

## Некоторые теоретические и практические аспекты интенсификации производства зерна бобовых культур в Республике Беларусь на современном этапе

### **Введение**

Для эффективной, рентабельной работы животноводческой отрасли требуются сбалансированные по протеину концентрированные и травяные корма с невысокой их себестоимостью. В советский период и после него в Республике Беларусь обеспеченность животноводства кормовым белком собственного производства в сельскохозяйственных предприятиях не превышала 80-85 процентов от его потребности, что отрицательно сказывалось на продуктивности животных и в конечном итоге приводило к перерасходу кормов в расчете на единицу производимой продукции. Установлено, что дефицит одного грамма переваримого протеина в 1 кормовой единице приводит к перерасходу корма от 1 до 2 процентов. Недобор продукции животноводства из-за недостатка белка в кормах составляет 30-35 процентов, а ее себестоимость возрастает в 1,3-1,5 раза.

Наиболее остро стоит проблема обеспечения комбикормовой промышленности и собственных нужд сельскохозяйственных организаций зерном бобовых сельскохозяйственных культур, решить пока не удастся на протяжении многих десятилетий. Проблема производства зерна бобовых в кормопроизводстве наиболее сложная и многогранная, связана с многими аспектами биологического, экономического, организационного, технического и технологического характера производственной деятельности сельскохозяйственных организаций, решить которую возможно только с увязкой между собой основных аспектов производства зерна бобовых культур и устранения

противоречий мешающих расширению их посевных площадей. В этой статье изложена небольшая часть проблем, связанная со структурой посевных площадей, селекцией, питанием и защитой зернобобовых культур.

### **Основная часть**

Стратегией развития сельского хозяйства и сельских регионов Беларуси на 2015-2020 годы[1], разработанной учеными Национальной академии наук Беларуси и руководством Министерства сельского хозяйства Республики Беларусь, предусмотрено в общей посевной площади (*до 350 тыс. га зернобобовых культур*) выращивание люпина – 80 тыс. га; гороха – 180, вики – 65 тыс. га. Около 25 тыс. га будет засеяно соей.

При основной доле (70 %) в структуре посевных площадей зернобобовых полегающих культур (гороха посевного, гороха полевого (*пелюшки*) и вики), высеваемых обычно с поддерживающими зерновыми культурами, можно в лучшем случае (*при соблюдении высокой доли бобового компонента в зерносмеси и достижении запланированной средней урожайности – 30 ц/га*) получить 210 тыс. тонн сырого белка. Следует отметить, что концентрация сырого протеина в зерне полегающих бобовых культур значительно ниже прямостоячих, таких как люпины и соя (табл. 1).

Увеличить площади посевов зернобобовых в чистом виде в 2015 году до 350 тыс. га за счет прямостоячих культур – люпинов, сои и кормовых бобов и получить валовой сбор зерна не менее 1050 тыс. тонн (*средняя урожайность 30 ц/га*) – соответственно сбор сырого белка на уровне 300 тыс. тонн не представляется возможным. Причин, мешающих этому много. Основной причиной, сдерживающей расширение посевов люпинов, является их восприимчивость к различным заболеваниям, а в конце 80-х начале 90-х годов прошлого

столетия появилось новое еще более опасное заболевание этой культуры – антракноз. Антракноз при благоприятных условиях для его развития на посевах желтого люпина может на 90-100 % снизить урожайность зерна. Не удастся даже получить достаточное количество здорового семенного материала.

**Таблица 1. – Масса семян и содержание протеина в зернобобовых и некоторых яровых зерновых (используемых в зерносмесях с бобовыми) культурах**

| Культура               | Масса 1000 семян, г. | Среднее содержание сырого протеина (белка), % |
|------------------------|----------------------|---|
| Кормовые бобы          | 200-500              | 25,0  |
| Горох посевной         | 150-260              | 20,4  |
| Горох полевой, пелюшка | 150-170              | 21,0  |
| Соя                    | 100-250              | 34,0  |
| Люпин желтый           | 125-150              | 32,0  |
| Вика посевная          | 45-86                | 24,1  |
| Яровой ячмень          | 42-50                | 11,0  |
| Овес                   | 28-40                | 10,5  |
| Яровое тритикале       | 40-50                | 11,0  |

Примечание: таблица составлена на основе данных [2]

Второй прямостоячей, с высокой концентрацией сырого белка зернобобовой и технической культурой является соя. В Республике Беларусь эта культура только начала возделываться. Специалисты ООО «Соя-Север Ко.» при Институте генетики и цитологии НАН Беларуси создали сорта с потенциальной урожайностью 25-30 ц/га и разработали агротехнику их возделывания применительно к почвенно-климатическим условиям республики. Посевные площади под этой культурой постепенно расширяются. Так в 2007 году под соей в Беларуси было занято 793 га (выращивалась в 27 хозяйствах республики) и получена средняя урожайность 15,4 ц/га, в 2008 г. ее

возделывали уже 83 сельскохозяйственные организации на общей площади 4374 га. В последние годы площади возделывания сои в республике увеличиваются. Однако выведенные сорта требуют для созревания суммы активных температур 2200-2600<sup>0</sup> С, к тому же соя теплолюбивая, позднего срока сева культура (*оптимальный срок высева – устойчивое прогревание верхнего слоя почвы до 10<sup>0</sup> С*), что обычно соответствует на юге республики периоду с 25 апреля по 10 мая, а в более северных регионах смещается на еще более поздний срок, что ограничивает их возделывание в Витебской и Могилевской областях. Недостаток тепла (*в отдельные годы даже в южной части республики*) является серьезной проблемой семеноводства сои. Семенной материал зачастую не соответствует требованиям, предъявляемым к семенам по такому показателю как всхожесть. В этом направлении учеными ведется кропотливая исследовательская работа. К тому же, для образования потенциального количества активных клубеньков на ее корнях требуется поддерживать почвенную обменную кислотность (рН<sub>KCl</sub>) в пределах 6,5-7,5[2], а это значит необходимо ее возделывать на дерново-подзолистых суглинистых почвах в зерно-свекловичных, прифермских (клевер, люцерна, кукуруза), овоще-кормовых севооборотах (см. таблицу 2.). Оптимальные параметры (рН<sub>KCl</sub>) для других севооборотов даже на суглинистых почвах не соответствуют таковым для сои, а тем более на почвах более легкого гранулометрического состава (супесчаных и песчаных). А между тем в самых теплых регионах республики (Гомельская и Брестская области) основная часть пахотных угодий расположена на легких почвах. Какой предел самой низкой кислотности, при которой происходит образование активных клубеньков на корнях сои в наших почвенно-климатических условиях, какое количество атмосферного азота может ею быть усвоено – ученым еще предстоит выяснить. Для сои максимальная активность

клубеньков наблюдается в температурном диапазоне – 20-30<sup>0</sup> С в сравнении с таковым – 15-25<sup>0</sup> С для других зернобобовых культур нашей зоны. Диапазон температуры почвы в пределах 20-30<sup>0</sup> С возможен только в верхней части пахотного слоя в южной части республики, да и то только на короткое время. Учитывая выше приведенные доводы (пока не появились соответствующие результаты полевых опытов) для получения запланированной урожайности на почвах с (рН<sub>KCl</sub>) ниже 6,5 сою необходимо обеспечивать азотным питанием, как и другие не бобовые культуры за счет применения минеральных и органических удобрений.

Витебская и Могилевская области располагают самым высоким удельным весом суглинистых почв, соответственно 51,5 и 36,4% от площади пашни. Из прямостоячих зернобобовых культур биологически наиболее подходит возделывание в таких условиях кормовых бобов. По сравнению с соей для созревания кормовых бобов достаточно меньшей суммы активных температур в пределах 1800-2300<sup>0</sup> С. Учитывая, что в республике в последнее время наблюдается теплая осень, а кормовые бобы рано высеваемая культура – семена прорастают при температуре 3-4<sup>0</sup> С, а всходы переносят заморозки до 4<sup>0</sup> С, есть все предпосылки для своевременного созревания бобов для кормовых целей и получения биологически качественного семенного материала. В 1982 г. в бывших: колхозах «Ленинский путь», «Красное знамя», «Заветы Ильича», совхозе «Стародворский» Поставского района было получено по 40 ц/га и более зерна кормовых бобов[4]. К сравнению в опытах бывшей Витебской сельскохозяйственной опытной станции в то время в среднем за 4 года получали 39,8 ц/га зерна кормовых бобов, 19,1 – люпина, 20,7 – гороха, 11,6 – вики. А в опытах БелНИИ земледелия (ныне НПЦ по земледелию НАН Беларуси) на торфяно-болотной почве, тогда в экспериментальной базе «Липово»

**Таблица 2 – Оптимальные уровни реакции почв Беларуси (рН<sub>KCl</sub>) [3]**

| Почвы                                 | В среднем | В том числе по типам севооборотов                  |   |   |
|---------------------------------------|-----------|--|---|---|
|                                       |           | со льном, картофелем, люпином, овсом, озимой рожью | зерно-травяно-пропашные с кукурузой, корнеплодами | Зерно-свекловичные, прифермские (клевер, люцерна, кукуруза), овоще-кормовые |
| Дерново-подзолистые:                  |           |  |   |   |
| песчаные                              | 5,3-5,8   | 5,3-5,5  | 5,5-5,8   | 5,5-5,8   |
| супесчаные                            | 5,5-6,2   | 5,5-5,8  | 5,6-6,0   | 5,8-6,2   |
| суглинистые                           | 5,5-6,7   | 5,5-6,0  | 6,1-6,5   | 6,5-6,7   |
| Торфяно-болотные                      | 5,0-5,3   | -  | -   | -   |
| Минеральные почвы сенокосов и пастбищ | 5,8-6,2   | -  | -   | -   |

Калинковичского района было получено семян кормовых бобов в среднем за три года 62 ц/га. Однако, несмотря на более высокую продуктивность по сравнению с другими зернобобовыми культурами, кормовые бобы не получили должного распространения. Одна из причин, препятствующая расширению посевных площадей кормовых бобов кроется в размере и форме семян. С одной стороны, из-за большого размера семян и их массы требуется высокая гектарная норма высева. С другой – из-за продолговатой, не ровной по всей поверхности их формы наблюдалось значительное травмирование и разрушение выращенного урожая семян при уборке, подготовке семенного материала. Зернобобовые культуры с более мелкими размерами, округлой, гладкой поверхностью (*горох, вика, люпины, соя*) в меньшей мере травмируются рабочими частями сельскохозяйственной техники. На сегодняшний день селекция и семеноводство кормовых бобов в Республике Беларусь не ведется.

Установлено, что в условиях РБ однолетние зернобобовые культуры за сезон связывают за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями на гектар от 50 до 100 кг азота атмосферы[3], а при неблагоприятных условиях этот процесс может вообще отсутствовать. Причем смеси зернобобовых с поддерживающими культурами имеют минимальную величину фиксации атмосферного азота. Приведем сравнительную оценку зернобобовых культур по этому признаку. Наибольшей азотфиксирующей способностью обладают люпины. Несколько меньше эта величина у кормовых бобов. Данных о сравнительной фиксации атмосферного азота соей в условиях РБ по отношению к другим зернобобовым культурам еще не накоплено в достаточном объеме. Соя для Беларуси – новая техническая и зернобобовая культура, исследования с ней только начались. Отечественные сорта гороха (посевного и полевого), вики яровой сильно полегают, из-за чего высеваются в смеси с другими

поддерживающими культурами. Эти биологические особенности определяют их более низкую азотфиксирующую способность, особенно вики, требуют внесения не только фосфорно-калийных удобрений, но и небольших доз азота. Последнее объясняется тем, что совместный высев полегающих зернобобовых культур с поддерживающими (овес, ячмень, яровое тритикале), предъявляющих высокие требования к азотному питанию, не может быть удовлетворено за счет азота, накапливаемого в бобово-ризобийном симбиозе. Да к тому же внесение азота минеральных удобрений выше определенной дозы тормозит усвоение атмосферного азота бобовым компонентом. Заострим больше внимания на этом вопросе. И так, для обеспечения растений азотом до начала активного симбиоза вполне достаточно азота, содержащегося в семенах и в почве. И только в редких случаях, когда в почве не имеется минеральных форм азота и высеваются смеси зернобобовых со злаковыми культурами целесообразно внесение небольших доз ( $N_{20-40}$ ) азота минеральных удобрений. Более высокие дозы азотных удобрений (при обеспечении условий для симбиоза) не обеспечивают дополнительного прироста урожая, снижают азотфиксирующую активность растений и приводят к необоснованному росту себестоимости продукции. Внесение азотных удобрений в дозах  $N_{60}$  и более при обеспечении условий для симбиотической азотфиксации снижает абсолютное накопление биологического азота и его долю в азотном балансе практически всех бобовых культур. Однако реакция на такие дозы у различных зернобобовых культур неодинаковая. Так, при внесении  $N_{60}$  уровень усвоения биологического азота снижается у люпина на 40-50 %, у гороха на 25-30 %, у сои на 15-20 %[5]. По данным Б.А. Ягодина с соавторами[6] подавление азотфиксации при внесении азотных удобрений у гороха выражено более отчетливо, чем у кормовых бобов. Микробиологами получены селекционные штаммы



ризобий (клубеньковых бактерий) для сои[7-9] и гороха[10-12], которые активно фиксируют молекулярный азот в присутствии повышенного содержания азота в среде. Их целесообразно использовать на почвах с высоким содержанием азота и в условиях применения высоких доз азотных минеральных удобрений и жидкого навоза. Адаптация этих ризобий к почвенно-климатическим условиям нашей республики, насколько мне известно, не проводилась.

В условиях республики поступление биологического азота в почву за счет деятельности свободноживущих в ней азотфиксаторов может быть весьма значительным. В зависимости от многих факторов, в том числе: регулируемых – обеспеченности макро- и микроэлементами; частично регулируемых – поступления органической массы с корневыми и пожнивными остатками растений, в качестве соломы и других органических удобрений; нерегулируемых – климатических условий, поступления азота в почву могут составить 15-50 и более кг/га[3]. Следует отметить, что культурные растения (в нашем случае зернобобовые) из этого количества азота усваивают только определенную часть. Основная его масса остается в почве, включается в состав гумуса и способствует стабилизации азотного баланса почв. Для увеличения фиксации атмосферного азота бобовые культуры желательно удобрять соломой или другой формой органического вещества так, как растения не могут в процессе своей жизнедеятельности за счет корневых выделений в достаточной мере обеспечить в органическом питательном материале потребности азотфиксаторов. Количество органических выделений корневыми системами относительно маленькое и к тому же в естественных условиях является добычей не только одних азотфиксирующих организмов, но других микроорганизмов (корневые выделения поедаются в основном другими бактериями, которые, к примеру в 100 или 1000 раз больше, чем азотобактер). Без внесения

дополнительного органического вещества связывание атмосферного азота будет минимальным. При достаточном удобрении соломой (более подробная информация о прямом удобрении соломой изложена ниже) и снабжении всеми элементами питания (азотом только по мере необходимости), устраняется конкуренция для микроорганизмов способных к биологической фиксации азота атмосферы. В таких условиях азотфиксация будет определяться в основном нерегулируемыми в полевых условиях факторами – наличием влаги (кроме мелиоративных земель) и тепла. Более подробно остановимся на этих двух нерегулируемых факторах богарного земледелия. В большинстве случаев клубеньки образуются при влажности 40-80 % от полной полевой влагоемкости (ППВ) почвы[13]. Оптимальный интервал влажности для развития клубеньков и азотфиксации лежит в пределах 60-70 % от ППВ[14]. У зернобобовых, выращиваемых в регионах с умеренным климатом, минимальные температуры для образования клубеньков – 7-10<sup>0</sup> С. Оптимум активности нитрогеназы для основных зернобобовых культур колеблется в пределах от 15-25<sup>0</sup> С[2]. Для сои, как уже отмечалось выше, максимальная активность клубеньков наблюдается в более высоком температурном диапазоне – 20-30<sup>0</sup> С[15]. При температурах ниже 10<sup>0</sup> С или выше 30<sup>0</sup> С у основных зернобобовых культур усвоение азота воздуха бактериями практически полностью прекращается[16].

Температура почвы играет большую роль и в процессе связывания молекулярного азота свободноживущими азотфиксаторами, особенно при оптимизации режима увлажнения почвы. Наилучшие условия складываются при температуре 20-25<sup>0</sup> С и влажности не менее 60 % ППВ [17, 18]. В полевых, богарных условиях такое сочетание увлажнения и тепла практически не бывает. Как правило, при высоком количестве выпадающих осадков снижается

температура воздуха, соответственно уменьшается и температура почвы, и наоборот засушливые условия характеризуются высокой температурой (в верхнем слое почвы до уровня 20-30<sup>0</sup> С), но ощущается высокий дефицит влаги.

Следует отметить, что зернобобовые по сравнению с зерновыми более требовательны к влажности почвы, особенно в начальный период развития (табл. 3 и табл. 4). Влажность почвы в период набухания зерна имеет важное практическое значение, поскольку от этого фактора в большой мере зависит их полевая всхожесть.

**Таблица 3 – Основные биологические особенности различных видов яровых сельскохозяйственных культур [19]**

| Культура               | Вид стеблей    | Длина стеблей, см | Отношение культуры к влаге | Отношение культуры к теплу | Температура прорастания семян, °С | Заморозок, который выносят всходы, °С |
|------------------------|----------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Кормовые бобы          | неполегающий   | 50-200            | влаголюбива                | холодостойка               | 3-4                               | -4...-5                               |
| Горох посевной         | полегающий     | -                 | влаголюбива                | холодостойка               | 1-2                               | -5...-6                               |
| Горох полевой, пелюшка | полегающий     | 50-200            | малотребовательна          | нетребовательна            | 1-2                               | -1...-3                               |
| Соя                    | прямой         | 25-150            | требовательна              | требовательна              | 10                                | -2                                    |
| Люпин желтый           | прямоствольный | 50-80             | влаголюбива                | требовательна              | 4-5                               | -2...-3                               |
| Вика посевная          | полегающий     | -                 | требовательна              | нетребовательна            | 2-3                               | -6...-8                               |
| Яровой ячмень          | прямоствольный | до 130            | засухоустойчива            | нетребовательна            | 1                                 | -5...-6                               |
| овес                   | прямоствольный | -                 | влаголюбива                | нетребовательна            | -                                 | -4                                    |

**Таблица 4 – Поглощение воды семенами различных видов яровых сельскохозяйственных культур**

| Культура               | Поглощение воды, % к сухой массе семени |
|------------------------|---|
| Кормовые бобы          | 82-86                                   |
| Горох посевной         | 117-130                                 |
| Горох полевой, пелюшка | 76-100                                  |
| Соя                    | 110-160                                 |
| Люпин желтый           | 115-145                                 |
| Вика посевная          | 115-120                                 |
| Яровая пшеница         | 44-49                                   |
| Яровой ячмень          | 40-55                                   |
| овес                   | 35-76                                   |

Примечание: данные по поглощению воды, % к сухой массе семени взяты с [2].

Так С.Р. Norton (1986) установил, что в условиях полной влагоемкости почвы в течение 48-72 часов (в зависимости от сорта) семена гороха теряют всхожесть. Этот факт подтвердили белорусские исследователи – Л.В. Кукреш и Н.П. Лукашевич[20]. А при влажности 20% ППВ в опыте появлялись единичные всходы.

Из-за высокой требовательности к влажности почвы для прорастания зернобобовых культур (горох, пелюшка, люпин, кормовые бобы) рекомендуется высевать в начале физической зрелости почвы, что совпадает с севом ранних яровых зерновых культур – овса, ячменя, пшеницы, что обеспечивает высокую полевую всхожесть семян (в этот период влажность имеет значение близкое к 60% ППВ). Изменение условий увлажнения в одну и другую стороны снижает полевую всхожесть. Очень важно не упустить этот момент и засеять посевные площади в сжатые сроки – за несколько дней. Недопустим разрыв во времени между предпосевной обработкой почвы и посевом. Люпин выносит семядоли на поверхность почвы, что не позволяет увеличить глубину посева и при засушливых условиях это может

привести к снижению полевой всхожести и даже гибели появившихся всходов из-за дефицита влаги, особенно на легких почвах. При мелкой глубине сева проростки могут страдать от внесения почвенных гербицидов. В свою очередь, при чрезмерно большой глубине заделки всходы появляются ослабленными, формируют малопродуктивные растения и в большей мере поражаются болезнями и повреждаются вредителями. Критической фазой для формирования бобово-ризобияльного симбиоза считается время адгезии (сцепления с поверхностью корневых волосков) и проникновения клубеньковых бактерий в ткани бобовых растений. Недостаток влаги в более поздние периоды может привести к сбрасыванию уже сформировавшихся клубеньков. В определенной мере влажность можно регулировать мелиоративными мероприятиями – поливом или поддержанием определенного уровня вод в мелиоративных каналах (полив это очень дорогостоящее мероприятие, экономически целесообразно проводить в критические периоды вегетации при острой нехватке влаги). Но эти мероприятия возможны только на мелиорируемых землях. В Беларуси площадь осушенных земель, входящих в состав пашни составляет около 1300 тыс. га. Из них 298 тыс. га – это торфяно-болотные почвы [21], где ограничивающими факторами фиксации атмосферного азота зернобобовыми культурами являются:

реакция среды – 5,0-5,3 (рН<sub>KCl</sub>) (см. таблицу 2) для симбиотической фиксации азота атмосферы зернобобовыми культурами, кроме желтого и узколистного люпинов;

наличие значительного количества органической массы богатой азотом.

Однако, как было отмечено выше, самая высокая урожайность зерна кормовых бобов – 62 ц/га в среднем за три года была получена на торфяно-болотной почве в экспериментальной базе «Липово»

Калинковичского района. По всей видимости, существенной фиксации атмосферного азота не происходило, но высокая минерализация (разложение) торфа этих почв обеспечило кормовые бобы количеством азота, достаточным для получения такой высокой продуктивности.

На площади примерно 1000 тыс. га минеральных осушенных земель, входящих в состав пашни возможно в определенной мере регулирование водного баланса почв при условии содержания мелиоративных систем в надлежащем порядке. При посеве зернобобовых культур после злаковых предшественников с использованием не зерновой части урожая – соломы в качестве органического удобрения исключается возможность высокого содержания минерального азота в почве в результате бурного развития микробов и закрепления подвижных форм азота в их клетках. Это является одним из условий повышения симбиотической фиксации азота воздуха. Также внесение соломы стимулирует несимбиотическую азотфиксацию, особенно при определенной степени анаэробноза (*в среде без кислорода*), однако при полном анаэробнозе азотфиксация сильно подавляется. Т.А. Калининская (1967 г.) из целого ряда почвенных образцов выделила микробные ассоциации целлюлозоразрушающих бактерий с факультативно-симбиотрофными азотфиксаторами, которые активно разлагали клетчатку (*клетчатка или целлюлоза - основное вещество, входящее в состав соломы. Содержание ее в соломе разных видов составляет от 26 до 45 % и даже выше - до 50 % сухого вещества*) и одновременно усваивали значительные количества молекулярного азота. В опытах наблюдали энергичное разложение клетчатки и интенсивную азотфиксацию, достигавшую 10-12 мг азота на 1 г потребленной клетчатки. Исследования Н.Н. Наплековой (1971 г.) [22]

показали, что усвоение азота атмосферы актиномицетами составляло 0,3-12 мг, а грибами – 2,4-18 мг на 1 г разложенной целлюлозы.

Солома увеличивает численность и активность и других различных групп микроорганизмов. Усиленное развитие целлюлозоразрушающих бактерий, в том числе и фиксаторов молекулярного азота воздуха, приводит к обогащению почвы продуктами их жизнедеятельности: аминокислотами, витаминами и другими биологически активными веществами. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы выделяют в среду до 12 аминокислот: аланин, фенилаланин, глутаминовую и аспарагиновую кислоты и т. д., которые оказывают положительное влияние на сопутствующие им бактерии. Среди изученных целлюлозоразрушающих микроорганизмов вибрионы высвобождают больше аминокислот, чем актиномицеты и грибы[23]. При добавлении в почву соломы увеличивается количество пиридоксина, пантотеновой и никотиновой кислот[24, 25], а также усиливается биосинтез витамина В<sub>12</sub>. [26].

По расчетам ученых РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» ежегодно возможно и следует использовать для этих целей 3,2-3,6 млн т соломы и другой побочной продукции. Непосредственная заделка соломы в почву в качестве прямого органического удобрения экономически выгодна по сравнению с пропусканием ее через скотный двор и получением подстилочного навоза или приготовлением разнообразных компостов. Следует учитывать, что такое использование соломы приводит к значительному размножению микроорганизмов, которые используют им необходимые доступные формы питательных веществ, находящиеся в почве, так как в соломе многих элементов минерального питания недостает (*происходит биологическое закрепление доступных химических элементов почвы в биомассе*

микробов). В итоге создается конкуренция за доступные элементы питания между микроорганизмами и культурными растениями. Как отмечалось выше при удобрении соломой желательное введение в севооборот достаточной доли бобовых культур, так как зерновые культуры при внесении под них соломы без дополнительного азота обычно снижают свой урожай. Так чувствительность отдельных культур к удобрению соломой в севообороте (без компенсации азота), определяемая по их урожайности, уменьшается в следующей последовательности: озимые (зерновые и рапс), яровые (зерновые и рапс), сахарная свекла (ботва), картофель, бобовые.

Рассмотрим влияние прямого удобрения соломой на особенности азотного обеспечения озимых и яровых зернобобовых культур. И так прямое удобрение соломой в меньшей степени подходит для озимых сельскохозяйственных культур, так как под ними в доступной форме для растений будет находиться мало минеральных соединений азота и других подвижных соединений питательных элементов в почве. Между тем как существует потребность их поглощать у озимых культур поздней осенью и ранней весной. Тем более что в прикорневой зоне (ризосфере), где сосредоточен максимум микробов, их конкуренция в этот период за элементы пищи с растениями будет выражена очень сильно.

Положительное же влияние в прямом действии соломы запаханной или заделанной осенью после уборки злакового предшественника на яровые бобовые культуры объясняется тем, что у бобовых в отличие от других полевых культур – во-первых, высокая концентрация азотсодержащих веществ в семенах и размеры семян (масса 1000 семян – табл. 1) намного выше других сельскохозяйственных культур, что очень важно в первоначальный период роста. Это обеспечивает высокую физиологическую активность биологических процессов, так как ферменты являются



белковыми соединениями, а значительная масса семени снабжает проростки всеми другими необходимыми питательными веществами в начальный период развития. Во-вторых, к моменту их сева значительное количество азота, связанное в клетках микробов в результате осеннего внесения соломы, хотя бы частично минерализуется и превращается в аммиак и нитраты, которые могут быть использованы растениями. В-третьих, при обеспечении соответствующих условий питания макро- (азота только в случае необходимости и в незначительной дозе) и микроэлементами, образуются активные клубеньки на корнях, связывающие атмосферный азот для питания бобовых культур в более поздние фазы развития. В связи, с чем внесение соломы не снижает урожая бобовых культур, а обычно, наоборот способствует лучшему их развитию. Эти положения подтверждены опытами в вегетационных сосудах методом баланса с дерново-подзолистой песчаной почвой. Так при раннеосеннем (начало августа) внесении измельченной соломы с использованием изотопа  $^{15}\text{N}$  (весной перед посевом нитрагинизированными семенами люпина в качестве общего фона вносилось 0,1 нормы азота, по Прянишникову, в форме  $\text{K}^{15}\text{NO}_3$ ) в зеленой массе, в корнях люпина и субстрате накапливалось значительно больше азота, чем без внесения ее. Использование соломы усилило фиксацию атмосферного азота на 26 % и уменьшило потребление почвенного азота на 20 %, отмечено увеличение веса зеленой массы люпина [27]. В опыте с кормовыми бобами [28], свежая солома действовала лучше, чем предварительно перегнившая. По нашему мнению, это объясняется размером семян кормовых бобов (см. табл. 1), где количество азотсодержащих и других пластических веществ на одно семя намного выше других зернобобовых культур. Из проведенных экспериментов выявлено, что наибольшее положительное действие на урожай зерна и зеленой массы – гороха,

сои и однолетнего желтого люпина имеет полуразложившаяся солома злаковых культур[29]. При предпосевном внесении соломы в результате бурного процесса разложения, обусловленного высокой активностью микроорганизмов, поглощающих азот и другие элементы, в начале вегетации в почве совершенно не было доступного для растений азота (другие элементы не учитывались), в котором бобовые растения нуждаются до образования клубеньков. Следовательно, необходимо солому под названные культуры вносить осенью. Осеннее внесение наиболее целесообразно и с хозяйственно-экономической и экологической точек зрения – измельчение и разбрасывание идет одновременно с уборкой зерновой культуры, а также снижаются потери подвижных соединений из почвы благодаря бурному развитию микроорганизмов (биологическое закрепление). К примеру, возрастание концентрации минерального азота в почве продолжается летом и достигает максимума в конце августа, в некоторых случаях может наступить даже в сентябре. Обильное удобрение органическим веществом, содержащим незначительное количество азота и высокую долю усвояемых для микрофлоры углеродистых соединений, устраняет потери азота в результате связывания минерального азота почвы в «теле» микроорганизмов.

При удобрении соломой не бобовых сельскохозяйственных культур ученые Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси рекомендуют компенсировать временное закрепление почвенного азота микроорганизмами дополнительными дозами азотных удобрений и жидкого навоза (*в среднем из расчета по 10 кг азота минеральных удобрений или жидкого навоза на 1 тонну соломы злаковых культур*).

Казалось бы расширение посевных площадей зернобобовых культур до 350 тыс. га согласно Стратегии развития сельского хозяйства и сельских регионов Беларуси на 2015-2020 годы и заделка

под них соломы злаковых культур (сразу после уборки предшественника) порядка 1 млн тонн (после злаковых предшественников в среднем на 1 га остается 3 т соломы) может сэкономить 10 тыс. тонн азота минеральных удобрений и жидкого навоза и такое распределение соломы в севообороте оправдывает себя, особенно в современных условиях в связи со значительным удорожанием минеральных удобрений и тяжелым экономическим состоянием большинства сельскохозяйственных организаций РБ. В хозяйствах имеется азотный дефицит, полностью не удобряются азотными удобрениями злаковые травостои на улучшенных сенокосах и пастбищах. Применение соломы в качестве прямого органического удобрения под зернобобовые культуры освободило бы часть азотсодержащих удобрений на эти цели. Однако для этого необходимо высевать зернобобовые культуры в чистом виде и создавать условия для их симбиоза с клубеньковыми бактериями. Достоверных, проверенных в производстве данных как реагируют смеси зернобобовых со злаковыми культурами на прямое внесение под них соломы пока недостаточно. По этой причине производственники при заделке под эти смеси соломы вносят дополнительную дозу азота для предотвращения снижения урожайности. Кроме того, смеси зернобобовых с другими поддерживающими культурами приходится удобрять еще дополнительно азотом минеральных или органических удобрений для питания поддерживающих культур. При этом, выход белка с единицы площади обычно у них ниже по сравнению с прямыми зернобобовыми культурами. Для справки – в последние годы посевы зернобобовых в смеси с поддерживающими сельскохозяйственными культурами составляли основную долю.

Таким образом, за счет создания благоприятных условий для бобово-ризобиального симбиоза и для свободно живущих

микроорганизмов-фиксаторов атмосферного азота зернобобовые культуры могут значительную долю потребности в азоте удовлетворить за счет азота атмосферы, благодаря чему применение азота удобрений минимально. В некоторых случаях для прямостоячих зернобобовых культур (*в зависимости от запасов гумуса в почве, минерализующейся биомассы микрофлоры и других азотсодержащих органических веществ*) необходимость в использовании азотных минеральных и органических удобрений вообще отпадает. Следует отметить, что бобово-ризобиальный симбиоз – это система биологической азотфиксации с помощью фермента нитрогеназы. На сегодняшний день известны 4 типа бактериальных нитрогеназ, взаимодополняющих друг друга в биосфере: «классическая» молибден-зависимая и три «альтернативные» – ванадий-, железо- и супероксид-зависимые[30]. Наиболее изучена связывающая атмосферный азот и восстанавливающая его до аммиака ( $\text{NH}_3$ ) «классическая» молибден-нитрогеназа, которая состоит из двух компонентов – более высокомолекулярного молибден(Mo)-, железа(Fe)-белка и низкомолекулярного железа(Fe)-белка [31]. Активный центр этого фермента кроме железа и молибдена содержит еще и серу (S), их соотношение составляет  $\text{Fe} : \text{S} : \text{Mo} = 6 : 8 : 1$ . Участие Mo в азотном обмене не ограничивается только вхождением его в состав нитрогеназы. Он входит также в состав фермента нитратредуктазы и под влиянием молибдена в клубеньках бобовых культур усиливается активность дегидрогеназ – ферментов, обеспечивающих непрерывный приток водорода для связывания азота атмосферы[32].

Крупномасштабных обследований почв сельскохозяйственных земель на содержание подвижных форм молибдена в Беларуси не проводилось. Ученые Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси [33] предполагают, что содержание молибдена в почвах

Беларуси низкое. В условиях кислых почв ( $pH_{KCl} < 5,5$ ) Мо труднодоступен для растений. Известкование кислых почв – наиболее известный способ повышения доступности Мо для растений. Однако при интенсивном известковании растворимость Мо может уменьшаться[34]. Кроме того, при потреблении молибдена сельскохозяйственными культурами и уборки с поля этой продукции, без внесения Мо с удобрениями, его запасы будут уменьшаться даже при поддержании оптимальной реакции среды. Подвижность Мо увеличивается также вследствие внесения фосфорсодержащих удобрений[35]. Недостаток молибдена резко отрицательно сказывается на симбиозе, и бобовые растения значительно лучше других растений отзываются на молибденовые удобрения. Интенсивность азотфиксации при этом может возрасти в десятки раз в расчете на одно растение, что неоднократно подтверждалось опытами в полевых производственных условиях. Выделена также ванадийсодержащая нитрогеназа, уровень активности которой на 30 % ниже, чем у Мо-нитрогеназы. В местообитаниях, где нет молибдена, он может замещаться ванадием. Крупномасштабных обследований почв Беларуси на содержание подвижных форм ванадия также не проводилось. По выборочным образцам (табл. 5) определялось валовое его содержание в почвах. Какая доля из этого количества ежегодно становится доступна растениям и микроорганизмам, в том числе свободноживущим азотфиксаторам атмосферного азота в зависимости от реакции среды и других почвенных показателей и достаточно ли ее для образования необходимого количества ванадийсодержащей нитрогеназы ученым еще предстоит выяснить. По данным таблицы видно, что валовое содержание ванадия минимально на песчаных почвах и возрастает в почвах с более высоким содержанием физической глины и органического вещества.

**Таблица 5 – Содержание ванадия в почвах Белоруссии[35]**

| Почва                                    | Количество образцов | Ванадий (валовой), мг/кг почвы |
|--|---------------------|--------------------------------|
| <b>Дерново-подзолистая:</b>              |                     |                                |
| песчаная                                 | 86                  | 17,7                           |
| супесчаная на песках                     | 94                  | 28,9                           |
| супесчаная на суглинках                  | 38                  | 26,1                           |
| на моренных суглинках                    | 60                  | 36,8                           |
| на лессах и лессовидных суглинках        | 65                  | 48,1                           |
| <b>Дерново-подзолистая заболоченная:</b> |                     |                                |
| песчаная                                 | 40                  | 19,6                           |
| супесчаная                               | 35                  | 33,2                           |
| суглинистая                              | 28                  | 52,0                           |
| <b>Дерново-болотная:</b>                 |                     |                                |
| песчаная                                 | 14                  | 18,1                           |
| супесчаная и суглинистая                 | 63                  | 39,6                           |
| торфяно-болотная низинного типа          | 181                 | 45,6                           |
| пойменная дерново-болотная               | 86                  | 36,9                           |
| пойменная торфяно-болотная               | 63                  | 120,5                          |

Причем необрабатываемые почвы его содержат больше по сравнению с обрабатываемыми почвами, что по-видимому, связано с выносом этого элемента урожаями сельскохозяйственных культур. Это объясняет и тот факт, что в пахотном горизонте содержание ванадия ниже, чем в подзолистом горизонте[35]. Это подтверждают Berrow M.L., Wilson M.J., Reaves G.A. [36], только по их мнению верхние горизонты некоторых подзолистых почв по сравнению с нижележащими слоями обеднены ванадием в результате интенсивного выщелачивания. Скорее всего, оба эти утверждения верны. В противоположность молибдену по данным Уэлч[36] ванадий более интенсивно поглощался корневой системой растений ячменя в кислой среде по сравнению с нейтральными и щелочными растворами. Других данных подтверждающих или отрицающих эти результаты исследований нам пока не встречалось. На их основе у нас появилась научная гипотеза, что возможно кислая среда и более

высокое валовое содержание ванадия подпахотного горизонта наших дерново-подзолистых почв могут обеспечить хорошие условия для усвоения ванадия зернобобовыми культурами с глубоко проникающей корневой системой, способных образовывать «активные» клубеньки в условиях кислой среды ( $pH_{кл}$  до 5,0). К таким зернобобовым культурам в нашей зоне относятся люпины (желтый, узколистный). Интервал  $pH_{кл}$  почвы благоприятный для их роста и образования клубеньков – 4,5-6,0 (оптимальный  $pH_{кл}=4,5-5,0$ ), имеют глубоко проникающий в почву корень стержневого типа, а также продолжительный период вегетации и потребления питательных веществ. Сочетание этих особенностей обеспечивает люпинам высокую усваивающую способность в отношении питательных веществ, находящимся в почве и подпочве в виде потенциальных запасов, которые менее доступны другим зернобобовым культурам. Однако корни люпинов достигают подпахотного подзолистого горизонта через определенный промежуток времени, основная их масса находится в пахотном слое почвы. С этой точки зрения для люпинов между потреблением молибдена и ванадия в процессах фиксации атмосферного азота, скорее всего, существует определенная, друг друга дополняющая взаимосвязь. По нашему мнению, это объясняет более высокую фиксацию атмосферного азота у люпинов по сравнению с другими высеваемыми в нашей республике зернобобовыми культурами. По данным В.Н. Шлапунова, В.С. Цыдика [4] азотные удобрения не повышают урожайности желтого люпина (при оптимальном их обеспечении бором, молибденом и медью), но удлиняют его вегетационный период. Недостаток бора, меди, цинка ведет к значительному увеличению содержания свободных аминокислот, что указывает на нарушение процессов синтеза белка[29]. О значении указанных микроэлементов в фиксации атмосферного азота свободноживущими микроорганизмами будет изложено ниже.

В отличие от люпинов интервал  $pH_{кл}$  благоприятный для роста и развития других зернобобовых культур более узкий. Для гороха, кормовых бобов он находится в пределах 6,0-7,0, [32]. На кислых почвах ( $pH_{кисл} < 5,0$ ) у гороха, вики, кормовых бобов идет плохо образование клубеньков.

При рассмотрении и изучении ценозов клубеньковых бактерий с корнями растений следует обращать особое внимание на образование и качество клубеньков. Клубеньки, способные накапливать большое количество азота, характеризуются большими размерами и розовой окраской, располагаются на главных корнях и довольно долго сохраняются, разрушаясь в период плодоношения растения. Они имеют большое количество бактериоидной ткани. Мелкие многочисленные клубеньки, разбросанные по всей корневой системе, обычно не накапливают азота. Одним из факторов влияющим на количество и качество клубеньков на корнях бобовых растений и тем самым влияющим на фиксацию атмосферного азота в однолетних зернобобовых агроценозах, как отмечалось выше, является высокое содержание минерального азота в почве и высокая минерализация органической субстанции почвы, содержащей значительное количество азота. Ингибирующее (тормозящее) влияния на симбиотические отношения проявляется в результате:

уменьшения числа и массы клубеньков [37, 38];

более позднем их образовании и снижении активности фермента азотфиксации – нитрогеназы [39];

повышения агрессивности неактивных штаммов бактерий и снижения количества продуктов фотосинтеза, поступающего в клубеньки[40].

Следующий фактор – это наличие доступного бора. В отсутствие бора проводящие элементы в направлении от сосудистой системы корня к клубеньку развиваются слабее или совсем не развиваются и



бактерии, находящиеся в клубеньках, не могут получать от растений необходимого им готового пластического материала в достаточном количестве и передать растению синтезируемые ими азотные соединения. В итоге клубеньки на корнях у бобовых растений в отсутствие бора или совсем не развиваются, или развиваются в незначительном количестве; в последнем случае они гораздо меньше размером, чем у получивших бор растений, особенно это проявляется на известкованных почвах (*в результате известкования снижается доступность для растений почвенных запасов бора*). Следует отметить, что поддержание слабокислой, близкой к нейтральной реакции почвенной среды для обеспечения максимальной доступности почвенных запасов молибдена биологическим объектам, в том числе и растениям, снижает доступность других микроэлементов. В отличие от молибдена такие микроэлементы как марганец, медь, цинк, кобальт, а также как выше отмечалось, бор более подвижны в кислых почвах[40]. Для интенсификации производства зерна бобовых культур необходимо разработать систему применения названных микроэлементов в зависимости от почвенных условий и поддержания необходимого уровня  $pH_{KCl}$  для их возделывания.

Наукой доказано, что отдельные микроэлементы позволяют направленно усиливать фиксацию молекулярного азота не только в бобово-ризобиальном симбиозе, но и свободно живущими азотфиксаторами атмосферного азота. Так Vortels H. (1933) доказал важную роль молибдена в фиксации молекулярного азота бактериями *Azotobacter chroococcum*[35]. Позже этим же ученым была установлена необходимость молибдена для анаэробной азотфиксирующей бактерии *Clostridium pasteurianum*. В дальнейших исследованиях было выявлено значение в этом процессе меди, бора,

ванадия, вольфрама. Выяснилось, что ванадий и вольфрам могут частично заменять молибден.

Начиная с 1981 г., в республике проводится крупномасштабное обследование почв (мониторинг) сельскохозяйственных земель на содержание подвижных форм бора, меди и цинка за счет государственного бюджета. В результате обследования установлено, что 77,8% пахотных почв Беларуси нуждаются в применении борсодержащих, 91,7 в медьсодержащих и 82,7% в цинксодержащих удобрениях (табл. 6). Очень важно было бы знать, сколько содержится в пахотных почвах республики подвижных форм молибдена и ванадия. Это помогло бы корректировать дозы применения азотсодержащих удобрений в севооборотах под все сельскохозяйственные культуры, особенно под зернобобовые культуры и бобовые травы. Все эти анализы необходимо проводить за счет государственного бюджета. Только в передовых хозяйствах республики, имеющих финансовые возможности при заключении соответствующих договоров, проводится мониторинг содержания и других подвижных форм микроэлементов (марганца и т.д.).

**Таблица 6 – Доля пахотных почв Беларуси, нуждающаяся в применении микроудобрений\***

| Область                | борсодержащих | медьсодержащих | цинксодержащих |
|------------------------|---------------|----------------|----------------|
|                        | %             |                |                |
| Брестская              | 94,8          | 85,4           | 46,2           |
| Витебская              | 83,6          | 89,5           | 95,8           |
| Гомельская             | 84,3          | 91,9           | 92,3           |
| Гродненская            | 60,1          | 96,3           | 94,1           |
| Минская                | 38,9          | 93,2           | 93,6           |
| Могилевская            | 76,4          | 85,0           | 64,8           |
| Республики<br>Беларусь | 77,8          | 91,7           | 82,7           |

\*таблица составлена на основе данных ученых Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси[33].

В отношении структуры почвы установлено, что в одной и той же почвенной частичке одновременно существуют облигатные анаэробы, факультативные анаэробы и облигатные аэробы. Развитие аэробных микроорганизмов на поверхности почвенной частицы сопровождается интенсивным поглощением кислорода. От периферии частицы к ее центру концентрация кислорода резко падает. Поверхностная пленка аэробных микроорганизмов создает мощный барьер, препятствующий проникновению внутрь свободного кислорода[32]. В центре почвенной частицы создаются анаэробные условия, благоприятные для устойчивости нитрогеназы. Этот фермент чрезвычайно чувствителен к кислороду и в его присутствии разрушается. Все живые азотфиксирующие организмы либо живут в анаэробных условиях, либо выработали те или иные системы защиты нитрогеназы от воздействия кислорода[14]. Таким образом, частица почвы состоит из микроразделов, где живут и развиваются микробы с разной потребностью в кислороде воздуха. В почвенных условиях, даже когда содержание кислорода в воздухе почвы достигает 15-20%, всегда присутствует значительное количество типичных анаэробных бактерий. Одновременность развития аэробной и анаэробной микрофлоры в хорошо структурированных почвах объясняется наличием тонких капилляров в структурных агрегатах [42]. Аэробные и факультативные микроорганизмы интенсивно поглощают кислород и создают, таким образом, своеобразный барьер, препятствующий проникновению свободного кислорода, что благоприятно для анаэробных микроорганизмов. В слабоструктурированных почвах (как, например, песчаные) развитие анаэробов связано с наличием кислорода. Их возникновение в почве обусловлено разнообразными физическими и биологическими причинами, главным образом механической обработкой почв, в результате которой возникают замкнутые поры в любых по происхождению комочках. Таким образом, структурные

почвы способствуют более высокой фиксации атмосферного азота, так как существуют условия для деятельности соответствующих микроорганизмов-фиксаторов атмосферного азота как в кислородной, так и в без кислородной среде и обеспечивается необходимый приток воздуха атмосферы (снабжение молекулярным азотом). По данным Н.А. Туева [42] большинство почвенных бактерий являются полифункциональными и в зависимости от состава среды (источников азотного и углеродного питания и т.д.) могут функционировать как аммонификаторы, азотфиксаторы или денитрификаторы. Экспериментально подтверждено (Rennie, 1980), что большинство азотфиксирующих микроорганизмов обладают способностью к денитрификации.

В приведенном материале нами были рассмотрены вопросы, касающиеся питания зернобобовых культур. В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства приходится применять различные химические препараты для защиты сельскохозяйственных растений, в том числе и зернобобовых культур. В частности, было установлено [14], что токсичность препаратов, используемых для протравливания семян, по отношению к клубеньковым бактериям весьма различна. Некоторые протравители приводят к гибели клубеньковые бактерии при их совместном контакте, так как, прежде чем образовать клубеньки на корнях бобовых растений они живут в почве в естественных условиях (*грамположительные палочки длиной около 3 мкм*), но, развиваясь без растения к накоплению азота не способны. Заражают бобовые растения через корневые волоски сразу же после прорастания семян, когда кореньчики проростка проникают в почву. Естественно протравливание зернобобовых культур даже с пониженной токсичностью по отношению к клубеньковым бактериям будет задерживать процесс их укоренения и образования тесной

функциональной связи бактериального комплекса с корнем растения. Список рекомендуемых препаратов с каждым годом пополняется и практически отсутствуют данные в виде научных публикаций и рекомендаций как снизить их отрицательное влияние на вирулентность и активность клубеньковых бактерий. Нет сведений о влиянии гербицидов как физиологически активных веществ на активность симбиотической и фиксацию атмосферного азота свободноживущими микроорганизмами. В частности, Л.Н. Пароменской, Ю.В. Кругловым (1979) в вегетационных опытах с песчаной культурой гороха, инокулированного *Rhizobium leguminosarum* было установлено, что обработку гербицидом 2М-4ХМ необходимо проводить не позднее фазы 2-3 настоящих листьев гороха. В фазе 7-8 листьев наблюдался устойчивый отрицательный эффект – рост растений и симбиотическая азотфиксация снижалась. Таким образом, практикой сельского хозяйства диктуется необходимость такого рода исследований, поскольку они внесут соответствующие коррективы в рекомендации по применению протравителей для обработки семян и других пестицидов на посевах бобовых культур.

Условно принимаем, что сельскохозяйственные организации РБ выполняют намеченные Стратегией развития сельского хозяйства и сельских регионов Беларуси на 2015-2020 годы параметры увеличения посевных площадей зернобобовых культур до 350 тыс. га. В том числе за счет прямостоящих культур (*люпина и сои*) около 105 тыс. га, под которые будет использовано в качестве органического удобрения около 315 тыс. тонн соломы злаковых культур. Внесение соломы под другие полевые культуры требует применения дополнительного азота для компенсации временного его закрепления микроорганизмами, без него снижается урожайность.

## **Заключение**

Для наращивания производства зерна бобовых культур до уровня не менее 1050 тыс. тонн (*средняя урожайность 30 ц/га*) – соответственно сбора сырого белка на уровне 300 тыс. тонн необходимо расширить площади возделывания зернобобовых культур в чистом виде до 350 тыс. га в основном за счет прямостоячих культур – люпинов и кормовых бобов. На данный момент невозможно увеличить площади прямостоячих зернобобовых культур из-за прогрессирующей на люпинах болезни под названием антракноз и отсутствия в республике селекции и семеноводства кормовых бобов. В связи с чем, первоочередной задачей селекционеров в отношении зернобобовых культур является:

выведения устойчивых к антракнозу сортов узколистного и желтого люпина;

селекция и семеноводство кормовых бобов и отработка технологии их возделывания.

На основе монографического метода установлена возможность в значительной мере удовлетворения потребности зернобобовых культур в азоте за счет молекулярного азота атмосферы и сокращения доз внесения азотсодержащих минеральных и органических удобрений. А в некоторых случаях для прямостоячих зернобобовых культур (*в зависимости от запасов гумуса в почве, минерализующейся биомассы микрофлоры и других азотсодержащих органических веществ*) необходимость в использовании азотных минеральных и органических удобрений вообще отпадает. Взаимодействие бактерий живущих в клубеньках корней и абсолютно свободно в почве – ключевой этап азотного цикла бобовых растений. Необходимо создавать благоприятные условия для бобово-ризобиального симбиоза и для свободно живущих микроорганизмов-фиксаторов атмосферного азота. Фиксированный микроорганизмами

азот поступает в почву постепенно, что исключает избыточное его содержание, которое наблюдается при внесении высоких доз азотных минеральных удобрений в начальный период потребления растениями и высокие потери в виде вымывания или улетучивания и загрязнения окружающей среды вредными его соединениями.

Функционирование системы симбиотических отношений между бобовыми растениями и клубеньковыми бактериями, а также эффективная фиксация азота атмосферы свободноживущими микроорганизмами зависят от комплекса факторов: регулируемых, условно-регулируемых и нерегулируемых.

С целью снижения доз использования азота минеральных и органических удобрений без ущерба продуктивности зернобобовых культур необходимо:

**за счет регулируемых факторов проводить:**

окультуривание почв – известкование, поддержание близкой к нейтральной реакции среды, согласно требованиям севооборотов в зависимости от их гранулометрического состава (минеральные) и содержания органического вещества (торфяно-болотные почвы); внесение органических и минеральных удобрений (азотных только в случае необходимости) для достижения оптимальных уровней содержания подвижных форм фосфора и калия, поддержания необходимого уровня содержания гумуса.

для учета и компенсации необходимых макроэлементов (железа и серы) и микроэлементов (молибдена и ванадия) входящих в состав фермента нитрогеназы, связывающего атмосферный азот и восстанавливающего его до аммиака (доступного растениям) необходимо крупномасштабное обследование почв на наличие их в доступной форме для микрофлоры и растений. Учитывая тяжелое экономическое состояние большинства сельскохозяйственных организаций затраты связанные с отбором почвенных проб и

химическим анализом необходимо провести за счет государственного бюджета.

учитывая, что 77,8% пахотных почв Беларуси нуждаются в применении борсодержащих, 91,7 в медьсодержащих и 82,7% в цинксодержащих удобрениях в зависимости от формы удобрения и запланированной продуктивности необходимо совершенствовать систему применения названных микроэлементов под зернобобовые культуры в зависимости от почвенных условий.

**условно-регулируемый фактор:**

целесообразно выращивать зернобобовые культуры после злаковых предшественников и использовать не зерновую часть урожая – солому в качестве прямого органического удобрения. В этом случае исключается возможность высокого содержания минерального азота в почве в результате бурного развития микробов за счет закрепления подвижных форм азота почвы в их клетках. Это является одним из условий повышения симбиотической фиксации азота воздуха. Также внесение соломы стимулирует несимбиотическую азотфиксацию. Внесение соломы под другие полевые культуры требует применения дополнительного азота для компенсации временного его закрепления микроорганизмами, без него снижается урожайность. Применение соломы способствует увеличению питательных элементов в почве, трансформации подвижных соединений почвы в клетки микроорганизмов, что предохраняет почву от потерь в виде газов и через вымывание. Особенно это важно для легких почв. К моменту сева зернобобовых культур значительное количество азота, связанное в клетках микробов в результате осеннего внесения соломы, хотя бы частично минерализуется и превращается в аммиак и нитраты, которые могут быть использованы растениями. Солома способствует образованию активных клубеньков на корнях. В связи, с чем внесение соломы не снижает урожая



бобовых культур, а обычно, наоборот способствует лучшему их развитию.

**Нерегулируемыми факторами** в богарном земледелии являются температурные условия и увлажнение периода вегетации. Ввиду высокой требовательности зернобобовых к влажности почвы, особенно в начальный период развития – горох, пелюшку, люпин, кормовые бобы рекомендуется высевать в начале физической зрелости почвы, что совпадает с севом ранних яровых зерновых культур – овса, ячменя, пшеницы. Критической фазой для формирования бобово-ризобияльного симбиоза считается время адгезии и проникновения клубеньковых бактерий в ткани бобовых растений. Недостаток влаги в более поздние периоды может привести к сбрасыванию уже сформировавшихся клубеньков. С целью регулирования водного режима осушенных территорий необходимо чтобы мелиоративные системы на осушенных землях на площади примерно 1000 тыс. га минеральных и на 298 тыс. га торфяно-болотных почвах под пашней содержались в надлежащем порядке.

Для пахотных легких почв на не мелиорируемых землях (фиксация биологического азота в значительной степени зависит от выпадающих осадков), а также для хозяйств с низкой культурой земледелия (не обеспечивающих оптимальные параметры регулируемых факторов для биологической азотфиксации) необходимо разработать систему удобрения зернобобовых культур азотом без учета его биологической фиксации. Это снизит риск возделывания зернобобовых культур по такому показателю как урожайность. Учитывая биологические особенности сои (пока не появились соответствующие результаты полевых опытов) для получения запланированной урожайности на почвах с ( $pH_{KCl}$ ) ниже 6,5 сою необходимо обеспечивать азотным питанием как и другие не

бобовые культуры за счет применения минеральных и органических удобрений.

Следует проводить исследовательскую работу по адаптации к нашим почвенно-климатическим условиям селекционных штаммов ризобий (клубеньковых бактерий), полученных микробиологами других стран, для сои и гороха, способных активно фиксировать молекулярный азот в присутствии повышенного содержания азота в среде.

В связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства и применения различных химических препаратов для защиты растений практикой сельского хозяйства диктуется необходимость определения их влияния на биологическую фиксацию атмосферного азота и разработка соответствующих рекомендаций по применению протравителей для обработки семян и других пестицидов на посевах бобовых культур.

Система удобрения и технология возделывания зернобобовых культур должна учитывать вышеизложенные моменты и быть направлена на создание оптимальных условий для продуктивного симбиоза клубеньковых бактерий с бобовым растением, а также для многих других абсолютно свободно живущих в почве микроорганизмов способных фиксировать атмосферный азот. Учет и компенсация необходимых элементов для их питания позволит в большей мере управлять процессами фиксации атмосферного азота и будет способствовать более высокому закреплению углерода, азота, фосфора и серы соломы или другой органической массы и азота воздуха клетками микроорганизмов и их перевода в активную часть гумуса почвы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стратегия развития сельского хозяйства и сельских регионов Беларуси на 2015-2020 годы / В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2014. – 55 с.
2. Шпаар Д. Посевной и посадочный материал сельскохозяйственных культур (в 2-х книгах). Под общей редакцией Д Шпаара. Книга 1. / Д Шпаар, С. Банадысев, С. Гриб, А. Захаренко, Г Крацш, К Кригхофф, А. Постников, В. Шкаликов, П. Шуман, В. Щербаков, Ф. Эллмер, Г. Эрбе, К. Ястер // Берлин, 2001 С-110.
3. Основные направления по повышению плодородия почв и эффективности удобрений в Белоруссии на 1991-1995 гг. – Минск: Белорусский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии, 1991. – 143 с.
4. Шлапунов, В.Н. Кормовое поле Беларуси / В.Н. Шлапунов, В.С. Цыдик. – Барановичи: Баранов. Укрупн. тип. – 2003 г. С-64.
5. Кожемяков, А.П. Влияние азотных удобрений на размеры накопления биологического азота зернобобовыми культурами / А.П. Кожемяков // Экологические последствия применения агрохимикатов [удобрения]. – Пущино, 1982. – С. 25-26.
6. Ягодин, Б.А. Оценка размеров использования азота атмосферы и минеральных удобрений горохом и кормовыми бобами (опыты с  $^{15}\text{N}$ ) / Б.А. Ягодин, Т.А. Демьянова, Л.Н. Гнетиева // Экологические последствия применения агрохимикатов [удобрения]. – Пущино, 1982. – С. 46-47.
7. Злотников, К.М. Возможность повышения симбиотической азотфиксации у сои при выращивании ее на фоне высоких доз минерального азота / К.М. Злотников, В.Ю. Смолин, В.П. Шабаев

- // Молекулярные и генетические механизмы взаимодействия микроорганизмов с растениями. – Пущино, 1989. – С. 44-46.
8. Hansel, A.P. Short-term nitrate effects on Hydroponically-grown soybean cv. Bragg and its supernodulating mutant / A.P. Hansel, T. Yoneyama, H. Kouchi // J. Exp. Biol. – 1992. – Vol. 43, № 24. – P. 1-7.
  9. Hansel, A.P. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation of crop legumes: achievements and perspectives [Ed.: Center for Agricultural in the Tropics and Subtropics, University of Hohenheim. Managing ed.: Dietrich E. Leihner]. – Weikersheim: Margraf, 1994. – 248 p.
  10. Злотников, К.М. Исследование возможности получения высокоэффективных штаммов генетическими методами / К.М. Злотников, В.П. Шабаев // Новые направления биотехнологии. – Пущино, 1988. – С.- 70.
  11. Шабаев, В.П. Эффективность различных штаммов *Rhizobium leguminosarum* на фоне внесения в почву минерального азота / В.П. Шабаев, В.Ю. Смолин // Агрехимия. – 1993. - № 7. – С. 21-26.
  12. Мандровская, Н.М. Симбиотические свойства клубеньковых бактерий гороха, образующих клубеньки на фоне повышенного содержания минерального азота / Н.М. Мандровская, С.М. Охрименко, Е.П. Старченков // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т. 26, № 3. – С. 240-245.
  13. Сидорова, В.В. Биологическая фиксация атмосферного азота / В.В. Сидорова // Под ред. Н.А. Сапожникова. – Л.: Колос, 1973. – С. 94-112.
  14. Орлов, В.П. Зернобобовые культуры в интенсивном земледелии / В.П. Орлов, А.П. Исаев, С.И. Лосев, Л.Н. Гнетиева, П.Д. Бойцов, Н.Ф. Кантерина, М.Т. Голопятов, Л.Д. Князева, В.А.

- Емельянова, В.И. Щербина, А.И. Терехова, А.Д. Савкина // – М.: Агропромиздат, 1986. – 206 с.
15. Hardy, R.W.F. The acetylene-enhylen assay for N<sub>2</sub> fixation: laboratory and field evaluation / R.W.F. Hardy, R.D. Holsten, E.K. Jackson, R.C. Burns // Plant Physiol. – 1968. – Vol. 43, № 8. – P. 1185-1207.
  16. Мишустин, Е.Н. Биологическая фиксация атмосферного азота. / Е.Н. Мишустин, В.К. Шильникова // - М.: Наука, 1968. – 532 с.
  17. Клевенская, И.Л. Фиксация азота атмосферы свободноживущими микроорганизмами. Сообщение 2: Влияние температуры и влажности почвы на развитие азотфиксаторов / И.Л. Клевенская // Известия СО АН СССР. Сер. биол. наук. – 1976 - № 5, вып. 1. – С. 49-52.; Земенков, Н.А. Несимбиотическая азотфиксация и возможности ее интенсификации / Н.А. Земенков, Д.В. Речкин, О.В. Сушкова // Азотный обмен и продуктивность зерновых культур в условиях химизации земледелия Западной Сибири. – Новосибирск, 1984. – С. 71-76.
  18. Емцев, В.Т. Эффективность фотосинтеза и активность фиксации азота в корневой зоне сельскохозяйственных растений / В.Т. Емцев, Л.К. Ницэ, Г.В. Годова, М.В. Моторина // Минеральный и биологический азот в земледелии СССР. – М.: Наука, 1985. – С. 252-260.
  19. Справочник по кормопроизводству. – М.: Колос, 1973. – 488 с.
  20. Кукреш, Л.В. Горох (биология, агротехника, использование). / Л.В. Кукреш, Н.П. Лукашевич // – Мн.: Ураджай, 1997. – 159 с.
  21. Стратегия устойчивости развития АПК – Продовольственная безопасность / В.Г. Гусаков [и др.]; под ред.

- В.Г. Гусакова; Ин-т экономики НАН Беларуси – Центр аграрной экономики, Минск: Белорус. наука, 2008. – С. - 275.
22. Наплекова, Н.Н. Новое в изучении биологической фиксации азота. / Н.Н. Наплекова// М.: Наука, 1971. – С. 177.
  23. Наплекова, Н.Н. Биологической фиксации азота /Н.Н. Наплекова, Л.Г. Сафронова // – Тр. биол. ин-та Сиб. отд-ния АН СССР, 1974, вып. 27, с. 122-131.
  24. Сеги, И. Разложение клетчатки и плодородие почвы: Автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. М.: ТСХА, 1973, 21 с.
  25. Будавичене И. А. Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур / И. А. Будавичене // Материалы к респ. конф. 6-7 июня 1978 г. Вильнюс: Периодика, 1978. С -77.
  26. Атлавините, О.П., Биосинтез витамина В<sub>12</sub> микроорганизмами / О.П. Атлавините, Я.А. Дачюлите, А.Ю. Лугаускас // – Тр. АН Лит. ССР. Сер. биол., 1974, № 4, с. 47-56.
  27. Авров, О.Е. Агрометеорологические аспекты использования азота бобовыми растениями при внесении соломы / О.Е. Авров // В кн. Круговорот и баланс азота в системе почва-удобрение-растение-вода. М.: Наука. 1979. С. 39-42.
  28. Thornton, H.G. The effect of fresh straw on the growth of certain legumes / H.G. Thornton // – J. agric. Sci., №19, 1929, S. 563-572.
  29. Авров, О.Е. Использование соломы в сельском хозяйстве. / О.Е. Авров, З.М. Мороз // – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1979. – С. 31-168.
  30. Умаров, М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве. / М.М. Умаров, А.В. Кураков, А.Л. Степанов // М. ГЕОС, 2007. С-138. – стр. 24.

31. Третьяков, Н.Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин // М.: Колос С, 2005. С-303.
32. Агрохимия / Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский и др.; Под ред. Б.А. Ягодина. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.
33. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2006. – 28 с.
34. Takkar P.N., Micronutrients: forms, content, distribution in profile, indices of availability and soil test methods, in: Abstr., 12th Int. Soil Sci. Congr., Part 1, New Delhi, 198/2, 361.
35. Анспок, П.И. Микроудобрения: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
36. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
37. Шильникова, В.К. Влияние минеральных азотсодержащих соединений на клубеньковые бактерии в условиях симбиоза / В.К Шильникова, О.Л. Сидоренко, И.И. Корпина// Известия ТСХА. – 1972. - № 2. – С. 120-129.
38. Майстренко, Г.Г. К вопросу о причинах ингибирующего действия высоких доз минерального азота на инфицирование бобовых растений клубеньковыми бактериями // Использование микроорганизмов в сельском хозяйстве и промышленности. – Новосибирск: Наука, 1982. – С. 15-20.
39. Vessy, J. Can a limitation in phloem supply to nodules account for inhibitory effect of nitrate on nitrogenase activity in soybean / J.

- Vessy, K.B. Walsh, D.B. Layzell // *Physiol. Plant.* – 1988. – Vol. 74, № 1. – P. 137-146.
40. Жизневская, Г.Я. Выделение водорода корневыми клубеньками в онтогенезе клевера красного / Г.Я. Жизневская, Е.Э. Федорова, П.Н. Дуброво // *Физиология растений.* – 1985. – Т. 32, вып. 4. –170 с.
41. Почвоведение.// Под ред. проф., д-ра с.-х. наук А.С. Фатьянова, проф., д-ра с.-х. наук С.Н. Тайчинова. – М., «Колос», 1972. – 480 с.
42. Микробиологические процессы гумусообразования /Н.А. Туев. ВАСХНИЛ. – М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.