для создания кормов с оптимальными пропорциями растительной и минеральной составляющей.

Одним из перспективных направлений является повышение эффективности белковых препаратов за счет создания комплексов на основе высокомолекулярных водорастворимых полимеров (ВВП).

Образующийся комплекс глобульной структуры обеспечивает сохранение свойств белковых молекул на подготовительных стадиях производства кормов, предотвращение их денатурации и обеспечивает их защиту. В результате все белковые молекулы становятся доступными для усвоения животными. Особенно важной такая защита белков является при

концентратном способе кормления животных. ВВП продолжает действовать и на стадии усвоения белков, повышая степень и скорость их усвоения протеинов и аминокислот в процессе пищеварения. В качестве ВВП используют полимерные молекулы размером 50-100 нм и молекулярной массой  $5 \times 10^5 - 1 \times 10^6$  Да.

В статье Малышева И.Ш. (2017) отмечено применение БВМД и природных цеолитов (бентонитовая глина, монтморрилонит и другие) обеспечивает увеличение производства молока, в период лактации снизить содержание мышьяка в молоке и выйти на производство экологически чистого молока. [248]. В монографии Фаритова Т.А (2010) выделена в качестве основной проблема обеспечения для кормления животных кормовыми протеинами. [249]. Для восполнения дефицита протеинов при формировании высокобелковых кормов можно использовать концентрированные по азоту минеральные добавки - карбамид, кристаллические ди- и моноаммонийфосфат. Так, при силосовании кормов эффективно вносить 4-5 кг/т зеленой массы смеси карбамида с сульфатом аммония и диаммоний фосфатом, что позволяет создать сбалансированную смесь с минеральными макроэлементами (азот, фосфор, сера). Также может применяться фосфат карбамида (амидофосфат) с содержанием азота 30% N.

В качестве современной рецептуры эффективно применение жидких комплексных кормовых добавок, состоящих из растительной жидкой основы (серная патока, барда, молочная сыворотка и других) и растворенных минеральных веществ, витаминов, аминокислот, микроэлементов, биологически активных веществ. Отрасль минеральных удобрений производит указанные продукты кормового качества в необходимых количествах. Неорганические вещества эффективны для повышения содержания протеина в растительных материалах. Так, при обработке влажного сена безводным аммиаком содержание протеина (по азоту) выросло на 25-70% при относительно невысоких дозах расхода аммиака (25-30кг/т влажного сена).

Основной источник протеина в жидких кормовых добавках – карбамид. С целью улучшения усвояемости азота карбамида в состав рецептуры вносят соли фосфора, серы, микроэлементов, витамины А, D, Е. В качестве фосфорсодержащих соединений используют фосфат карбамида, моно- и диаммонийфосфат, полифосфорную кислоту, полифосфаты аммония. При этом необходимо исключать антагонизм элементов и веществ. Витамины вводят вместе с антиоксидантами; для исключения расслаивания смеси используют поверхностно-активные вещества.

В типовых рецептурах содержание патоки колеблется в пределах 40-85%, карбамида – 5-10%; кормового жира – 4-10%, кристаллического диаммонийфосфата – 2-6%, глауберовой соли – 1-2%. Примерное суточное потребление жидких кормовых добавок составляет: для коров – 1,5-2,0 кг; молодняком старше 1 года – 1,0-1,2 кг. Длительная практика применения жидких кормовых добавок подтвердила их высокую эффективность.

Установлено положительное влияние оптимальных форм и доз минеральных веществ на перевариваемость органических веществ и их усваиваемость. При оптимальном уровне их содержания они предотвращают у животных расстройства пищеварения, усиливают моторную функцию пищеварительного тракта, нормализует обмен веществ в организме.

Синергизмом в повышении эффективности применения кормовых добавок является совмещение положительных качеств комплексных растительных добавок и минеральных добавок. ФГБОУ Воронежским ГАУ разработана новая многокомпонентная растительная кормовая добавка из стебле-листьевой частей стевии, мезги топинамбура и яблочного жома. Установлено стимулирующее влияние добавки на гематологические показатели животных опытной группы, в частности, за счет увеличения содержания белка, липидов и других веществ. Особенно высокое увеличение за счет добавки определено для карбамида на 25,6%. За счет усиления биологической активности кормов доказано увеличение молочной продуктивности коров на 11% и качества молока. В молоке опытной группы

коров количество соматических клеток было значительно ниже, чем в контрольной. Также ниже контрольной группы были концентрации ксенобиотиков – свинца, кадмия, ртути, мышьяка, ридионуклеидов, не обнаружено микотоксинов, пестицидов, антибиотиков тетрациклиновой группы, стрептомицина и пенициллина.

В обзоре [Анализ состояния и перспективы...] изложены результаты разработок российских сельскохозяйственных ВУЗов по улучшенным кормовым добавкам. Так, специалистами Белгородского ГАУ разработана и проверена в практике кормления свиней минерально-сорбционная добавка Карбосил. В состав Карбосила входят 15-20% местных цеолитов, 15-30% бептолитов, 2-25% гидратированного аморфного кремнегеля (в активном состоянии) и 40-45% минерального карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ . Показано улучшение качества продукции: в мясе свиней увеличилось содержание сухих веществ на 3,90%, протеина на 3,10%; увеличились влагоемкость мяса и витаминов А и С [250].

Заменой химическим антибиотикам, могут стать препараты растительного и бактериального происхождения, энзимы, органические кислоты. Натуральные кормовые добавки, полученные из растений, такие как эфирные масла, были рассмотрены в качестве альтернативы антибиотикам в животноводстве и птицеводстве. Например, специалистами НПК «Биоторф» разработан натуральный заменитель антибиотиков на основе смеси эфирных масел Интебио. Это кормовая добавка для повышения сохранности молодняка и увеличения продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы.

Также существуют безопасные антибиотики естественного происхождения – бактериоцины. Ярким примером является многокомпонентный пробиотик Профорт. Препаратами нового поколения на основе пробиотических штаммов бактерий, дополнительно обогащенными полезными бактериальными метаболитами (органические кислоты, бактериоцины), являются метапробиотики [251].

Маннанные олигосахариды. Одной из альтернатив замещения кормовых антибиотиков являются стенки инактивированных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae*, обладающие пребиотическим действием.

*Saccharomyces cerevisiae* - это организм “эукариот” с одним ядром. Стенки инактивированных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* состоят из внутриклеточного экстракта: цитоплазмы и органеллы и клеточной оболочки (маннанолигосахариды и  $\beta$ - глюканы).

Действие маннанных и  $\beta$ -глюканов улучшает здоровье кишечника и иммунной системы являясь альтернативой кормовым антибиотикам.

Фимбрии бактериальных клеток (Грамм-) сходны по строению с маннанным. Следовательно, маннаны способны связывать эти патогены и выводить их из организма.

$\beta$ -глюканы значительно увеличивают количество бокаловидных клеток. Бокаловидные клетки в свою очередь увеличивают выработку количества муцина, который является защитным барьером от патогенов, а также сокращает межклеточное расстояние между ворсинками, тем самым улучшая морфологию слизистой кишечника.

Подкислители (препараты на основе органических кислот). Одними из наиболее эффективных средств борьбы с микроорганизмами и грибами являются короткоцепочечные органические кислоты (ОК). Бактерицидное и фунгицидное действие органических кислот определяет универсальность их применения. Кроме того, органические кислоты являются естественными метаболитами и бесследно ассимилируются в организме животного, принося ему пользу в виде дополнительной энергии. Перечисленные свойства органических кислот сделали их одними из наиболее популярных средств в животноводстве и птицеводстве последнего времени. Кроме задач улучшения и сохранения качества кормов после десяти лет интенсивных исследований в Европе и в США подкислители шире стали применять для профилактики различных заболеваний, подготовки питьевой воды. С подтверждением антибактериальных свойств многих препаратов,

стабилизирующих деятельность желудочно-кишечного тракта, улучшающих пищеварение и конверсию корма, подкислители стали рассматривать как замену кормовым антибиотикам.

Современные исследования показали, что кормовые добавки на основе органических кислот и их солей являются эффективными и наиболее безопасными с точки зрения влияния на здоровье животных и человека средствами борьбы с патогенной микрофлорой как в кормах, так и в сырье для их производства. Поэтому использование продуктов на основе органических кислот — это современный способ предотвращения инфекционных заболеваний сельскохозяйственных животных и, как следствие, человека [252].

Одним из приоритетных направлений по замещению антибиотиков в коромсмесях выступает применение биологических препаратов – про- и пребиотиков. Они представляют собой массу бактерий в вегетативной или споровой форме. Пребиотики оказывают благотворное действие на организм, их сапрофитная микрофлора способна в процессе жизнедеятельности вырабатывать биологически активные вещества, подавляющие рост вредных элементов, злокачественных опухолей, и нормализующие различные патологические и биохимические процессы у животных [253]. Микроорганизмы, включаемые непосредственно в корм (пробиотики). Живые культуры дрожжей и молочнокислых бактерий заселяют ЖКТ животных и выделяют антимикробные вещества, тем самым, предотвращая развитие патогенной микрофлоры и нормализуя процессы пищеварения.

Пробиотики не только не уступают кормовым антибиотикам, но даже более предпочтительны. Пробиотики из бацилл проявляют антагонизм даже в отношении патогенных штаммов, утративших чувствительность к антибиотикам. Бациллы продуцируют не отдельные антибиотики, а «семейства» пептидных антибиотиков, сходных по базовой структуре, но отличающихся по концевым группировкам. Поэтому к спорovým пробиотикам, в отличие от антибиотиков, не возникает привыкания.

Преимуществами споровых пробиотиков перед антибиотиками являются также возможность получения экологически чистой и вкусной продукции, отсутствие побочных реакций со стороны животного, поддержание иммунитета и нормальной микрофлоры кишечника [254].

Ароматические добавки (эфирные масла, фитоэкстракты). В последние десятилетия лекарственные растения и их компоненты представляют интерес с точки зрения антимикробного действия. Установлено, что многие эфирные масла проявляют биологическую активность в отношении патогенных агентов [255-257].

Капсаицин – основное действующее соединение, выделенное из перца и родственных ему растений, является не только противовоспалительным средством, но и стабилизатором процесса пищеварения.

Танины - дубильные вещества коры дуба и некоторых других растений обладают бактерицидным эффектом, воздействуя на протеины в нерастворимых соединениях. Кроме того, танины воздействуют на ворсинки слизистой оболочки кишки и помогают при расстройствах кишечника.

Масло перечной мяты оказывает дезинфицирующее воздействие при процессах разложения в желудочно-кишечном тракте, способствует образованию желчных кислот и является желчегонным. Также можно отметить, антиоксидантные свойства и способность стимулировать выделение слюны и желудочного сока.

Анетол и тимол – основные действующие вещества, присутствующие в тимьяне являются стимуляторами пищеварения, прекрасными антисептиками и антиоксидантами и имеют широкое антибактериальное действие [258]. В 2018 году обсуждалось качество российской мясной продукции, в частности — вопросы превышения в ней допустимого содержания антибиотиков. Кроме того, Россельхознадзор ввел усиленный режим лабораторного контроля над продукцией ряда предприятий, производящих животноводческую продукцию. Ужесточение контроля качества отечественной продукции, требования со стороны госорганов и крупных

клиентов (рестораны быстрого питания, федеральные торговые сети) вынуждает производителей пересмотреть подходы ко многим производственным процессам. Актуальным становится усиленный контроль над остаточным содержанием антибиотиков в готовой продукции. Российские производители мяса птицы интересуются технологиями ее выращивания без антибиотиков, например, Группа «Продо» - один из крупнейших российских производителей продукции из мяса птицы, колбасных изделий, полуфабрикатов и мясных деликатесов. Необходимо отметить, что для производства улучшенной продукции. полный запрет на применение антибиотиков отсутствует, возможно их умеренное применение. В мировой практике есть такие примеры. В Австралии разрешены ионофоры, а антибиотики — стимуляторы роста (Antibiotic Growth Promoter, AGP) — запрещены. Во Франции также можно применять ионофоры и нельзя AGP, но кроме того птице разрешено дважды в течение цикла выращивания давать антибиотики при выпойке. В США многие компании перешли на схему без антибиотиков. Такая продукция стоит на 25% дороже, при этом пользуется повышенным спросом у населения [259].

Антибиотики, используемые в животноводстве, по данным ведущих экспертов, занимают прочную позицию на российском рынке ветеринарных препаратов. Однако общемировые тенденции, направленные на решение проблемы развития резистентности у людей и животных, уже начинают изменять структуру рынка, смещая акценты на антибиотикозамещение [260]. Таким образом общим направлением работы в целях производства улучшенных продуктов питания являются:

- общее снижение синтетических пищевых добавок с минимизацией или исключением их суперпозиции в виде мультикомпонентности;
- определение базовой группы улучшенных пищевых добавок, по которым не имеется статистически значимых данных о потенциальных рисках для здоровья человека;

- определение максимальных концентраций индивидуальных пищевых добавок и их смесей, состоящих из синергистов, не вызывающих негативных реакций у чувствительных людей;

- определение оптимальных пропорций (концентраций) содержания белков, жиров, углеводов, микронутриентов, витаминов, пребиотиков, биологически активных добавок;

- максимальное раскрытие информации для потребителя об улучшенных характеристиках продуктов питания;

- требования к материалу упаковки, ее биоразлагаемости или возможности повторной/многократной переработки, инертности к компонентам продуктов питания.

## 7. ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВАМИ

Переходя к количественным экономическим оценкам, укрупненно можно дать сравнение по приведенным экономическим затратам в традиционной системе производства массовой сельхозпродукции с постепенной потерей биоразнообразия и высокими затратами на биоремедиацию почв и восстановления агроландшафтов, которые имеют свою приведенную стоимость. Последняя может перекрывать текущий экономический эффект от сельскохозяйственной деятельности. Платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции, имея чуть более высокие текущие затраты (рис. 7.1), не имеет негативного экологического следа и затрат на восстановление почв.

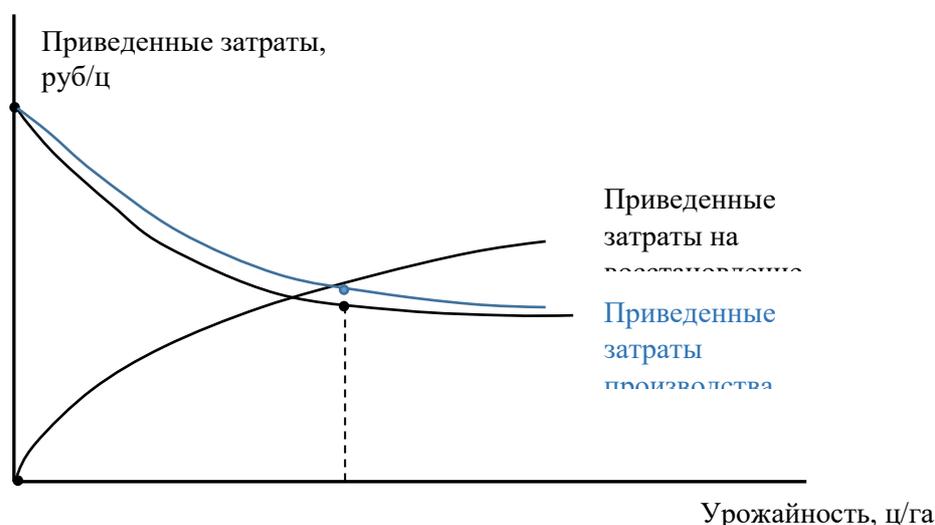


Рисунок 7.1 - Приведенные затраты на производство массовой сельскохозяйственной продукции при традиционной агротехнологии ( — ) и улучшенной сельскохозяйственной продукции

С учетом стоимости производства сельскохозяйственной и пищевой продукции с улучшенными характеристиками, справедливая наценка для товаров с улучшенными характеристиками, по мнению президента ГК «ЭкоНива» Ш.Дюрра, можно считать 10-15% [261].

## 8. ПЛАТФОРМА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ, СЫРЬЯ И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВАМИ - ОСНОВА ПЕРЕХОДА К УСТОЙЧИВОМУ СЕЛЬСКОМУ ХОЗЯЙСТВУ

Объединение на одной платформе и под одним зонтичным брендом, инновационных продуктов агротехнологий со значимой ролью экологического и климатического критериев, обеспечит решение ключевых задач высокой продуктивности сельского хозяйства при минимальных затратах, обеспечение высокого качества и полезности продуктов питания с одновременным обеспечением доступности продуктов питания, воспроизводства плодородия почв и биоразнообразия агроландшафтов, минимального воздействия на окружающую среду.

Одним из стратегических преимуществ платформы улучшенной сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия является быстрый перенос инноваций из быстрорастущих областей науки и технологий (рис. 8.1).

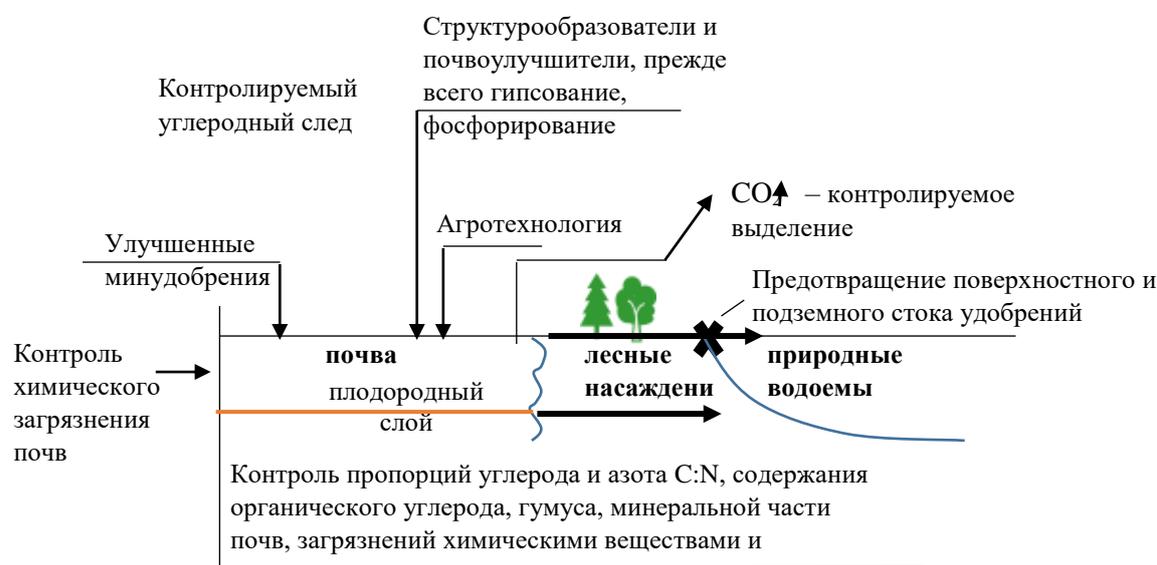


Рисунок 8.1 - Агрохимический цикл в производстве улучшенной сельскохозяйственной продукции.

В том числе значительный поток инноваций привносится за счет быстрого развития новых продуктов агрохимии, аккумулирующих достижения в области органической промышленной химии, микробиологии,

токсикологии, агрохимии и других высокотехнологичных областей. Платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции является базовой несущей платформой для перехода к устойчивому сельскому хозяйству на основе современных достижений науки.

Инновационные технологии, например – нанотехнологии, в будущем принесут и уже приносят огромный вклад в устойчивое сельское хозяйство, увеличив производство сельскохозяйственных культур, а также восстановив и улучшив качество почвы. Ниже приведены некоторые направления нанотехнологий для устойчивого сельского хозяйства.

Наноподходы являются многообещающим инструментом контроля за дефицитом питательных веществ, увеличением всходов, трансформацией биологических систем и управлением стрессами растений, вызванных окружающей средой. Более того, использование наночастиц (NPs) как наноудобрений для таргетированной доставки микронутриентов считается эффективным, выгодным, благоприятным для окружающей среды.

Различные опыты показали, что внесение NPs улучшило устойчивость растений к абиотическим стрессам путем модулирования биохимических, морфо-физиологических и генетических механизмов под воздействием стресса от засоления, засухи и тяжелых металлов.

NPs уменьшают потери питательных веществ, т.к. у них больше удерживающая способность (большая поверхность) питательных веществ и обеспечивают потенциальные преимущества растениям. Применение таких NPs как наноудобрения показало эффективные результаты в усилении стойкости растения к абиотическому стрессу путем увеличения роста растения, содержания питательных веществ, фитогормонов, ферментов антиоксидантов и эффективности фотосинтеза при одновременном уменьшении клеточного окислительного стресса. Недавно NPs оксид железа был использован для усиления роста растения в условиях загрязнения тяжелыми металлами и засухи. Более того, отмечено усиление роста саженцев пшеницы при применении FeO NPs, которые уменьшили

окислительный стресс, вызванный загрязнением кадмием и свинцом. Внесение NPs эффективно снижает солевой стресс, уменьшая концентрацию соли и связанные с ней токсические эффекты. Кроме того, было обнаружено, что нано-силикон существенно облегчает солевой стресс, усиливает прорастание семян, улучшает систему антиоксидантной защиты, тургор листьев и процесс ассимиляции углерода.

Было издано большое количество отчетов о потенциальной роли NPs в восстановлении загрязненных тяжелыми металлами почв. Эффективность NPs в снижении токсичности тяжелых металлов для растений объясняется их маленьким размером и большой площадью поверхности. Снижение фитотоксичности, вызванной тяжелыми металлами, с помощью NPs Si (наночастиц кремния) также было отмечено в рисе, горохе и пшенице. Так же Konate et al. определил, что FeO NPs (наночастицы оксида железа) улучшили рост побегов пшеницы, уменьшив клеточный окислительный стресс, вызванный токсичностью свинца и кадмия. Также было отмечено, что наночастицы магнетита (magnetite NPs) улучшили рост побегов пшеницы путем снижения токсичности кадмия и хрома. Наночастицы оксида железа были недавно эффективно применены для усиления роста растений и одновременного снижения стресса от тяжелых металлов и засухи.

Исследования показали, что наночастицы кремния повышают устойчивость растений к стрессу засухи. Например, с применением наночастиц кремния устойчивость к засухе повысилась у побегов боярышника, в то время как защитные физиологические параметры были различны в зависимости от уровня засушливости и концентраций наночастиц кремния. Наночастицы кремния показали высокий потенциал для пост-засушливого восстановления растений, изменив морфо-физиологические свойства в ростках ячменя.

Однако, необходимо развивать новые подходы к наноремедиации для ослабления негативного влияния тяжелых металлов на рост и развитие растений.

### ***Полимерные наночастицы***

В сельскохозяйственном секторе полимерные наночастицы используются для медленной и контролируемой доставки агрохимикатов. Некоторыми из преимуществ полимерных наночастиц являются их превосходная биосовместимость и минимальное воздействие на нецелевые организмы.

Некоторые из полимерных наноматериалов, используемых в сельском хозяйстве, включают полиэтиленгликоль, поли (эпсилон-капролактон), сополимер лактида и гликолидов и поли (гамма-глутаминовая кислота).

### ***Наноалюмосиликаты***

Многие химические компании применяют наноразмерные алюмосиликатные составы в качестве эффективных пестицидов.

### ***Нанопестициды и наногербициды***

Для составов наногербицидов используются различные типы наночастиц, такие как полимерные наночастицы и неорганические наночастицы. Например, наночастицы эпсилонкапролактона инкапсулируют атразин, гербицид. Эта нанокапсула показала сильный контроль над целевыми видами, снижение уровня генотоксичности, а также значительно снизила подвижность атразина в почве.

### ***Наноудобрения***

После внесения нанофосфорных удобрений в засушливых условиях обнаружено значительное увеличение урожайности проса и фасоли. Суспензии наночастиц хитозана, содержащие азот, фосфор и натрий, также увеличили урожайность сельскохозяйственных культур.

В качестве примера, можно привести работу команды ученых из Москвы, Тамбова и Рязани, которая ведется с 2020 года под эгидой Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» в области стимуляторов роста и средств защиты растений на основе металлических нанопорошков. В настоящее время инновационные

удобрения проходят апробацию на полях Белгородской области. Результаты испытаний показали, что благодаря такой предпосевной обработке удается повысить урожайность пшеницы, ячменя и сои на 10-15% [262].

Жидкая наномочевина IFFCO представляет собой мочевины в виде жидкости с меньшим размером частиц по сравнению с обычной мочевиной, и стоимость ее ниже. Поллитра нано-мочевины заменяет примерно один мешок гранулированных удобрений, ее сравнивают с химиотерапией для почвы из-за загрязняющих последствий. Нано-мочевину применяют путем распыления непосредственно на листья, при этом это можно делать и при помощи дронов. Она проникает через поры и усваивается клетками растений. Неиспользованный азот хранится в вакуоли растения и медленно высвобождается для правильного роста и развития. Небольшой размер (20-50 нм) наномочевины повышает ее доступность для сельскохозяйственных культур более чем на 80%.

Продукт был разработан с использованием запатентованной технологии в Исследовательском центре нанобиотехнологии (NBRC) Indian Farmers 'Fertilizer Cooperative Ltd (IFFCO), где сейчас работают над нано-формой диаммонийфосфата [263].

Традиционные методы улучшения структуры почв и повышения их плодородия, с применением удобрений нового поколения, средств защиты растений, стимуляторов роста приобретают новую ценность.

Комплекс агрохимических и агротехнических мероприятий на платформе улучшенной сельскохозяйственной продукции обеспечивает:

1. сбалансированную систему питания растений и поддержание в почве оптимального содержания усвояемых форм питательных веществ, структуры почвы, ее воздухопроницаемости, содержания гумуса в почве, оптимального соотношения органической и минеральной составляющей почвы, биоразнообразия;

2. исключение химического загрязнения почв при высоких дозах внесения минеральных удобрений;

3. исключение попадания в почву токсичных веществ от применения химических средств защиты растений;

4. высокую эффективность полезного использования питательных веществ с приближением питания растений к их потребностям на разных этапах вегетации и роста;

5. минимизацию потери питательных веществ и их попадание в окружающую среду;

6. снижение, а в пределе исключать выделение парниковых газов (диоксида углерода, закиси азота);

7. не ухудшение качества природной среды, соприкасающейся с агроландшафтом;

8. минимизацию количество утилизируемых отходов за счет комплексной цепочки использования побочных продуктов производства сельскохозяйственной продукции.

Соединение преимуществ «зеленой» платформы улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия с открытой базой нормативных документов с перспективным направлением растительного белка дает возможность перехода на новую концепцию полезного сбалансированного питания. Основой перехода является огромная база данных и знаний, накопленных в различных дисциплинах, и объединение их на междисциплинарной основе.

При этом основной движущей силой развития этой концепции является применение новых знаний в высокотехнологичных быстроразвивающихся сферах науки – микробиологии, селекции, биохимии, математическим моделировании, тонком органическом синтезе. На сегодня уже можно составить примерную модель концепции (рис. 8.2).

АНО «Роскачество» на Петербургском международном экономическом форуме (ПМЭФ - 2022) объявило, что по поручению Минсельхоза до конца 2022 года, совместно с бюджет производителем удобрений «Фосагро» и Лиги зеленых брендов (ЛЗБ) разработают стратегию развития зеленого

продовольственного производства в России с критериями, дающими производителям право маркировать свои продукты как зеленые. Первой такую маркировку должна будет получить сельхозпродукция [264].

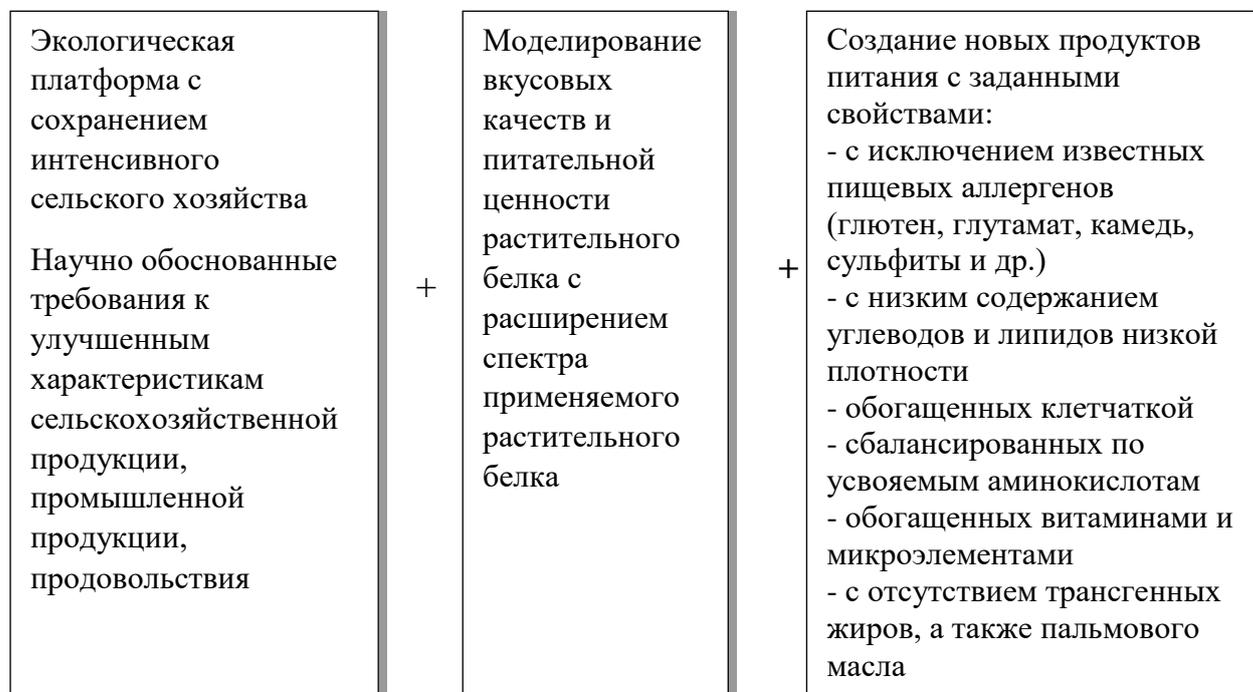


Рисунок 8.2 - Модель концепции

Таким образом, платформа улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия обеспечивает комплексное сочетание принципов устойчивого сельского хозяйства с усилением полезных агрохимических процессов и обеспечением высокой биологической продуктивности сельскохозяйственной продукции с улучшением их потребительских характеристик при сохранении в долгосрочной перспективе плодородия почв и биоразнообразия агробиоценоза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными преимуществами «зеленой» платформы улучшенной сельхозпродукции и продовольствия являются:

1. снижение образования отходов, сбросов загрязнителей в природную среду, выбросов в атмосферу в производственном цикле добычи и обогащения минерального сырья и его переработке в улучшенные минеральные удобрения в соответствии с утверждёнными информационно - технологическими справочниками по наилучшим доступным технологиям;

2. использование вторичных и энергоресурсов для замещения первичного минерального и углеводородного сырья;

3. исключение применения синтетических веществ и препаратов высоких классов опасности, имеющих побочные действия при длительном применении;

4. возможность исключения целой группы синтетических веществ и препаратов для производства продуктов питания с заданным сочетанием свойств: питательная ценность, обогащенность аминокислотами, витаминами, минеральными веществами при предельно низком содержании примесей;

5. минимизация (исключение) комбинированного негативного воздействия на окружающую среду тяжелых металлов, мышьяка, органических соединений, радиоактивных элементов, микропластика за счёт управления жизненным циклом производства и применения улучшенных средств химизации, прежде всего, улучшенных минеральных удобрений и пестицидов, агрохимического мониторинга состояния почв и уровня их загрязнения, применения современных агротехнологий обработки почвы, экологического мониторинга окружающей среды;

6. возможность выбора и доступность разных видов улучшенных агрохимикатов для обеспечения двуединого критерия: высокой урожайности и качества урожая при одновременном низком воздействии на окружающую среду, включая минимальный уровень выбросов парниковых газов;

7. применение улучшенных пищевых добавок для производства улучшенных продуктов питания, исключая кумулятивность в организме или образования метаболитов с более высокой опасностью относительно исходных веществ;

8. построение устойчивой системы сельского хозяйства и продовольствия с полной прозрачностью и прослеживаемостью для производителя и потребителя цепочки производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия;

9. научно-прикладное сопровождение производства улучшенной сельскохозяйственной продукции и продовольствия на основе современных знаний и технологий;

10. интеграция современных методов естественной генной селекции с усилением полезных свойств, агротехнологий и агротехники для повышения эффективности сельского хозяйства, сокращения применения синтетических веществ и препаратов с переходом на биологические и биоминеральные агрохимикаты, снижение потребления воды и энергии на сельскохозяйственное производство.

Применение опережающих требований к применяемым агрохимикатам и агротехнологиям на платформе производства улучшенной сельскохозяйственной продукции решает триединую задачу: производства доступных для всех слоев населения продуктов питания (социально-экономический критерий) при доминировании экологических факторов (экологический критерий).

## ГЛОССАРИЙ

**Агрономическая химия**, или агрохимия - наука о взаимодействии растений, почвы и удобрений в процессе выращивания сельскохозяйственных культур, о круговороте веществ в земледелии и использовании удобрений в целях увеличения урожая, улучшения его качества и повышения плодородия почвы.

**Агрономическая эффективность удобрений** - окупаемость прибавкой урожая всех культур (в кормовых единицах) 1 тонны органических и 1 кг д.в. минеральных удобрений.

**Агрохимическое обследование почв** сельскохозяйственных угодий - отбор почвенных образцов на территории землепользования с целью контроля и оценки изменения плодородия почв, создания базы данных полей (рабочих участков), проведения сплошной сертификации земельных (рабочих) участков.

**Актуальная (активная) кислотность** - это кислотность почвенного раствора, обусловленная повышенной концентрацией в нем ионов  $H^+$  по сравнению с ионами  $OH^-$ , создается в почве углекислотой, водорастворимыми органическими кислотами и гидролитически кислыми солями.

**Амидные удобрения** - азотные удобрения, содержащие азот в амидной форме.

**Аммиачно-нитратные удобрения** - азотные удобрения, содержащие азот в двух формах - аммиачной и нитратной.

**Аммиачные удобрения** - азотные удобрения, содержащие азот в виде иона аммония, связанного с кислотным остатком.

**Аммонификация** - процесс превращения органического азота почвы в  $NH_4^+$  с участием гетеротрофных микроорганизмов.

**Антагонизм ионов** - небольшой избыток одного из элементов, вызывающий резкое снижение поступления другого.

**Бактериальные удобрения** - это препараты высокоактивных микроорганизмов, улучшающих условия питания сельскохозяйственных культур.

**Бесподстилочный навоз** - это смесь жидких и твердых выделений животных с примесями воды и корма.

**Биогумус, или вермикомпост** - это продукт переработки навоза и различных органических отходов червями *Eusenia foetieda*. Биогумус содержит макро- и микроэлементы, обладает биологической активностью, содержит гормоны, регулирующие рост растений (ауксин, гиббереллин), важные ферменты - фосфатазы, каталазы и т.д.

**Биологический вынос** - количество питательных веществ, потребляемых растениями на создание всей биологической массы (основная и побочная продукция, пожнивные остатки, корни, опавшие листья).

**Буферная способность почв** - способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону.

**Влажность** - содержание влаги в удобрении, которое не должно превышать значения, утвержденным нормативными документами (ГОСТ, СТ РК, ТУ и др.).

**Вынос питательных веществ** - количество питательных веществ, используемых сельскохозяйственными растениями на формирование урожая.

**Гигроскопичность** - способность почвы, удобрений поглощать влагу из воздуха.

**Гидропоника** - выращивание растений в водной среде

**Гиматомелановые кислоты** - группа гумусовых веществ с промежуточными свойствами между гуминовыми и фульвокислотами, растворимыми в этаноле.

**Гипсование** - внесение в почву гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) для химической мелиорации солонцовых почв.

**Гуминовые кислоты** - гетерогенная и полидисперсная группа высокомолекулярных азотсодержащих органических кислот, включающих ароматические циклы и алифатические цепи.

**Гумины** - часть нерастворимых гумусовых веществ, прочно связанных с минеральной частью почвы.

**Гумусовые вещества** - смесь различных по составу и свойствам высокомолекулярных азотсодержащих органических соединений, объединенных общностью происхождения, некоторых свойств и чертами строения.

**Денитрификация** - образованию газообразных форм азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ) в результате чего происходят его потери из почвы.

**Диффузия** - передвижение молекул, газов, жидкостей или растворенного вещества по градиенту концентраций.

**Доза удобрения** - это количество удобрений, которое вносится в каждом конкретном случае за один прием.

**Емкость поглощения и состав поглощенных оснований** - общее количество способных к обмену поглощенных катионов в почве, ее выражают в мг-экв. на 100 г почвы.

**Зольные элементы** - это элементы, остающиеся при сжигании растений (зола) - фосфор, калий, кальций, магний, цинк, бор, сера и др.

**Иммобилизация азота** - превращение минеральных форм азота ( $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$ ) в органическую форму (белок плазмы тел микроорганизмов).

**Ингибиторы нитрификации** - это химические вещества, которые при внесении их в почву в небольших количествах (0,5-2% дозы азота в удобрении) избирательно подавляют жизнедеятельность нитрифицирующих бактерий, осуществляющих первый этап нитрификации, т. е. окисление аммиака до нитрита.

**Комбинированные (сложно-смешанные удобрения** - удобрения, содержащие не менее двух элементов питания, получаемые в едином технологическом процессе при химическом взаимодействии аммиака, фосфорной, азотной и серной кислот, плава нитрата аммония, фосфорита или апатита, калийных солей и других исходных компонентов (нитрофоска, карбофоски и др.)

**Комплексные удобрения** - удобрения, содержащие в различном соотношении и сочетании два, три и более питательных элементов: азота, фосфора, калия и микроэлементов.

**Компосты** - органические удобрения, состоящие из двух компонентов один поглотитель влаги и аммиака, второй - навозная жижа, фекалии.

**Коэффициент использования питательного вещества из удобрений** - степень усвоения растениями элемента питания, вносимого с удобрениями.

**Коэффициент использования питательных элементов из почвы** - доля использованного из запасов почвы питательного элемента от общего количества его подвижных форм в пахотном слое на 1 га выражается

**Локальный способ внесения удобрений** - внесение удобрений в почву рядками, лентами или очагами, что уменьшает их контакт с массой почвы и снижает скорость закрепления питательных веществ удобрения почвой, в

результате повышается урожайность за счет возрастания коэффициента использования удобрений.

**Макроэлементы** - элементы, необходимые растениям для нормального роста и развития, содержание которых колеблется от сотых долей до целых процентов.

**Микроудобрения** - это удобрения, содержащие в своем составе микроэлементы.

**Микроэлементы** - это необходимые элементы питания, находящиеся в растениях в тысячных и стотысячных долях процентов и выполняющие важные функции в процессах жизнедеятельности.

**Минеральные удобрения** (или искусственные) - продукты неорганического происхождения, получаемые из природных минералов, а также азота воздуха или из побочных продуктов некоторых химзаводов и содержащие питательные вещества в виде минеральных солей.

**Нитратные удобрения** - азотные удобрения, содержащие азот в окисленной форме в виде солей азотной кислоты.

**Нитрификация** - биологическое окисление  $\text{NH}_3$  или  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_3^-$ .

**Норма удобрения** - общее годовое количество удобрений на единицу площади (основное + припосевное + подкормка)

**Оптимальная норма** - это норма, обеспечивающая получение урожая хорошего качества при максимальной оплате единицы вносимых удобрений прибавкой урожая, повышение и сохранение плодородия почвы.

**Остаточный вынос** - это питательные элементы, оставшиеся на поле с пожнивными-корневыми остатками, опавшими листьями, соломой, половой, перешедшие из корней в почву.

**Питание** - это обмен веществ между растениями и окружающей средой; процесс перехода веществ из среды (почва, воздух) в состав растительной ткани, в состав сложных органических соединений, синтезируемых растениями и выведением ряда веществ из него.

**Питательная смесь** - сочетание солей, применяемых для выращивания растений в условиях водных и песчаных культур.

**Плодородие** - способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха, тепла для нормальной деятельности и создания урожая.

**Поглотительная способность почвы** - способность почвы поглощать ионы и молекулы различных веществ из раствора и удерживать их.

**Полный, или биологический баланс** - баланс, учитывающий все статьи прихода и расхода питательных веществ.

**Потенциальная (скрытая), или обменная** - кислотность, обусловленная наличием ионов водорода или алюминия в поглощенном состоянии, которые могут быть вытеснены в раствор катионами нейтральных солей и перейти в почвенный раствор, подкисляя его.

**Потенциальное плодородие почвы** - общий запас питательных веществ валовых формах.

**Почва** - «дневные» или близкие к ним горизонты горных пород (все равно каких), которые были более или менее естественно изменены взаимным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов, живых и мертвых, что и сказывается известным образом на составе, структуре и цвете таких образований (по В. Докучаеву)

**Почвенный поглощающий комплекс (ППК)** - совокупность высокодисперсных частиц почвы размером менее 0,00025 мм и до 0,001 мм, обладающих обменной поглотительной способностью.

**Почвенный раствор** - наиболее подвижная и активная часть почвы, в которой совершаются разнообразные химические процессы и из которой растения непосредственно усваивают питательные вещества.

**Предельная норма** - это норма, которая обеспечивает максимально высокий урожай допустимого качества при самокупаемости удобрений (дальнейшее повышение удобрений уже не обеспечивает прибавки урожая, но может привести к ухудшению качества продукции).

**Растворимость** - способность удобрений полностью растворяться в воде.

**Рациональная норма** - норма, позволяющая получить возможно больший выход продукции хорошего качества с 1 га пашни и более интенсивно повышать плодородие почвы при обязательном экономическом эффекте от применения удобрений.

**Сидераты, или зеленое удобрение** - свежая растительная масса, запахиваемая в почву в целях обогащения ее органическим веществом и азотом.

**Синергизм** - усиление поступления в растения ионов с противоположными зарядами.

**Система удобрения** - это многолетняя плановая организация комплекса агрономических и организационно-хозяйственных мероприятий, связанных с применением минеральных и органических удобрений, с учетом их действия и последствий.

**Система удобрения в севообороте** - это научно-обоснованный многолетний план применения удобрений с учетом уровня плодородия почв, предшествующей культуры, погодных условий, биологических и сортовых особенностей культур, состава и свойств удобрений.

**Система удобрения в хозяйстве** - система применения удобрений, включающая приобретение, хранение и учет удобрений; рациональное распределение удобрений по объектам использования; подготовку, транспортировку, внесение; контроль над действием удобрений и учет их эффективности.

**Система удобрения культуры** - это определение потребности в удобрениях, их видов и форм, сроков и способов внесения, оплата удобрений дополнительным урожаем.

**Сложные удобрения** - это удобрения, которые представляют собой единую химическую формулу, составные части - катион и анион, т.е. содержат 2 или 3 элемента питания в одном химическом соединении (молекуле), они не содержат примесей и поэтому отличаются высокой концентрацией элементов питания (калийная селитра, аммофос и др.).

**Смешанные удобрения** - механические смеси удобрений без существенных химических превращений компонентов

**Степень насыщенности почв основаниями** - это сумма поглощенных оснований, выраженная в процентах от емкости поглощения.

**Сухое вещество растений** - весь комплекс органических и минеральных веществ.

**Удобрения** - это вещества, применяемые для улучшения питания растений, повышения их урожаев, улучшения свойств почвы и повышения ее плодородия.

**Физическая поглотительная способность** - это положительная или отрицательная адсорбция частицами почвы целых молекул различных веществ.

**Фосфорилирование и дефосфорилирование** - присоединение фосфорной кислоты к молекулам углеводов или ее отщепление при углеводном обмене в растениях.

**Фосфориты** - осадочные породы, морского происхождения, образовавшиеся при минерализации скелетов живых существ, населявших Землю в отдаленные геологические эпохи и при осаждении фосфорной кислоты кальцием из воды.

**Фульвокислоты** - гумусовые вещества желтой или красноватой окраски, которые остаются в растворе после подкисления щелочной вытяжки из почвы и выпадения в осадок гуминовых кислот.

**Химическая поглотительная способность** - это способность почвы удерживать некоторые ионы путем образования в результате химических реакций между отдельными солями нерастворимых или труднорастворимых в воде соединений.

**Химический состав растений** - это содержание в них органических и минеральных веществ, а также отдельных химических элементов.

**Экономическая эффективность удобрений** - условно чистый доход с 1 га, окупаемость затрат, связанных с применением удобрений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ним – чудо-дерево XXI века для растений и человека – журнал АПК Эксперт. Растениеводство. NS-9/16, 2022 – с. 18-21).
2. Филиппова А., Капучино с гороховой пенкой // Эксперт. 2022. № 27. С. 26.
3. <http://pbfoods.ru/press-center#smi>.
4. Журнал «Агроинвестор», январь, 2022.
5. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Коноваленко Л.Ю. Современные технологии производства пестицидов и агрохимикатов биологического происхождения // Москва, РосИнформАгроТех, 2018. – С. 124.
6. Восстанавливать плодородие почв и решать другие важные задачи помогает биомето. Опыт АПК «Кубаньхлеб». URL: <https://soz.bio/peredovoe-predpriyatie-vosstanavliva/>.
7. Nitrogen transformations in modern agriculture and the role of biological nitrification inhibition/ Devrim Coskun, Dev T/ Britto, Weiming Shi and Herbert J. Kronzucker / review article № 17074 of 6 June 2017, vol. 3.
8. [http://omskregion.info/news/107972-omich\\_predstavil\\_tehnologiyu\\_proizvodstva\\_bioplast/](http://omskregion.info/news/107972-omich_predstavil_tehnologiyu_proizvodstva_bioplast/).
9. Журнал «Агроинвестор», январь, 2022.
10. Медведева А., Итоги Форума «Тепличная отрасль России - 2022», URL:<https://www.agroxxi.ru/anonsy/itogi-foruma-teplichnaja-otrasl-rossii-2022.html>.
11. Коммерсантъ, 31 марта 2022 г., URL: <https://kommersant.ru.turbopages.org/kommersant.ru/s/doc/5282787>.
12. Сибур предложил создать пилотный проект по вторичной переработке пластика в Татарстане», ИАЦ «Рупек», 28.02.2022 г., URL: <https://rupes.ru/news/48665>.
13. Правительство распространило меры господдержки аграриев на производителей биополимеров, 24 марта 2021 года, URL: <http://government.ru/news/41799/#41799=3:41:gyW,4:3:kgJ>.

14. Праздничных А., ESG-трансформация: как она будет происходить в агропромышленном комплексе? Консалтинговая компания Strategy Partners, URS:<https://sber.pro/publication/esg-transformatsiia-kak-ona-budet-proiskhodit-v-agropromyshlennom-komplekse>.

15. Государственные «зеленые» закупки: опыт правового регулирования и предложения по внедрению в России – М. 2020 - С. 64.

16. Руководство по внедрению Устойчивых государственных закупок, ЮНЕП, 2012.

17. Сметанина Т.П., Агапова Е.В. Экологизация закупочной деятельности. – Москва, Планета, 2020 – С. 112.

18. Сборник Цифровая трансформация сельского хозяйства Министерство сельского хозяйства – ФГБНУ РосИнформ АгроТех, 2019. - С. 80.

19. Сборник «Инновационное развитие аграрного сектора экономики России в условиях АЭС» - Министерство сельского хозяйства РФ – ФГБНЦ РосИнформАгроТех – 2019 – С. 176.

20. Четвертый двухгодичный доклад Российской Федерации. Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Москва, 2019.

21. Хомяков Д., ESG В АПК. Социальная ответственность: тренд или хайп?. МГУ им. М.В. Ломоносова, Агроинвестор, март 2021, URL:<https://www.agroinvestor.ru/opinion/article/37717-esg-v-apk-sotsialnaya-otvetstvennost-trend-ili-khayp/>.

22. [https://www.vedomosti.ru/ecology/protection\\_nature/articles/2022/07/11/930838-mirovaya-zavisimost-ot-udobrenii-problema-dlya-borbi-izmeneniem-klimata](https://www.vedomosti.ru/ecology/protection_nature/articles/2022/07/11/930838-mirovaya-zavisimost-ot-udobrenii-problema-dlya-borbi-izmeneniem-klimata).

23. Агроинвестор, Путь к углеродной нейтральности. Какую роль будет играть сельское хозяйство в декарбонизации экономики, № 2, 2022.

24. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России / А.Ю. Иванов, Н.Д. Дурманов, М.П. Орлов, К.В. Пиксендеев, Ю.Е. Ровнов, П.О.

Лукша, И.А. Макаров, А.В. Птичников, И.А. Степанов, М.М. Харченко, Г.М. Чертков; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». - М.:, Изд. дом Высшей школы экономики, 2021, 120 с.

25. Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р.

26. Коммерсант, Преступное расточительство, 2022, URL:<https://www.kommersant.ru/doc/5413101>.

27. Национальный доклад «О кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2019 гг.» Часть 1, М.: 2021 – С. 10.

28. Столбовой В.С., Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата, Достижения науки и техники АПК, 2020, № 7, С. 24.

29. Anastas P.T., Warner J.C. Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, New York, 1998, p. 30.

30. Хомяков Д., ESG В АПК. Социальная ответственность: тренд или хайп?. МГУ им. М.В. Ломоносова, Агроинвестор, март 2021, URL:<https://www.agroinvestor.ru/opinion/article/37717-esg-v-apk-sotsialnaya-otvetstvennost-trend-ili-khayp/>.

31. Прокопович О.А., Калачева А.Г., Торшин И.Ю., Громова О.А., Адамян Л.В., Грачева О.Н., Перспективы использования растворимых органических форм магния, 2017, URL:<https://remedium.ru/doctor/gynaecology/perspektivy-ispolzovaniya-rastvorimyh-organicheskikh-form-magniya/>.

32. URL:<https://www.agroinvestor.ru/markets/article/33171-the-green-one-dlya-rossiyskoy-agroproduksii-prodovolstvie-s-uluchshennymi-ekologicheskimi-kharakter/>.

33. URL: <https://roskachestvo.gov.ru/news/s-1-go-iyunya-vstupayut-v-silu-izmeneniya-osnovnogo-standarta-po-organike/>.

34. Edmeades D.C. (2004): Nitrification and Urease Inhibitors – A Review of the National and International Literature on their Effects on Nitrate Leaching, Greenhouse Gas Emissions and Ammonia Volatilisation from Temperate Legume-Based Pastoral Systems. Environment Waikato Technical Report 2004/22.

35. Bremner J.M. and Douglas, L.A. (1973): Effects of some urease inhibitors on urease hydrolysis in soils. Soil Science Society America Proceedings 37, pp. 225-226.

36. Watson C.J. and Miller, H. (1996): Short-term effects of urea amended with the urease inhibitor N-(n-butyl)- thiophosphoric triamide on perennial ryegrass // Plant and Soil 184, p.33-45.

37. Trenkel M.E., Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture. Second edition, IFA, Paris, France, October 2010.

38. Byrnes B.H., Vilsmeier, K., Austin, E. and Amberger, A. (1989b): Degradation of the Urease Inhibitor Phenyl Phosphorodiamidate in Solutions and Floodwaters. Journal of Agricultural and Food Chemistry 37.

39. Watson C.J., Poland, P. and Allen, M.D.B. (1998): The efficacy of repeated applications of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide for improving the efficiency of urea fertiliser utilisations on temperate grassland. Grass and Forage Science 53, 137-145.

40. Gardner D. Editor (1995): Fertilizer Additive Stops Nitrogen Loss. Ag Retailer, Nov. 1995. Marking, S. (1995): No Need to Sweat Urea Losses Anymore. Urease inhibitor delays nitrogen volatilization. Soybean Digest, Nov. 1995.

41. Phongpan S., Freney, J.R., Keerthisinghe, D.G. and Chaiwanakupt, P. (1995): Use of phenylphosphorodiamidate and N-(n-butyl)-thiophosphoric triamide to reduce ammonia loss and increase grain yield following application of urea to flooded rice. Fertilizer Research 41(1), 59-66.

42. Gardner D. Editor (1995): Fertilizer Additive Stops Nitrogen Loss. Ag Retailer, Nov. 1995.

43. Абрамов А.А., Флотация. Реагенты – собиратели – Собрание сочинений, т.7. М.: Горная книга – 2012 – 656 с.

44. Linzmeier W., Schmidhalter, U. and Gutser, R. (1999): Wirkung von DMPP auf Nitrifikation und N-Versuste (Nitrat, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O) von Düngerstickstoff im Vergleich zu DCD. (German). VDLUFA-Schriftenreihe, 52, 485-488.

45. Wissemeyer A. and Weigelt, W. (1999): Nitrat und Ammonium im Boden bei Einsatz von DMPP zu mineralischen und organischen Düngern. (German) In: Düngen mit einer neuen Technologie, 21-27. BASF Aktiengesellschaft, Agrarzentrum Limburgerhof.

46. Frye W. W., Graetz, D.A., Locascio, S.J., Reeves, D.W. and Touchton, J.T. (1989): Dicyandiamide as a nitrification inhibitor in crop production in the South-eastern USA. Communications in Soil Science and Plant Analysis 20, 1969-1999.

47. Frye W.W. (2005): Nitrification inhibition for nitrogen efficiency and environment protection. IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.

48. (Gutser, R. (1999a): Langzeitwirkung nitrifikationsgehemmter Stickstoffdünger im Lysimeterversuch (1982-1998). (German) VDLUFA Schriftenreihe 52, 465-468.

49. Trenkel M.E., Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture, International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France, 2010, 160 p.

50. Муравин Э.А., Ингибиторы нитрификации. Москва, Агропромиздат, 1989. 247 с.

50.1. <https://agriculture.basf.com/global/en/business-areas/crop-protection-and-seeds/use-areas/soil-management/limus.html>

50.2. <https://lang-rus.topview-engineering.com/new-urease-inhibiting-formulation-decreases-ammonia-volatilization-382301>

50.3. <https://www.basf.com/ru/ru/media/news-releases/2016/06/1467210647277.html>

50.4. <https://cdn.phosagro.ru/upload/iblock/32b/32b984773aa990686a44ff1842407c64.pdf>

51. International standart Fertilizers and soil conditioners — Solid urea aldehyde slow release fertilizer — General requirements. Reference number ISO 19670:2017(E), First edition 2017-03.

52. Система инновационных полимерных удобрений «Робелл Технолоджи», ЗАО «Робелл Технолоджи СПб, г. Санкт-Петербург, 2018.

53. Pasda G., Nähnadel, R. and Zerulla, W. (2001b): Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biology and Fertility of Soils* 34, 85-97.

54. Wissemeier A., Personal communication. BASF Agricultural Center Limburgerhof, Germany, 2008.

55. Сборник «Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфорирование, гипсование). Научно-методические рекомендации» - министерство сельского хозяйства – М. ФГБНЦ РосИнформАгроТех. 2021 – С. 116.

56. Шеуджен А.Х. Использование фосфогипса нейтрализованного на посевах риса в качестве поликомпонентного удобрения / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева // Научный журнал КубГАУ, 2015. – № 113 (09).

57. Белюченко И.С. Экологические особенности фосфогипса и целесообразность его использования в сельском хозяйстве / И.С. Белюченко, Е.П. Добрыдnev, Е.И. Муравьев // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. II Всероссийская научно-практическая конференция. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – С. 13-22.

58. Добрыдnev Е.П. Использование нейтрализованного фосфогипса в качестве минерального грунта-рекультиванта в промышленных масштабах на примере ООО «ЕвроХим-БМУ» / Е.П. Добрыдnev // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного

производства. I Всероссийская научно-практическая конференция. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – С. 14-19.

59. Муравьев Е.И. Физические свойства фосфогипса и его смесей / Е.И. Муравьев, Е.П. Добрыднев // Экологический вестник Северного Кавказа, 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 18-23.

60. Кремзин Н.М. Удобрение и химическая мелиорация солонцовых почв Кубани, используемых под рис: Автореф. дис. канд. с.-х. н / Н.М. Кремзин. – М., 1990. – 23 с.

61. Электронный ресурс – <http://www.dzmu.dp.ua/fosfogips.php>.

62. Sleiman M. Effect of Phosphogypsum As a Waste Material in Soil Stabilization of Pavement Layers / M. Sleiman, Al-Zaidyeen, Arabi N. S. Al Qadi. – Jordan Journal of Civil Engineering, 2015. – Vol. 9. – № 1.

63. Degirmenci Nurhayat. Application of phosphogypsum in soil stabilization / Degirmenci Nurhayat, Arzu Okucu, Ayse Turabi. – Building and Environment, 2007. – Vol. 42. – Is. 9. – P. 3393-3398.

64. Yu Q. Discussion about pretreatment and resource recovery of phosphogypsum / Q. Yu, P. Ning, Y. Yang. – Acta Agriculturae Jiangxi, 2008. – № 20(2). – P. 109-111.

65. Аристархов А.Н. Агрохимия серы / А.Н. Аристархов. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с.

66. Калиниченко В.П. Регулирование гидрологического режима при мелиорации пространственно-неоднородных структур почвенного покрова степной и сухостепной зон юго-востока ЕТС: Автореферат дисс. ...д.б.н. / В.П. Калиниченко. – М: МГУ, 1990.

67. Li D. Treatment technology of Industrial solid waste / D. Li, J. Chang. – China Petrochemical Press, Beijing, 2013.

68. Wang J. Characteristics of phosphogypsum and its application in agriculture / J. Wang, S. Zhang. – Phosphate and Compound Fertilizer, 1997. – Vol. 3. – P.67-71.

69. Байбеков Р.Ф. Научно-практические рекомендации по применению

фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения / Р.Ф. Байбеков, М.А. Шильников, Н.И. Аканова, Е.П. Добрыднев и др. – М.: ВНИИА, 2012. – 55 с.

70. Шеуджен А.Х. Использование фосфогипса нейтрализованного на посевах риса в качестве поликомпонентного удобрения / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева // Научный журнал КубГАУ, 2015. – № 113 (09).

71. Шеуджен А.Х. Агроэкологическая эффективность фосфогипса на посевах кукурузы и сои в условиях Северо-Западного Кавказа на черноземе выщелоченном / А.Х. Шеуджен, Л.М. Онищенко, Е.П. Добрыднев, М.Ю. Локтионов // Плодородие, 2013. – № 1. – С. 16-20.

72. Терещенко Е.В. Возможность использования фосфогипса в качестве серосодержащего удобрения // Е.В. Терещенко, Л.С. Новопольцева // В сб. науч. тр. «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». – Краснодар, 2010. – С. 206-208.

73. Сдобников С.С. Пахать или не пахать? (новое в обработке и удобрении полей) / С.С. Сдобников. – М., 1994. – 286 с.

74. Калиниченко В.П. Способ синтеза вещества внутри тонкодисперсной системы / В.П. Калиниченко, В.Б. Ильин, А.П. Ендовицкий, В.В. Черненко. – Патент на изобретение RU №2476055 С2. МПК Кл. А01С 23/00 (2006.01). Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 27 февраля 2013 г. Опубликовано 27.02.2013. Бюл. № 6. 6 с.: 2 ил.

75. Белюченко И.С. Применение сложных компостов для повышения плодородия почв / И.С. Белюченко // Экологический вестник Северного Кавказа, 2016. – № 1. – С. 55-69.

76. Мельник О.А. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность кукурузы / Мельник О.А. // В сб. науч. тр. «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». – Краснодар, 2009. – С. 226-229.

77. Мельник О.А. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность кукурузы / Мельник О.А. // В сб. науч. тр. «Проблемы рекультивации

отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». – Краснодар, 2009. – С. 226-229.

78. Мельник О.А. Изменение агрохимических свойств чернозема обыкновенного при использовании сложного компоста в условиях степной зоны Краснодарского края / Мельник О.А. // В сб. науч. тр. «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». IV Международная научная экологическая конференция. – Краснодар, 2015. – С. 762-769.

79. Пономарева Ю.В. Влияние фосфогипса на свойства почвы и прорастание семян озимой пшеницы / Ю.В. Пономарева, И.С. Белюченко // Экологические проблемы Кубани. – 2005. – № 27. – С. 184-192.].

80. Xie C. Pretreatment and utilization of phosphogypsum / C. Xie, H. Gao, F. Zhu // Yunnan Chemical Technology. – 2006. – Vol. 2. – P. 64-67.].

81. Zhang Y. Study on applying phosphogypsum for increasing Nfertilizer efficiency / Y. Zhang, W. Zhu, G. Su et al. // Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1999. – № 5 (2). – P. 144-149.

82. Калиниченко В.П. Эффективное использование фосфогипса в земледелии / В.П. Калиниченко // Вестник питания растений Международного Института питания растений (IPNI). – 2017. – № 1.

83. Шеуджен А.Х. Использование фосфогипса нейтрализованного на посевах риса в качестве поликомпонентного удобрения / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева // Научный журнал КубГАУ, 2015. – № 113 (09).

84. Tang Z. Runoff and inter-rill erosion in sodic soils treated with dry PAM and phosphogypsum / Z. Tang, T. Lei, J. Yu et al. // Soil Science Society of America Journal, 2006. – № 70 (3/4). – P. 679-690.

85. Колесников С.И. Изучение возможности использования мочевины и фосфогипса в качестве мелиорантов нефтезагрязненных почв в модельном опыте / С.И. Колесников, Д.К. Азнаурьян, К.Ш. Казеев, Т.В. Денисова // Агрохимия, 2011. – № 9. – С. 77-81.

86. Wang C., Cui Y., Guo T., Li L. (2010) Application of phosphogypsum in agriculture and its safety evaluation. *Chinese Journal of Soil Science* 41(2):408-412.
87. Wang J., Zhang S. (1997) Characteristics of phosphogypsum and its application in agriculture. *Phosphate and Compound Fertilizer* (3):67-71.
88. Ritika B, Uptal D. Bio-fertilizer a way towards organic agriculture//*A Review Academic Journals – 2014 - 8, №24.* – p. 2332–2342.
89. Schaaf T.A. Orth, L. Hermann. Cadmium removal technology. *Fertilizer International*, 487, November – December 2018.
90. Cichy B., H. Jaroszek, A. Paszek. Cadmium in phosphate fertilizers; ecological and economic aspects. *Chemik*, 2014, 68(10), 840 – 842.
91. OECD Proceedings. Fertilizers as a source of cadmium, pp 45 – 47
92. Corami A., S. Mignardi, V. Ferrini. Removal of Lead, Copper, Zinc and Cadmium from Water Using Phosphate Rock. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(6), 1223 – 1228.
93. Всемирная организация здравоохранения. Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. [Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.], 2017 г.
94. Cadmium in phosphate rock and fertilizers: removal technologies. Willem Schipper Consulting, December 2016.
95. IFA: Sustainable Management and Uses of Phosphogypsum” Handbook – 2015.
96. International Atomic Energy Agency. Радиационная защита и управление отходами NORM в фосфатной промышленности. *Safety Reports Series No 78*, IAEA, Vienna (2013).
97. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of The Council laying down rules on the making available on the market of CE marked fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009

98. Cichy B., H. Jaroszek, A. Paszek. Cadmium in phosphate fertilizers; ecological and economic aspects. *Chemik*, 2014, 68(10), p. 840 – 842.
99. OECD Proceedings. Fertilizers as a source of cadmium, p. 45–47.
100. OECD Proceedings. Cadmium Removal from PhosAcid, R.M. Vermeul (Hydro Agri Rotterdam), p. 31–40.
101. Всемирная организация здравоохранения. Руководство по обеспечению качества питьевой воды: 4-е изд. [Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.], 2017.
102. Lin I. J., Schorr M.. A challenge for the phosphate industry: Cd removal. *Phosphorus & potassium* No 208, March – April 1997, p. 27 – 32.
103. OECD Proceedings. Fertilizer as a Source of Cadmium. The Importance of the phosphate Sector to the Economy of Senegal: Experience of ICS in the Reduction of the Cadmium Content in Phosphoric Acid. – pp. 56 – 69.
104. Nazari K., Ghadiri A., Babaie H.. Elimination of cadmium from wet process phosphoric acid with Alamine 336. *Minerals Engineering*, 2005, 18. P. 1233 – 1238.
105. Sigel A., Sigel H., Siegel R.K.O. Cadmium: from Toxicity to Essentiality. Springer Science, 2013.
106. Limin Chuan. Use of Phosphogypsum in Agriculture in China. IFA, 2016.
107. IFA: Sustainable Management and Uses of Phosphogypsum” Handbook. 2015.
108. Cadmium in phosphate rock and fertilizers: removal technologies. Willem Schipper Consulting, December 2016.
109. Кузьмич М. А., Кузьмич Л. С., Купреев Е. М., Проблемы оптимизации кислой реакции почвенной среды в современных условиях. Московский НИИСХ «Немчиновка», - М.: 2017. 188 С.
110. Купреев Е.М. Изучить влияние комплексного применения минеральных и известковых удобрений на продуктивность качества зерна

сортов селекции НИИСХ ЦРНЗ Амир, Лада, МИС и озимой пшеницы Московская 56. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук.

111. Носов В.В. Эффективность использования жидких комплексных удобрений, содержащих полифосфаты аммония. Вестник питания растений, 2016, №1 – С. 12-17.

112. Моквинцев А.Ю., Гузенко А.Ю. Применение ЖКУ марки 11:37 при возделывании подсолнечника на южном черноземе Волгоградской области. Вестник питания растений. 2018. № 3. С. 5-7.

113. Аристархов А. Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах /Под ред. В.Г.Минеева. М: ЦИНАО. 2000. 524 с.

114. Безуглов В.Г., Гогмачадзе Г.Д. Применение удобрений в сельском хозяйстве Российской Федерации //АГРОЭКОИНФО.2008. № 2.С. 4.

115. Курганова Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области. М.: Изд-во МГУ, 2002. 319 с.

116. Либих Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии. М.-Л.: Сельхозгиз, 1936. 395 с.

117. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука. 1985. 263 с.

118. Матыченков В.В. Градация почв по дефициту доступного растениям кремния //Агрохимия. 2007. №7. С. 22-30.

119. Yoshida S. The physiology of silicon in rice // Food Fert. Tech. Centr. Bull. 1975. № 25.; Ma J.F., Takahashi E. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Netherlands: Elsevier, 2002, 281 p.

120. Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах // Ресурсы биосферы. 1975. Вып.1. С.5-33.

121. Bocharnikova E.A., Matichenkov V.V. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant system // *Applied Ecology and Environmental Research*. 2012. V. 10(4). P. 547-560.
122. Матыченков В.В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва–растение / Автореф. дисс. ... докт. биол. н. Пушино, 2008. 34 с.
123. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: Изд-во Ульяновской ГСХА, 2012. 167 с.
124. Williams D.E. and Vlamis J. The effect of silicon on yield and manganese-54 uptake and distribution in the leaves of barley plants grown in culture solutions, *Plant Physiology*, 1957. vol.32, №5, pp.183–193. 404–409.
125. United States Environment protection Agency (US EPA). National Primary Drinking Water Regulations EPA 816-F-09-004, 2009.
126. Shi Q., Bao Z., Zhu Z., He Y., Qian Q., and Yu J., Silicon-mediated alleviation of Mn toxicity in *Cucumbers sativus* in relation to activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase, *Phytochemistry*, 2005. vol. 66, №13. P. 1551–1559.
127. Hodson M. J., White P. J., Mead A., and Broadley M. R., Phylogenetic variation in the silicon composition of plants, *Annals of Botany*, 2005. vol. 96. №6 P. 1027–1046.
128. Galvez L., Clark R.B., Gourley L.M., and Maranville J.W., Effects of silicon on mineral composition of sorghum grown with excess manganese, *Journal of Plant Nutrition*, 1989. vol. 12. №5. P. 547–561.
129. Doncheva S., Poschenrieder C., Stoyanova Z., Georgieva K., Velichkova M., and Barcelo J., Silicon amelioration of manganese toxicity in Mn-sensitive and Mn-tolerant maize varieties, *Environmental and Experimental Botany*, 2009. vol. 65, №2-3. P. 189–197.
130. Maksimovic J. D., Bogdanovic, J. Maksimovic V., and Nikolic M., Silicon modulates the metabolism and utilization of phenolic compounds in

cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown at excess manganese, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2007. vol. 170. №6. P. 739–744.

131. Shi Q. and Zhu Z., Effects of exogenous salicylic acid on manganese toxicity, element contents and antioxidative system in cucumber, *Environmental and Experimental Botany*, 2008. vol. 63, №1–3. P. 317–326.

132. Chen H.M., Zheng C.R., Tu C., and Shen Z.G., Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals, *Chemosphere*, 2000. vol. 41, №1-2, P. 229–234.

133. Shi X., Zhang C., Wang H., and Zhang F., Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings, *Plant and Soil*, 2005. vol.272, № 1-2. P. 53–60.

134. Liang Y., Wong J.W.C., and Wei L., Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil, *Chemosphere*, 2005. vol. 58, № 4, P. 475–483.

135. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А. Использование некоторых отходов металлургической промышленности для улучшения фосфорного питания и повышения засухоустойчивости растений // *Агрохимия*. 2003. № 5. С. 50-56.

136. Гладкова К.Ф. Роль кремния в фосфатном питании растений // *Агрохимия*. 1982. № 2. С. 133-144.

137. O'Relly S.E., Sims J.T. Phosphorus adsorption and desorption in a sandy soil amended with high rates of coal fly ash // *Com. Soil Sci. & Plant Anal.* 1995. V. 26. № 17-18. P. 2983-2993.

138. Chimney M. J. et al. Minimizing phosphorus release from newly flooded organic soils amended with calcium silicate slag: a pilot study // *Wetlands Ecology and Management*. 2007. T. 15. №. 5. P. 385-390.

139. Matichenkov V. V., Bocharnikova E. A. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties // *Silicon in Agriculture* / Eds. L.E. Datnoff, G.H. Snyder, G.H. Korndorfer. Amsterdam: Elsevier, 2001. P. 209-219.

140. Su Y. H., McGrath S. P., Zhao F. J. Rice is more efficient in arsenite uptake and translocation than wheat and barley // *Plant & Soil*. 2010. V. 328. № 1-2. P. 27-34.
141. Chimney M. J. et al. Minimizing phosphorus release from newly flooded organic soils amended with calcium silicate slag: a pilot study // *Wetlands Ecology and Management*. 2007. T. 15. №. 5. P. 385-390.
142. Ma J.F., Takahashi E. *Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan*. Netherlands: Elsevier, 2002, 281 p.
143. Guo B., Lou Y., Liang Y., Zhang J., Hua H., Xi Y. Effects of nitrogen and silicon applications on the growth and yield of rice and soil fertility // *Chinese J. of Ecology*. 2004. V. 6. P. 33-36.
144. Yang X. J., Zhu C. Y., Du Y. X., Ruan H. C., Guan R. F., Chen F. R. Effects of nitrogen, potassium and silicon fertilizer on growth and resistance of rice seedlings against *Magnaporthe grisea* (rice blast disease) // *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 1, 002, 2008. P. 2-8.
145. Пашкевич Е.Б., Кирюшин Е.П. Роль кремний в питании растений и защита сельскохозяйственных культур от фитопатогенов // *Проблемы агрохимии и экологии*, 2008, № 2, С. 52-57.
146. Werner D., Roth R. Silicon metabolism // *Inorganic Plant Nutrition* / Eds. A. Lauch, R.L. Bielsky. N.Y.: Springer-Verlag, 1983. V. 15b. P. 682-694.
147. Игнатъев Н.Н., Гречин П.И., Кобяков А.А. Влияние вулканических пород на поглощение кислорода тепличным грунтом и корнями огурца // *Изв. ТСХА*. 1994 а. Вып. 3. С. 92-99.
148. Игнатъев Н.Н., Гречин П.И., Кобяков А.А. Влияние осадочных пород на поглощение кислорода тепличным грунтом и корнями огурца // *Изв. ТСХА*. 1994, Вып. 4. С. 76-83.
149. Tokunaga Y. Potassium silicate: A slow release potassium fertilizer // *Fert. Res*. 1991. V. 30. P. 55-59.

150. Матыченков И.В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва-растение / Диссертация ... канд. биол. н. МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, 2014. С.22.

151. Сафроновская Г., Регуляторы роста растений: грамотное вмешательство в природный процесс, ГлавАгроном, URL: <https://glavagronom.ru/articles/regulatory-rosta-rasteniy-gramotnoe-vmeshatelstvo-v-prirodnyy-process>.

152. Magda Pál, Gabriella Szalai, Tibor Janda. Speculation: Polyamines are important in abiotic stress signaling, Plant Science, Volume 237, August 2015, P. 16-23.

153. Dandan Chen, Qingsong Shao, Lianghong Yin, Adnan Younis and Bingsong Zheng. Polyamine Function in Plants: Metabolism, Regulation on Development, and Roles in Abiotic Stress Responses. Frontiers in Plant Science, 10 January 2019. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01945>.

154. Петросян В.С., Шувалова Е.А., Проблемы экологической безопасности и пути их решения в странах ЕАЭС, Экологический Вестника Евразии, М.: ИГ «ГЭОТАР-Медиа», № 1, 2022, С. 44.

155. Лукин С.В. Производство экологически безопасной сельскохозяйственной продукции / С.В. Лукин // АПК: Экономика, управление. 2007. № 5. – С. 27-29.

156. Давыдова С. Л. Земельные ресурсы и проблемы экологии / С. Л. Давыдова, Л. Боров // Экология. – 2010. – № 5. – С. 1-5.

157. Фокина В.Д., Покровская С.Ф. Влияние загрязнения окружающей среды на сельскохозяйственных и диких животных. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1981. – 46 с.

158. Ильязов Р.Г., Шакиров Ф.Х., Пристер Б.С. Адаптация агроэкоферы к условиям техногенеза / под ред. Р.Г. Ильязова. – Казань: Фэн, 2006. 664 с.

159. Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами М.: 2012, С.135.

160. Черных Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжёлыми металлами / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. - М.: Агроконсалт, 1999. – 176 с.
161. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Si, Mo, B) в южной части Западной Сибири / В.Б. Ильин. В.Б Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1973. 392 с.
162. Коротченко И.С., Деконтаминация почв, загрязненных тяжелыми металлами, Природообустройство, № 4, 2015, С. 22-23.
163. URL:<https://newizv.ru/news/economy/24-05-2022/za-10-let-v-evropeyskih-v-ovoschah-i-fruktah-rezko-vyroslo-kolichestvo-pestitsidov>
164. Мельников Н.Н. Пестициды в окружающей среде // Успехи химии, 1992, том 61, вып. 10, с. 1932–1966.
165. Эйхлер В.Д., Яды в нашей пище, М., Мир, 1993, 189 с.
166. Международный кодекс поведения в области управления использованием пестицидов. – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций, Всемирная организация здравоохранения – Рим, 2014. 52 с.
167. Руководство и практические рекомендации. Предотвращение загрязнения при производстве продукции для защиты растений (4-е издание) – Ассоциация Crop Life International 2019. 168 с.
168. Hutton, M. Human Health Concerns of Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic: In Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic in the Environment / M. Hutton; Eds. T.C. Hutchinson, K.M. Meema. - New York: John Wiley and Sons Ltd, 1987. - P.53-68.
169. Фрумин Г.Т. Экологическая токсикология (экотоксикология). Российский государственный гидрометеорологический университет. – Санкт-Петербург, 2013. 179 с.
170. Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В. Б. Ильин, А. И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 226 с.

171. Методические указания ..., 1992; Виноградов А.П., 1957.
172. Добровольский Г.В. Охрана почв / Г. В. Добровольский, Л. А. Гришина. – Москва: Изд-во МГУ, 1985.
173. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебник для студентов высших учебных заведений / В. В. Добровольский. – Москва: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
174. Овчаренко М.М., Бабкин В.В., Кирпичников Н.А. Факторы почвенного плодородия и загрязнение продукции тяжелыми металлами //Агрохимический вестник. 1998. №3. С.31-34.
175. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.).
176. Москалев Ю.И. Минеральный обмен / Ю.И. Москалев. – М.: Медицина, 1985. – 287 с.
177. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова. – М.: Медицина, 1991. 496 с.
178. Овчаренко М.М., Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение, диссер. докт. с-х наук, 2000, 272 с.
179. Минеев В.Г. Тяжелые металлы и окружающая среда в условиях современной интенсивной химизации. Сообщение 1. Кадмий / В.Г. Минеев, А.И. Макарова, Т.А. Тришина // Агрохимия. 1981. № 5. С. 146-155.
180. Бингам Ф.Т. Токсичность металла в сельскохозяйственных культурах / Ф.Т. Бингам, Ф.Д. Перья, У.М. Джерелл // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. – М.: Мир, 1993. – С. 101-130.
181. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
182. Минеев В.Г. Тяжелые металлы и окружающая среда в условиях современной интенсивной химизации. Сообщение 1. Кадмий / В.Г. Минеев, А.И. Макарова, Т.А. Тришина // Агрохимия. 1981. № 5. С.146-155.

183. Реуце К. Борьба с загрязнением почвы / К. Реуце, С. Кырстя. – М.: Агропромиздат, 1986. – 221 с.;
184. Павлова Н.Н. Некоторые показатели биологической активности почвенных микроорганизмов как индикаторы антропогенного загрязнения почв тяжелыми металлами и радионуклидами / Н.Н. Павлова, Е.И. Егорова // Современные проблемы загрязнения почв. – М., 2007. – Т. 2. – С. 146-148.
185. Сперанская О., Обзор проблемы загрязнения кадмием, свинцом и ртутью окружающей среды в России и Украине, Центр «Эко-Согласие», 2008, с. 8-9.
186. Wen-bin yao, Lei huang, Fei-ping zhao, Zhi-Yang. Effective remediation of cadmium and lead contaminated soils by a novel slow-release phosphate amendment. URL:<https://links.springer.com/article/10.1007/s11771-022-5031-8>.
187. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам: учебное пособие. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 77 с.
188. Mhathre G.N., Chaphekar S. B. Response of young plants to mercury // Water Air Soil Pollut. 1984. Vol. 21. P. 1–8.
189. Лукин С.В., Селюкова С. В. Экологическая оценка содержания ртути и мышьяка в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземных областей России // Агрохимия. 2018. № 8. С. 74–80.
190. Бекузарова С.А., Дулаев Т.А., Датиева И.А., Себетов В.Х. Снижение содержания ртути в агроэкосистемах // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2018. Т. 14. № 4. С.19-22.
191. Селюкова С.В. Экологическая оценка содержания свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроэкосистемах юго-западной части Центрально-Черноземного района России: Дис...канд. биол. наук. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2019. 133 с.

192. Селюкова С.В., Тяжелые металлы в агроценозах, Центр агрохимической службы «Белгородский», Достижения науки и техники АПК. 2020, Т. 34, № 8, С. 85-90.
193. Аконов Э.И., О круговороте тяжелых металлов в биосфере, Биохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976. С. 272-284.
194. Гудериан Р., Загрязнение воздушной среды. М.: 1979. 200 с.
195. Ильин В.Б., Тяжелые металлы в системе почва-растения. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
196. Сатюкова Л.П., Контроль и изучение токсичных элементов в комбикормах с целью раннего выявления элементных токсикозов у птиц // РЖ «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии», 2017, №1.С. 91-96.
197. Епифанова И.Э., Епимахов В.Г., Поступление ртути, свинца и мышьяка с кормами и их накопление в организме крупного рогатого скота и овец // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 3. С. 173-186.
198. Луковникова Л.В., Сидорин Г.И., Аликбаева Л.А., Опасность острых и хронических отравлений органическими соединениями ртути // Профилактическая и клиническая медицина, 2013, № 2, С. 16-19.
199. Andayesh S., Nadiani M. R., Mousavi Z., Shoeibi S. Lead, cadmium, arsenic and mercury in canned tuna fish marketed in Tehran, Iran // Food Additives Contaminants: Part B. 2015. Vol. 8. No. 2. pp. 93-98.
200. Kral T., Blahova J., Sedlackova L., Kalina J., Svobodova Z. // Food Additives & Contaminants: Part B. 2017. Vol. 10. No. 2. pp. 149-154.
201. Бабошкина, С.В. Мышьяк в компонентах окружающей среды Алтая: автореф. дис. канд. биол. наук, Новосибирск, 2005, 23 с.
202. Fendorf S. Temporal changes in soil partitioning and bioaccessibility of arsenic, chromium, and lead / S. Fendorf, M.J. La Force, G. Li // J. Environ. Qual. - 2004. - V.33. - No.6. - P. 2049-2055.
203. Lorenz N. Response of microbial activity and microbial community composition in soils to long-term arsenic and cadmium exposure / N. Lorenz, T.

Hintemann, T. Kramarewa, A. Katayama, T. Yasuta, P. Marschner, E. Kandeler // *Soil Biology and Biochemistry*. - 2006. - V.38. - P.1430-1437.

204. Безуглова О.С. и Околелова А.А. О нормировании содержания мышьяка в почвах. Живые и биокостные системы, 2012.

205. Bergqvist C., Arsenic accumulation in plants for food and phytoremediation: Influence by external factors. Stockholm University, 2013, 52 p.

206. Yao H. Microbial biomass and community structure in a sequence of soils with increasing fertility and changing land use / H. Yao, Z. He, M.J. Wilson, C.D. Campbell // *Microb. Ecol.* - 2000. - V.40. - P.223-237.

207. Bhattacharyya P. Arsenic fractions and enzyme activities in arsenic-contaminated soils by groundwater irrigation in West Bengal / P.Bhattacharyya, S.Tripathy, K.Kim, S.H. Kim // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* - 2008. V.71. P.149-156.

208. Bhattacharyya P. Arsenic fractions and enzyme activities in arsenic-contaminated soils by groundwater irrigation in West Bengal / P.Bhattacharyya, S.Tripathy, K.Kim, S.H. Kim // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* -2008.-V.71 - P.149-156.

209. Prasad P. Evaluation of microbial biomass and activity in different soils exposed to increasing level of arsenic pollution: a laboratory study / P. Prasad, J. George, R.E. Masto, T.K. Rout, L.C. Ram, V.A. Selvi // *Soil and Sediment Contamination*. - 2013. - V.22. - P.483-497.

210. Suvendu D. Effect of arsenic contamination on bacterial and fungal biomass and enzyme activities in tropical arsenic-contaminated soils / D. Suvendu, J. Jiin-Shuh, K. Sandeep, C.Sukalyan // *Biol. Fertil. Soils*. -2013-V.49.- P.757-765.

211. Никитина Д.И. Почвенная микробиология, М.: Колос, 1979. 316 с.

212. Nannipieri P. Soil enzymology: classical and molecular approaches / P. Nannipieri, L. Giagnoni, G. Renella, E. Puglisi, B. Ceccanti, G. Masciandaro, F. Fornasier, M.C. Moscatelli, S. Marinari // *Biol. Fertil. Soils*. 2012. V.48. P.743-762.

213. Агроэкологическая оценка примесей тяжелых металлов и токсических элементов в фосфорных удобрениях и доз кадмия на различных почвах, Сидоренкова Н.К., Автореферат. М.:1999. с.7.

214. Экологические аспекты производства и применения фосфорных удобрений, Ниязбекова В.С., Мальцева И.М., Потатуева Ю.А. и др., Обзорная информация, М.НИИТЭХИМ. 1990. вып. 4(95). С.74.
215. Савич В.И., Парахин Н.В., Сычев В.Г., Степанова Л., Лобков В.Т., Амергужин Х.А., Щербаков А.Ю., Романчик Е.А. Почвенная экология, Орел: Изд-во Орел ГАУ. 2002. 546 с.
216. Naidu R., Smith E., Owens G. et al. Managing arsenic in the environment: From soil to human health. CSIRO Publishing, 2006, 664 p.
217. Regulation C. (2015). Commission Regulation (EU) 2015/1006 of 25 June 2015 amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of inorganic arsenic in foodstuffs. Official Journal of the European Union.
218. Виноградов А.П., Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах, М.: Изд-во АН СССР. 1957. 280 с.
219. Орлов Д.С. Химия почв, М.: Высшая школа, 2005, 558 с.
220. Kabata-Pendias A. Biogeochemia pierwiastków śladowych, PWN. Warszawa. 1999. 398 p.
221. Водяницкий Ю.Н., Хром и мышьяк в почвах (Обзор), Почвоведение. 2009. № 5. С. 551-559.
222. Московкина Л.И. Детоксикация загрязненных мышьяком почв природными сорбентами, их смесями и модификациями, Дис. ... к.с.-х.н., М.: 2012. С. 4.
223. Эколого-агрохимическая оценка состояния пахотных почв России по содержанию в них подвижных форм тяжелых металлов. Аристархов А.Н., Лунев М.И, Павлихина А.В. // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 6. С. 42-47.
224. Содержание тяжелых металлов в почвах Алтайского края и качество сельскохозяйственной продукции, Антонова О.И, Повышение устойчивости АПК Алтайского края: третья регион. науч. практ конф., Барнаул. 2020. С. 95- 96.

225. Фирсова В.П. Сравнительное изучение содержания тяжелых металлов в лесных, луговых и пахотных почвах лесостепного Зауралья, Экология, 1997. № 2. С. 96-101.

226. Середин В.П. Загрязнение почв. Томский государственный университет, 2015 – 346 с.

227. Безуглова О.С., Околелова А.А. О нормировании содержания мышьяка в почвах, Электронное периодическое издание ЭФУ «Живые и биокосные системы». 2012. № 1.

228. Захваткин Ю.А. Основы общей и сельскохозяйственной экологии. Методология, традиции, перспективы. М.: Ленанд, 2022 – 352 с.

229. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия – Москва, Лаборатория знаний, том 4. 2022. 726 с.

230. Приходько Г.В. Эколого-токсикологическая характеристика неорганических и органических соединений мышьяка. Диссертация на соискание ученой степени доктора ветеринарных наук, 1998. 292 с.

231. A review of human carcinogens. Arsenic, metals, fibers, and dusts. IARC Monographs/IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum. 2012; 100 (Pt C): 11–465. PMID: 23189751; PMCID: PMC4781271. ISBN-13:978-9283213208, ISBN-13:978-9283201359.

231.1. Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural uses of plant biostimulants // Plant soil. 2014. №383. P.3.

231.2. Schütz L. Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization - A Global Meta-analysis// Frontiers in Plant Science. 2018. № 8 (2204). p.13.

231.3. Ritika B, Uptal D. Bio-fertilizer a way towards organic agriculture//A Review Academic Journals – 2014 - 8, №24. – p. 2332–2342.

232. New frontiers for supercharged nutrition//Fertilizer International – 2014. – № November/December 463. P. 13-16.

233. Michael James Van Oosten, Pepe O., De Pascale S., Silletti S. and Maggio A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants//Chem. Biol. Technol. Agric. 2017. P.4-5.

234. Чеботарь В. К., Завалин А. А., Ариткин А. Г. Применение биомодифицированных минеральных удобрений. М.: ВНИИА, Ульяновск, УлГУ, 2014.

234.1. Петров В.Б., Чеботарь В.К. Управление деструкций и гумификацией пожнивных остатков зерновых культур с использованием микробиологического препарата Экстрадиол // Сельскохозяйственная биология, 2012. № 3. С.103-108.

234.2. Буклет компании ООО «Бисолби-Интер».

234.3. Yakhin O.I. at al. Biostimulants in plant science: a global perspective//frontiers in plant science. 2017. №7. article 2049.

235. Касьяненко В. Метабактерин – биопрепарат нового поколения уникальная разработка российских учёных // Материалы инжинирингового центра «Промбиотех». 2018 г.

235.1. Анциферов А.В., Филенков В.М. Влияние добавления штамма рода *Vacillus* на параметры работы системы биологической очистки сточных вод. // Вестник СТАСУ. Градостроительство и архитектура. 2011. № 4.

235.2. Использование микроорганизмов для биологической очистки сточных вод// Режим доступа <http://www.valleyflora.ru/127.html>,  
<https://moluch.ru/archive/75/12678/>, <http://www.valleyflora.ru/127.html>,  
<http://www.valleyflora.ru/127.html>, <http://www.valleyflora.ru/127.html>,  
<https://moluch.ru/archive/75/12678/>, <https://moluch.ru/archive/75/12678/>,  
<http://chem21.info/info/793335/>, <http://biofile.ru/bio/9295.html>.  
[http://www.ntpo.com/patents\\_water/water\\_1/water\\_1568.shtml](http://www.ntpo.com/patents_water/water_1/water_1568.shtml),  
<http://www.valleyflora.ru/127.html>, <http://www.valleyflora.ru/127.html>,  
<http://biofile.ru/bio/9295.html>, <http://biofile.ru/bio/9295.html>,  
<http://biofile.ru/bio/9295.html>, <http://biofile.ru/bio/9295.html>,  
<http://biofile.ru/bio/9295.html>, <http://biofile.ru/bio/9295.html>.

236. Moor U., Poldma, P., Tonutare, T., Karp, K., Starast, M. and Vool, E. Effect of phosphite fertilization on growth, yield and fruit composition of strawberries. //Sci. Hortic. 2009. 119. p. 264–269.

237. Урожайность сои вырастет в Белгородской области, URL:<https://bel.ru/news/economy/19-05-2022/urozhaynost-soi-vyrastet-v-belgorodskoy-oblasti/>

238. Кондратьева О., Федоров А., Слинко О., Производство улучшенной сельскохозяйственной продукции – перспективное направление развития АПК, ФГБНУ «Росинформагротех», URL: <http://perfectagro.ru/wp-content/uploads/2022/04/РА-№2-март-апрель.pdf>.

239. Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска. – Авторский коллектив под руководством академика РАН Ю.А.Рахманина – Москва, 2017 г. 68 с.

240. Руководство по комплексной профилактике экологически обусловленных заболеваний на основе оценки риска. – Минздрав РФ, коллектив авторов. – Москва, 2017 г., - 68 с.

241. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. Р 2.1.10-1910-04 – Роспотребнадзор, Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава РФ, авторский коллектив, 2004. 143 с.

242. Оценка безопасности пищевых продуктов. Пищевые отравления. Основные принципы профилактики и расследования пищевых отравлений/Э.Р. Валеева, Н.В. Степанова, С.Ф. Фомина. – Казань, Институт фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета, 2015 – 80 с.

243. Невинная И. Ученые считают, что будущее за обогащенными и специальными продуктами, Российская газета, 2022, URL: <https://rg.ru/2022/06/28/lozhku-za-zdorove.html>

244. Амарант – прошлое, настоящее и будущее. – Журнал Эффективный АПК. Производство и хранение продукции растениеводства. - № 3, май 2022 г. – С. 18-21.

245. Мировые тренды в птицеводстве: борьба с резистентностью и запрет кормовых антибиотиков // Agronews [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fagronews.com%2Fby%2Fru%2Fnews%2Fagrosfera%2F2018-01-23%2Fpticevodstvo-trendy&d=1>.

246. Лавренова В., Экологически чистое животноводство, - URL: <https://www.tsenovik.ru/articles/korma-i-kormovye-dobavki/ekologicheski-chistoe-zhivotnovodstvo/>

247. Marchal L., Dersjant-Li Y., Hardy R.M., Bello A., Кормление бройлеров без добавления неорганического фосфора // Ценовик. Сельскохозяйственное обозрение, №6, 2022 – С. 60-63.

248. Малышев И.Ш., Файзрахманов Р.Н., Камалдинов И.Н. Эффективность кормовых добавок в животноводстве – Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э.Баумана. 2017.

249. Фаритов Т.А. Корма и кормовые добавки для животных Санкт-Петербург, изд-во ЛАНБ, 2010 – 304 с.

250. Анализ состояния и перспективы развития производства комбикормов и кормовых добавок для животноводства // Научный аналитический обзор – Москва, РосИнформАгротех, 2019 – 99 с.

251. Йылдырым Е., Лаптев Ю., Ильина Л., Новикова Н. Ученые нашли замену антибиотикам // Комбикорма, № 11, 2020, С. 73-76.

252. Органические кислоты – альтернатива антибиотикам // Официальный сайт компании «Агроматик» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agro-matik.ru/press/info-spec/organicheskie-kisloty-alternativa-antibiotikam.html>.

253. Рунин В.А., Кистина А.А., Прытков Ю.Н., Панфилова А.С., Помощь пробиотиков, Аграрный институт ФГБОУ ВО «Национальный

исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», *Агробизнес* № 3, 2022, С. 58.

254. Пробиотики как альтернатива антибиотикам в животноводстве // Официальный сайт компании «Биотермаль» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://antibiotest.ru/2017/01/12/probiotiki-kak-alternativa-antibiotikam-v-zhivotnovodstve/>

255. Казаринова Н.В., Музыченко Л.М., Ткаченко К.Г., Шургая А.М., Брежнев В.Н., Усов О.М. Использование эфирных масел для профилактики внутрибольничных инфекций и лечения кандидозов // *Медицинские технологии*. 1995. № 1-2. С. 23.

256. Семенова Е.Ф., Веденева А.С., Жужжалова Т.П. Скрининг антимикробной активности жидких экстрактов стевии Ребо (*Stevia rebaudiana Bertoni*) // *Вестник Воронежского госуниверситета. Серия «Химия. Биология. Фармация»*. 2010. №1. С. 121-126.

257. Ткаченко К.Г., Казаринова Н.В., Музыченко Л.М., Шургая А.М., Павлова О.В., Сафонова Н.Г. Санационные свойства эфирных масел некоторых видов растений // *Растительные ресурсы*. 1999. Т.35, вып.3. С.11-24.

258. Куксаром Спайсмастер (Cухаром Spicemaster) // Официальный сайт компании «Тандем - Индустрия» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tandem-industry.ru/catalog/?id=2233>

259. Джанарсланов Р., Бройлер без антибиотиков — тренд будущего, - URL: <https://www.agroinvestor.ru/column/rizvan-dzhanarсланov/30096-broyler-bez-antibiotikov-trend-budushchego/>

260. Корма и кормовые добавки, Ценовик, *Сельскохозяйственное обозрение*, 2017 URL: <http://www.tsenovik.ru/articles/korma-i-kormovye-dobavki/antibiotiki-v-zhivotnovodstve-zapretit-nelzya-razreshit/>.

261. Карабут Т., The Green One для российской агропродукции Продовольствие с улучшенными экологическими характеристиками будет выпускаться под специальной торговой маркой [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/33171-the-green-one-dlya->

rossiyskoy-agroproduksii-prodovolstvie-s-uluchshennymi-ekologicheskimi-kharakter/

262. Ткачева Т., Лекарство тонкого помола, 2022, URL:<https://rg.ru/2022/06/27/reg-cfo/lekarstvo-tonkogo-pomola.html>.

263. URL: [https:// www.deccanherald.com](https://www.deccanherald.com). // [www.agroxxi.ru](http://www.agroxxi.ru)/mirovy-agronovosti/novyj-zavod-po-proizvodstvu-nano-mocheviny-postrojat-v-indii-za-15-mesjacev.html.

264. ПМЭФ: Сельхозпроизводителям разработают зеленую маркировку, URL: [https://www.vedomosti.ru/ecology/protection\\_nature/articles/2022/06/18/927276-pmef-selhozproizvoditelyam-razrabotayut-zelenuyu-markirovku](https://www.vedomosti.ru/ecology/protection_nature/articles/2022/06/18/927276-pmef-selhozproizvoditelyam-razrabotayut-zelenuyu-markirovku)).

Учебное издание

**Левин Борис Владимирович**

**Трухачев Владимир Иванович**

**Белопухов Сергей Леонидович**

**ЗЕЛЕНЬЙ ЭТАЛОН: НОВАЯ СТРАТЕГИЯ  
АПК РОССИИ**

Учебное пособие