

УДК 633.31/.37

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ УРОЖАЙНОСТИ И СТРЕССОВЫЕ ФАКТОРЫ У ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

Г.Г. ГАТАУЛИНА, М.Е. БЕЛЬШКИНА, Н.В. МЕДВЕДЕВА

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

В статье, которая носит обзорный характер, рассматривается роль зернобобовых культур в современном земледелии и анализируются факторы, вызывающие вариабельность и лимитирующие уровень урожайности и ее стабильность у этих культур. Используются данные ФАО о состоянии производства и уровне урожайности основных зернобобовых культур в мире и отдельных странах, а также научные источники, посвященные выявлению и анализу лимитирующих факторов в формировании урожайности сои и других зернобобовых культур.

Роль зернобобовых культур в современном земледелии усиливается в связи с необходимостью увеличения производства растительного белка для перерабатывающей промышленности, развития животноводства, использования в сбалансированном питании людей. Выращивание зернобобовых оказывает долгосрочное положительное влияние на урожайность и качество продукции последующих культур в севообороте, улучшается экологическая обстановка.

Зернобобовые используют азот атмосферы благодаря симбиозу с бактериями класса Rhizobium. Расход углеводов на азотфиксацию определяет более низкую урожайность этих культур. Любой стресс, который уменьшает фиксацию азота (неадекватная инокуляция, низкая рН, засуха и т.п.), может создать дефицит азота и вызвать потери в урожае. Вне-сенный минеральный азот используется растениями, но ингибирует образование и развитие клубеньков.

В статье отражено значение знания всех особенностей продукционного процесса при выращивании зернобобовых культур, использования в производстве высокоурожайных, адаптированных к конкретным условиям сортов и технологий.

Ключевые слова: зернобобовые культуры, соя, горох, люпин, вариабельность урожайности, рост и развитие, стрессовые факторы, адаптированные сорта и технологии производства.

Зерновые бобовые культуры содержат в семенах и биомассе в 2–4 раза больше сырого протеина (в статье — «белка»), чем зерновые культуры. Благодаря биологической фиксации азота атмосферы в симбиозе с клубеньковыми бактериями зернобобовые культуры накапливают в растениях белок и играют ключевую роль в снабжении белком человека непосредственно через потребление гороха, фасоли, чечевицы и т.д., или косвенно через предоставление богатых белками кормов для животных.

Зернобобовые культуры имеют особое экологическое и долговременное экономическое значение. Они повышают урожайность и качество продукции последующих культур севооборота, уменьшают выброс парниковых газов, прерывают цикл развития патогенов, характерных для полевых систем с большим насыщением зерновых культур [6, 9, 14, 25].

Потребности перерабатывающей пищевой и комбикормовой промышленности в высокобелковой продукции возрастают и в значительной степени удовлетворяются за счет импорта сои [1, 2, 13, 20].

В последние годы отмечались высокие темпы расширения посевов сои в РФ. Относительно высокие цены на сою на мировом и внутреннем рынке также в определенной степени способствовали увеличению посевных площадей в ряде регионов РФ, где тепловые ресурсы могут быть достаточными для созревания современных сортов. Средняя урожайность сои остается невысокой — 12–14 ц/га. Считается, что недостаток влаги как стрессовый фактор ограничивает урожайность сои в регионах Европейской части страны [13, 16].

В разных регионах РФ для увеличения производства растительного белка целесообразно использовать адаптированные к определенным почвенно-климатическим условиям сорта различных зернобобовых культур. В странах Европейского Союза (ЕС) в конкуренции за землю часто побеждали более урожайные зерновые и другие культуры из-за сниженной урожайности и ее нестабильности у зернобобовых культур [28]. Эта тенденция отмечается и в РФ.

Повышение производства высокобелковых зернобобовых культур возможно через увеличение посевных площадей под ними. В связи с требованиями к производству растительного белка особенно важным становится второй путь: повышение уровня и стабильности урожайности этих культур [6, 9].

Для управления формированием урожая необходимо знание всех особенностей продукционного процесса и факторов, оказывающих влияние на формирование урожая на разных его этапах.

Цель данной работы — отразить уровень современного производства основных зернобобовых культур; выявить факторы, оказывающие влияние на формирование урожайности и степень её стабильности; определить влияние стрессовых ситуаций, связанных с изменчивостью метеорологических условий, на рост, развитие растений и вариабельность урожайности семян и белковой продуктивности.

Для достижения цели работы использованы данные ФАО о состоянии производства и уровне урожайности основных зернобобовых культур в мире и отдельных странах, а также научные источники, посвященные выявлению и анализу лимитирующих факторов в формировании урожайности сои и других зернобобовых культур. Излагаются результаты собственных многолетних исследований продукционного процесса с выявлением лимитирующих факторов, в том числе стрессовых факторов среды у разных зернобобовых культур в условиях Центрально-Черноземного региона и Центрального Нечерноземья РФ. Методика проведения исследований представлена в опубликованных ранее трудах.

Посевные площади и объем производства сои и других зернобобовых культур

Среди зернобобовых культур соя (*Glycine max* (L.) Merr.) занимает первое место в мире по занимаемой площади и объему производства. В настоящее время уборочная площадь сои в мире превысила 120 млн га с объемом производства более 320 млн т (табл. 1) [21].

**Уборочная площадь, объем производства и урожайность сои
в основных производящих странах (по данным ФАО)**

Страна	Уборочная площадь, тыс. га		Объемы производства, тыс. т		Урожайность, ц/га	
	2000 г.	2014 г.	2000 г.	2014 г.	2000 г.	2014 г.
Всего в мире	83 673	124 449	176 710	320 637	21,1	25,8
США	29 302	33 613	75 053	108 013	25,6	32,1
Бразилия	13 640	30 273	32 734	86 760	24,0	28,7
Китай	9 306	6 730	15 411	12 201	16,6	18,1
Аргентина	8 637	19 252	20 135	53 397	23,3	27,7
Индия	6 416	10 908	5 275	10 528	8,2	9,7
Парагвай	1 176	3 500	2 980	9 975	25,3	28,5
Канада	1 060	2 235	2 703	6 048	25,5	27,1
<i>Россия</i>	337	1 915	341	2 596	10,1	13,6

Примечание. Данные ФАО отражают уборочную площадь культур.

Эти показатели в 2014 г. выросли по сравнению с 2000 г. соответственно в 1,5 и 1,8 раза и указывают на возросшие потребности в растительном белке и продуктах его переработки для использования в пищу и на корм животным. При этом увеличивается и производство соевого масла. Соя выращивается во многих странах мира, и наибольшие площади находятся в США, Бразилии, Аргентине, Китае и Индии. Все страны, указанные в таблице 1, кроме Китая, значительно расширили производство сои. Общая площадь под соей в этих странах составляет 88% от мировой; доля США, Бразилии и Аргентины — 67%, а по объему производства — 77%. С 2000 г. уборочная площадь сои в мире увеличилась на 40, 8 млн. га, из них 27,6 млн га приходится на 2 страны — Бразилию и Аргентину.

В этих странах имеются благоприятные климатические условия для выращивания сои (тепловые ресурсы, влагообеспеченность). В производстве используются генетически модифицированные сорта (ГМО), устойчивые к глифосатам (гербицидам сплошного действия — раундап и др.), что обеспечило повышение урожайности и снижение затрат на производство продукции, разработаны и применяются No-Till технологии [7, 13].

В России площадь под соей с 2000 г. к 2014 г. увеличилась более чем в 5 раз. Уровень производства сои в 2015 г. достиг 2800 тыс. т. Однако этот уровень недостаточен для решения проблемы дефицита и собственного производства растительного белка в стране, обеспечения импортозамещения [20, 23].

Горох (*Pisum sativum* L.) — одна из основных зернобобовых культур в РФ. В последние годы посеы гороха на зерно занимали площадь 0,8–0,9 млн га, урожайность — 15–17 ц/га, объем производства — 1,2–1,5 млн. т. В 2014 г. площади под горохом в мире составили 7,75 млн га при средней урожайности 17,8 ц/га, еже-

годный объем производства в мире — 11–12 млн т. В РФ наиболее высокий урожай был получен в благоприятном по погодным условиям 2011 г. — 2021 тыс. т. Россия относится к числу стран-экспортеров гороха. В 2011 г. экспорт составил 600 тыс. т., в последующие годы объем экспорта был ниже [13, 14, 21].

Род люпина (*Lupinus L.*) включает в себя большое число видов, в том числе люпин белый (*Lupinus albus L.*), известный в культуре тысячелетия назад, а также сравнительно недавно окультуренные люпин узколистный (*Lupinus angustifolius L.*) и люпин желтый (*Lupinus luteus L.*). Родина большинства однолетних видов Средиземноморье. Второй центр происхождения многочисленных видов люпина, преимущественно многолетних, — Американский континент. В производстве распространены кормовые (сладкие) сорта люпина, в которых содержание алкалоидов составляет 0,03–0,08%. Получены также сорта пищевого назначения. По содержанию белка люпин не уступает сое, может возделываться в более суровых почвенно-климатических условиях, которые не соответствуют требованиям сои к теплу и другим факторам среды. Люпин усваивает труднорастворимые фосфаты почвы и удобрений. В отличие от сои зерно люпина можно скармливать без тепловой обработки. Люпин формирует глубоко проникающую корневую систему и благодаря азотфиксации накапливает в урожае биомассы и семян большое количество азота. Люпин улучшает структуру и плодородие почвы, способствует увеличению урожайности и качества зерна последующих культур [7–9, 11, 17, 25].

В России выращиваются сорта указанных видов люпина. Люпин узколистный успешно продвигается в северные районы. Люпин желтый может расти на кислых и песчаных почвах. Люпин белый более требователен к почвам и теплу по сравнению с люпином узколистным. Он характеризуется высоким потенциалом урожайности (в благоприятные по погодным условиям годы — 3–5 т/га) и относительной засухоустойчивостью. У растений высокое прикрепление бобов, которые при созревании не растрескиваются и не опадают.

Разнообразные почвенно-климатические условия разных зон России обуславливают необходимость использования в производстве различных зернобобовых культур в соответствии с их биологическими особенностями и требованиями к условиям произрастания.

Азотфиксация и урожайность

Для всех зернобобовых культур характерна биологическая фиксация азота благодаря симбиозу с азотфиксирующими бактериями класса *Rhizobium*.

Используемый бобовыми культурами азот воздуха нельзя назвать даровым. Биологическая фиксация азота невозможна без затрат энергии. Энергетическим материалом в этом случае служат углеводы, которые образуются в растении в процессе фотосинтеза. Показано, что на фиксацию 1 г азота требуется затратить 3 г углеводов. Ассимиляты, которые могли бы использоваться растением для формирования плодов и семян, в данном случае затрачиваются на процесс фиксации азота из воздуха бактериями рода *Rhizobium*. Поэтому уровень урожайности зернобобовых культур в сравнимых условиях при выращивании по современным технологиям, учитывающим биологические особенности растений, всегда значительно ниже, чем урожайность зерновой культуры [18, 25, 28].

У зернобобовых культур потребление и вынос азота в расчете на 1 т зерна и соответствующее количество биомассы в 2–4 раза выше по сравнению с зерновыми культурами — такими, как пшеница, кукуруза, ячмень и др. При урожайности таких высокобелковых культур, как соя и люпин, на уровне 3–4 т/га вынос азота с урожаем биомассы и семян составляет 240–300 кг/га [9, 11, 18]. Можно рассчитать, какое огромное количество минерального азота при коэффициенте использования 60–70% сопоставимо с таким усвоением азота растениями в процессе формирования урожая указанного уровня.

Установлено, что урожайность зернобобовых культур на уровне 3–4 т/га возможна без внесения дорогостоящих и энергоемких азотных удобрений при условии создания благоприятных условий для роста, развития растений и симбиоза. Более того, внесение минерального азота препятствует образованию и развитию клубеньков. Растения переходят на питание минеральным азотом, усиливая вегетативный рост, однако образование клубеньков задерживается, или при высоких дозах азота они не образуются на корнях [18]. Внесение азота в «стартовых» дозах (30 кг д.в/га) целесообразно в случае затяжной и холодной весны и в других неблагоприятных условиях для начального роста растений.

Очень важна деятельность научных учреждений, разрабатывающих технологии производства специфичных, вирулентных и активных штаммов бактерий, комплементарных данной культуре, сорту и конкретным условиям среды для инокуляции семян перед посевом.

Размеры азотфиксации варьируют так же, как и урожайность зернобобовых культур, в зависимости от сорта, экономических возможностей производителя, почвенно-климатических условий, технологии возделывания, и в значительной степени — от складывающихся погодных условий вегетационного периода. Сообщается, что при выращивании в благоприятных условиях, соответствующих требованиям культуры к факторам среды и особенностям симбиоза, фиксация азота достигала 300 кг/га и более. В случае действия неблагоприятных факторов (низкое плодородие почвы, недостаток питательных веществ, в том числе микроэлементов, болезни, вредители, сорняки, стрессовые факторы среды: засуха, пониженная или высокая температура и т.п.) резко снижается урожайность зернобобовых культур, уровень азотфиксации сокращается до 60 кг/га или она прекращается [10, 18, 28].

Любой стресс, который уменьшает фиксацию азота (неадекватная инокуляция, низкая рН, засуха и т.п.), может создать дефицит азота и вызвать потери в урожае через уменьшение числа плодов и семян на единице площади [26].

Вариабельность урожайности зернобобовых культур

Уровень урожайности сильно отличается в разных странах с неодинаковыми почвенно-климатическими условиями и с разным уровнем технологии. Даже в странах, где технология производства сои находится на высоком уровне, отмечаются значительные колебания урожайности в разные годы (рис. 1).

На рисунке 1 видим, как сильно отличается урожайность сои при возделывании в разных странах и в какой степени погодные условия вегетационного периода в разные годы возделывания влияют на вариабельность урожайности в одной и той же стране. Урожайность в странах-лидерах по производству сои (США, Бразилия,

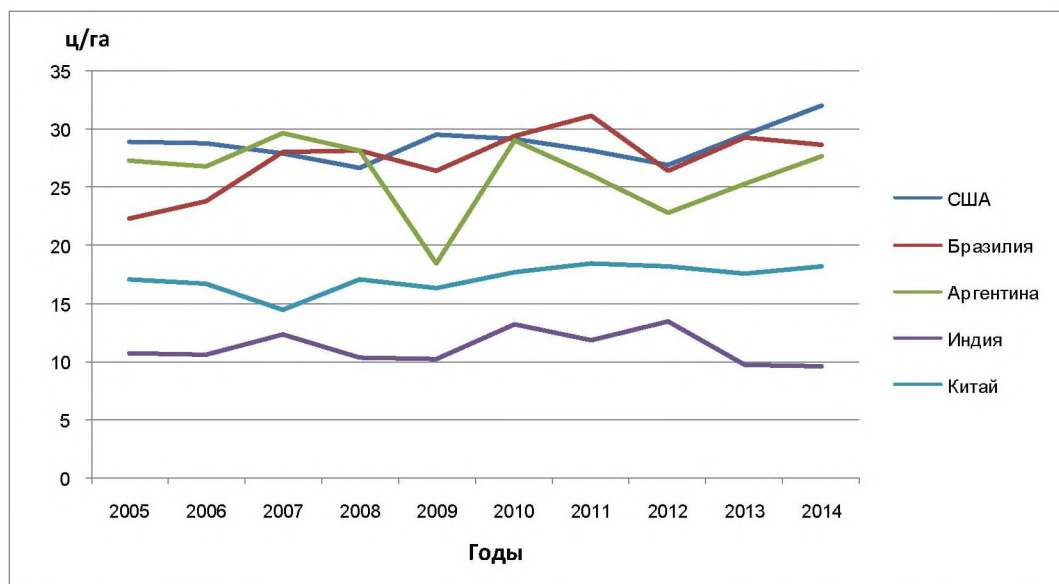


Рис. 1. Урожайность сои в разные годы выращивания, ц/га (по данным ФАО)

Аргентина) в 2–2,5 раза выше, чем в Китае и Индии. Урожайность за период с 2005 по 2014 гг. в этих странах выросла. Однако вариабельность урожайности в разные годы четко проявляется, особенно сильно — в Аргентине.

США занимает первое место в мире по посевным площадям и производству сои. Был проведен исторический анализ изменения урожайности сои в стране за период с 1960 г. по 2015 г. (за 56 лет). За этот период средняя урожайность выросла на 15,4 ц/га. Этот тренд показывает вклад использования новых сортов и новой технологии в повышение урожайности. Однако колебания урожайности в отдельные годы были значительными. Анализ показал, что в 61% лет урожайность была выше тренда, а в 39% — ниже. Однако абсолютное снижение больше, чем повышение. Среднее отклонение от тренда в сторону уменьшения составляло 158 кг/га, а в сторону увеличения — только 104 кг/га. Хорошие сезоны увеличивали урожайность в меньшей степени, чем уменьшали плохие.

Данные ФАО по кормовым бобам показывают высокую степень вариабельности урожайности в зависимости от почвенно-климатических условий и технологии выращивания в разных странах, а также от действия стрессовых факторов, связанных с влиянием погодных условий в течение вегетации.

На примере кормовых бобов можно проиллюстрировать потенциальные возможности культуры при выращивании в благоприятных условиях, когда средняя урожайность достигает 5 т/га. Кормовые бобы сильнее, чем другие зернобобовые культуры, реагируют на засушливые условия в отдельные периоды вегетации и сильно снижают урожайность в случае дефицита влаги [6, 9, 11, 19]. Наиболее высокая урожайность кормовых бобов отмечается в странах Западной Европы в районах с влажным климатом и с хорошо отработанным технологией выращивания этой культуры (рис. 2).

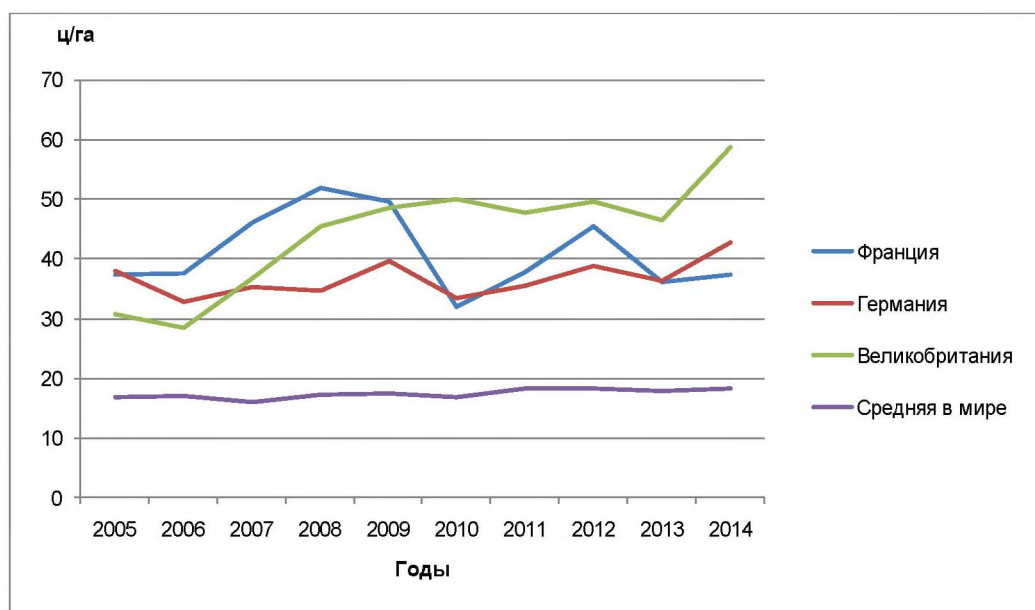


Рис. 2. Урожайность кормовых бобов в разные годы выращивания, ц/га (по данным ФАО)

Даже в относительно неблагоприятные по погодным условиям годы средняя урожайность в указанных странах (Франция, Германия, Великобритания) была не ниже 31–33 ц/га, повышаясь в отдельные годы до 48–50 ц/га. Это свидетельствует о потенциальных возможностях зернобобовых культур, если учитываются их требования к условиям среды и создаются сорта, адаптированные к конкретным условиям. В то же время несомненна роль нерегулируемых стрессовых факторов, связанных с влиянием погодных условий на формирование урожайности.

Таким образом, для зернобобовых культур характерна достаточно сильная вариабельность и нестабильность урожайности, что является одной из причин снижения производства этих культур в отдельных странах.

Особенности формирования урожая у зернобобовых культур

Производство зернобобовых культур отличается специфическими биологическими и экологическими особенностями. Эти особенности оказывают непосредственное влияние на выбор производителей сельскохозяйственной продукции: выращивать или отказаться от производства зернобобовой культуры. Особенности формирования урожая зернобобовых культур изучались в течение многих лет на кафедре растениеводства и луговых экосистем РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, были опубликованы результаты исследований [5, 6, 9–11, 19].

Отметим основные особенности формирования урожая у зернобобовых культур, которые необходимо учитывать при их возделывании.

Развитие растений и формирование урожая — динамический процесс. Урожайность культуры определяется фотосинтетической деятельностью посева как целостной, динамической, саморегулирующейся системы, меняющей свои параметры во времени.

Для всех культур характерны два периода в развитии, когда фотосинтез отсутствует: это начальный — от посева до появления всходов, и конечный — период созревания, когда на растениях отсутствуют листья и другие зеленые части растений.

В наших исследованиях установлено, что в течение вегетации от всходов до начала созревания, когда посев функционирует как фотосинтезирующая система, выделяются 4 периода, общие для всех зернобобовых культур (рис. 3): I — от всходов до начала цветения (раскрытия первого цветка на растении); II — цветение и образование плодов (до полного окончания цветения); III — рост плодов (в конце периода фаза выполненных или блестящих бобов; плоды на боковых побегах или верхних ярусах растения достигают максимальных размеров, створки плодов — максимальной массы,); IV — налив семян (ассимиляты и питательные вещества из других органов и створок плодов оттекают в семена, в конце периода сухая масса семян максимальная, влажность высокая — 50–60%).

Созревание семян — завершающий период их развития. В этот период семена и створки плодов теряют влагу. Скорость созревания, характеризующаяся интенсивностью снижения влажности семян и створок плодов, зависит от погодных условий. При пониженной температуре и осадках созревание замедляется [3, 11].

Установлено, что период II — цветения и образования плодов — *критический* в формировании урожая. Одновременно с интенсивным нарастанием вегетативной

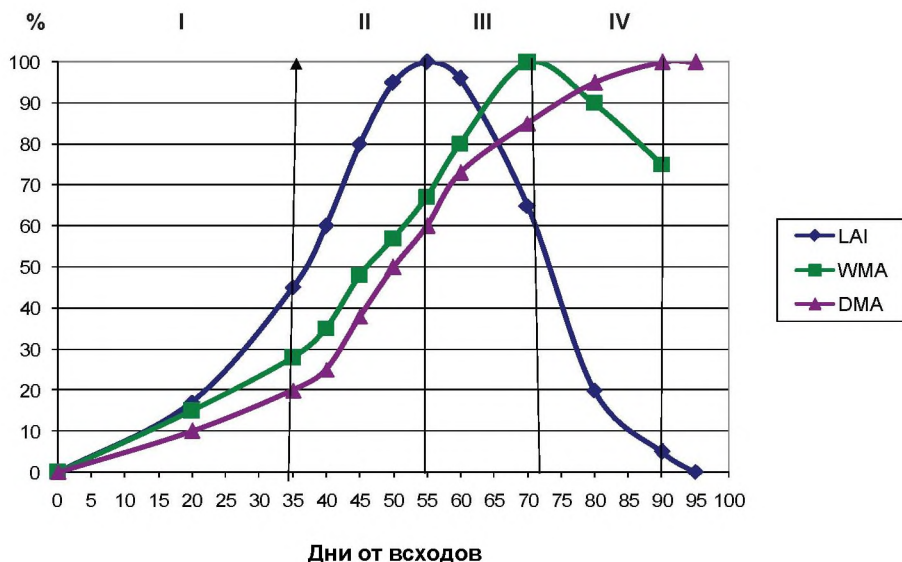


Рис. 3. Индекс листовой поверхности (LAI), нарастание сырой (WMA) и сухой (DMA) биомассы, % от максимума за вегетацию. Периоды: I — всходы — начало цветения; II — цветение и образование плодов; III — рост плодов; IV — налив семян

массы происходит цветение и образование плодов. К концу этого периода заканчивается формирование плодов на растении. Их число в расчете на единицу площади определяет потенциальный урожай. Интенсивность нарастания биомассы в течение второго периода у современных сортов в 2–4 раза больше, чем до цветения. Максимальный урожай зеленой массы отмечается в конце 3-го периода — после завершения роста плодов (рис. 3). Стрессовые условия в этот период оказывают сильное влияние на число плодов и семян, образовавшихся к концу этого периода, в расчете на единицу площади.

Рост в высоту растений белого люпина в разные по погодным условиям годы

Конкуренция между вегетативными и генеративными органами в период цветения и образования плодов во многом определяет направленность процесса фотосинтеза и урожайность растений. Доля пластических веществ, поступающих в плоды, зависит от сорта и метеорологических факторов [9, 12, 26].

Динамика роста растений в высоту хорошо отражает влияние погодных условий на ростовые процессы и выделяет особенности отдельных сортов и испытываемых образцов. Максимальная высота растений обычно отмечается по окончании периода II: цветения и образования бобов.

Сорт Гамма (№ 1) — типичный скороспелый сорт с детерминацией на побегах 2 порядка, причем эти побеги всегда очень короткие, обычно не образуют бобов даже в благоприятных условиях. Так, в засушливом 2013 г. высота растений Гаммы была всего 49 см, в 2012 и 2014 гг. — 80 см.

На рисунках показано, что погодные условия сильно влияют на соотношение ростовых процессов до цветения и в период цветения и образования плодов.

Период цветения и образования плодов продолжается 12–30 дней в зависимости от вида, сорта и условий вегетации. У белого люпина, как и у других зернобобовых культур, вегетативный рост продолжается во время формирования плодов на растении. Поэтому этот период наиболее сложный и противоречивый в развитии растений и формировании урожая, что обусловлено конкуренцией за ассимиляты между вегетативными органами и формирующимися плодами. Различия в приросте в высоту (на рисунке 4 — превышение красного столбика над синим) в этот период в разные годы у одних и тех же сортов и образцов отражают степень влияния погодных условий и особенности реакции на это влияние конкретных генотипов.

В 2012 в 2014 гг. растения были высокорослыми. У большинства номеров высота растений концу периода II составила 80–85 см. Однако в 2012 г. этот рост на 30% был в течение периода II, а в 2014 г. — на 50–55%. Условия, благоприятные для ростовых процессов, усиливают ветвление и образование плодов на боковых побегах и верхних ярусах, но развитие плодов и поступление в них пластических веществ в этом случае замедляются.

Сильное действие метеорологических факторов на вариабельность ростовых процессов у зернобобовых культур несомненно. Однако их влияние на элементы структуры и урожайность семян в значительной мере зависит от донорно-акцепторных отношений, от продолжительности и интенсивности нарастания новых вегетативных органов и одновременного образования плодов в течение периода II. Большая часть цветков опадает. Число плодов на 1 м², семян в каждой бобе и на единице площади определяется в этот период [9, 26].

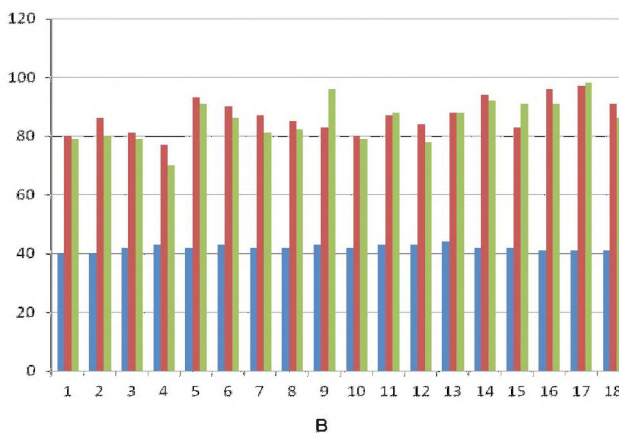
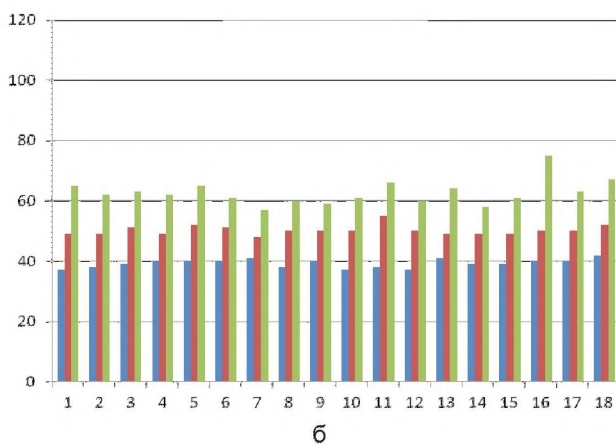
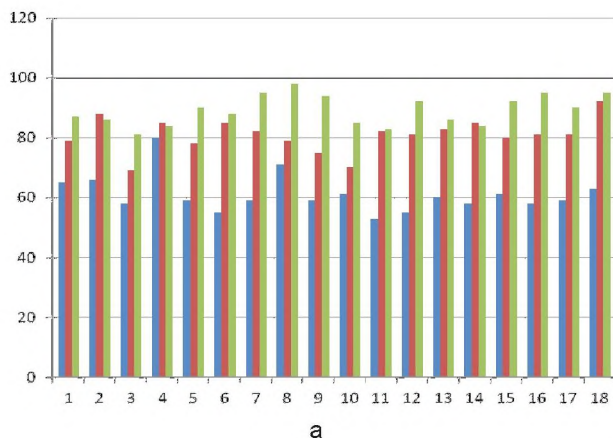


Рис. 4. Рост растений в высоту образцов белого люпина в зависимости от метеорологических условий года: а — 2012 г.; б — 2013 г.; в — 2014 г. Изучаемые сорта и образцы обозначены номерами. Столбиками обозначена в динамике высота растений по периодам: синий — период I, красный — I+II, зеленый — I+II+III

*Урожайность семян и сбор протеина у сортов белого люпина
в разные по погодным условиям годы*

Урожайность семян зависела как от сорта, так и от метеорологических условий в течение вегетации (табл. 2). Среди 6 сортов (7 лет испытания) она варьировала от 20 ц/га в 2010 г. до 45–50 ц/га в 2008 г. В среднем за 7 лет урожайность составляла 30–33 ц/га.

Различия сортов по урожайности были сравнительно небольшими в засушливый год (2010), когда растения всех сортов слабо ветвились и были низкорослыми. В 2010 г. от сильной засухи сорт Дега пострадал больше других.

Т а б л и ц а 2

Урожайность семян белого люпина в 2008–2012 гг., ц/га

№ п/п	Сорт	Годы							Сред.
		2008	2009	2010	2011	2012	2013.	2014	
1	Старт	41,2	30,3	20,0	35,8	40,6	23,1	32,4	31,9
2	Гамма	42,0	34,3	20,8	31,6	37,8	21,1	30,9	31,2
3	Дельта	45,0	41,8	21,6	30,7	35,3	21,7	39,2	33,6
4	Дега	42,5	37,8	15,6	35,3	37,8	20,7	33,5	31,9
5	Детер 1	40,5	31,9	18,4	33,9	37,5	20,5	21,2	29,1
6	Мановицкий	39,7	31,2	19,6	28,0	42,5	23,5	37,1	31,7
НСР ₀₅		4,05	3,75	1,85	3,15	4,12	3,05	3,35	–

В засушливом 2013 г. урожайность снизилась до 20–23 ц/га. В 2014 г. отмечался засушливый период без осадков в течение месяца после всходов до начала цветения. Однако в критический для формирования урожая период прошли обильные дожди, что вызвало усиление ростовых процессов и обеспечило хорошую завязываемость плодов на боковых побегах. От этой засухи особенно сильно снизилась урожайность у самого скороспелого сорта без боковых побегов Детер 1.

В 2015 г. при благоприятных метеорологических условиях был получен рекордный урожай белого люпина. У сорта Гамма он составил 55,4 ц/га, у сортов Дельта и Дега — соответственно 58,9 и 61,0 ц/га, у сорта Детер 1 — 40,0 ц/га (НСР₀₅ — 4,85).

Сбор протеина варьировал в такой же степени, как и урожайность (табл. 3).

Если исключить скороспелый сорт без боковых побегов Детер 1, то в среднем за 4 последних года сбор протеина у сортов составил 12,5–14,0 ц/га.

Таким образом, дефицит влаги как стрессовый фактор оказывает большое влияние на вариабельность урожайности и белковую продуктивность белого люпина, выращиваемого в условиях Центрально-Черноземного региона. Действие условий

Сбор протеина, ц/га

Сорт	Годы				
	2012	2013	2014	2015	Сред.
Старт	14,6	8,3	11,6	17,8	13,1
Гамма	13,6	7,6	11,1	19,4	12,9
Дельта	12,7	7,8	14,1	21,4	14,0
Дега	13,6	7,4	12,0	20,6	13,4
Детер1	13,5	7,4	7,6	14,0	10,6
Мановицкий	14,4	8,8	13,3	13,4	12,5
НСР ₀₅	1,09	0,75	1,10	2,05	–

вегетации на вариабельность урожайности было значительно больше межсортовых различий. Коэффициент вариации составил 24–33%. Наименьшим (23,6%) он был у сорта Гамма [11].

Заключение

На основании анализа данных ФАО и научных источников представлены состояние производства, уровень урожайности и ее вариабельность у сои и ряда других зернобобовых культур в мире, в отдельных странах и Российской Федерации.

Роль зернобобовых культур в современной земледелии усиливается в связи с необходимостью увеличения производства растительного белка для перерабатывающей промышленности, развития животноводства, использования в сбалансированном питании людей. Выращивание зернобобовых оказывает долгосрочное положительное влияние на урожайность и качество продукции последующих культур в севообороте, улучшается экологическая обстановка. Однако урожайность зернобобовых культур значительно ниже, чем зерновых. Кроме того, нестабильность урожайности также препятствует расширению производства этих культур.

На основании анализа вариабельности урожайности зернобобовых культур показано, что современные сорта зернобобовых культур в благоприятных условиях, соответствующих их требованиям к условиям произрастания, способны формировать урожай зерна на уровне 4–5 т/га без внесения азотных удобрений при содержании азота в урожае от 200 до 300 кг. Зернобобовые используют азот атмосферы благодаря симбиозу с бактериями класса *Rhizobium*. Это преимущество зернобобовых культур становится причиной нестабильной и сниженной урожайности, когда при выращивании не учитываются и не создаются условия эффективной азотфиксации.

В расчете на единицу продукции зернобобовые в зависимости от культуры потребляют в 2–4 раза больше азота, чем зерновые культуры. Это означает, что зернобобовые на формирование равного урожая должны усвоить в 2–4 раза больше азота. Расход части ассимилятов на азотфиксацию определяет более низкую урожайность этих культур. Любой стресс, который уменьшает фиксацию азота (неадекватная инсоляция, низкая рН, недостаток элементов питания, засуха и т.п.), может создать дефицит азота и вызвать потери в урожае. Внесенный минеральный азот используется растениями, но ингибирует образование и развитие клубеньков.

Для управления формированием урожая зернобобовых культур необходимо знание особенностей формирования элементов продуктивности на разных этапах онтогенеза. У этих культур уровень урожайности напрямую зависит от числа плодов и семян, образовавшихся на единице площади в критический период цветения и образования плодов. Дефицит влаги в этот период вызывает опадение цветков и завязавшихся плодов, урожайность резко снижается.

В статье отражено значение знания всех особенностей роста, развития и продукционного процесса при выращивании зернобобовых культур. Для повышения урожайности и ее стабильности необходимо создание и использование в производстве высокоурожайных, адаптированных к конкретным условиям сортов. Разработка сортовых и инновационных технологий возделывания с учетом почвенно-климатических условий и требований растений к условиям среды — один из путей повышения урожайности и степени ее стабильности.

Библиографический список

1. Бельшикина М.Е. Анализ и перспективы производства сои в России и мире. Кормопроизводство. 2013. № 7. С. 3–7.
2. Бельшикина М.Е. Современное состояние и перспективы мирового и российского рынков сои. Аграрная Россия. 2013. № 6. С. 7–11.
3. Бельшикина М.Е. Соя в Центральном Нечерноземье. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 128 с.
4. Бельшикина М.Е., Гатаулина Г.Г. Урожайность и элементы структуры урожая ультраскороспелого сорта сои Касатка при разных способах и густоте стояния растений // Известия ТСХА. 2010. № 6. С. 51–54.
5. Гатаулина Г.Г., Бельшикина М.Е. Рост и развитие раннеспелых сортов сои при разных сроках посева в Московской области // Кормопроизводство. 2012. № 3. С. 26–28.
6. Гатаулина Г.Г., Кошкин Е.И., Дьяков А.Б. и др. Зернобобовые культуры / Под ред. Е.И. Кошкина // Частная физиология полевых культур. М.: КолосС, 2005. С. 126–212.
7. Гатаулина Г.Г., Медведева Н.В. Белый люпин — перспективная кормовая культура. Достижения науки и техники АПК. 2008. № 10. С. 49–51.
8. Гатаулина Г.Г., Медведева Н.В., Штеле А.Л., Цыгуткин А.С. Рост, развитие, урожайность и кормовая ценность сортов белого люпина (*Lupinus albus* L.) селекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2013. № 6. С. 12–30.
9. Гатаулина Г.Г., Никитина С.С. Зернобобовые культуры: системный подход к анализу роста, развития и формирования урожая: Монография. Сер.: Научная мысль. М.: Инфра-М, 2016. 242 с.
10. Гатаулина Г.Г., Соколова С.С. Динамика нарастания биомассы и семенная продуктивность люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.), сои (*Glycine max* (L.) Merr.) и кормовых бобов (*Vicia faba* L.) в Центральном Нечерноземье // Кормопроизводство. 2013. № 11. С. 13–16.

11. *Гатаулина Г.Г., Соколова С.С., Бельшикина М.Е.* Системный подход к анализу динамических характеристик продукционного процесса у зерновых бобовых культур // Известия ТСХА. 2014. № 2. С. 69–95.
12. *Дебелый Г.А.* Зернобобовые культуры в Нечерноземной зоне РФ. Москва; Немчиновка: НИИСХ ЦРНЗ, 2009. 260 с.
13. *Зайцев Н.И., Бочкарев Н.И., Зеленцов С.В.* Перспективы и направления селекции сои в России в условиях реализации национальной стратегии импортозамещения // Масличные культуры: Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2016. Вып. 2 (166). С. 3–11
14. *Зотиков В.И.* Роль зернобобовых и крупяных культур в адаптивности и диверсификации растениеводства // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 3 (11). С. 3–11.
15. *Кобозева Т.П.* Научно-практические основы интродукции и эффективного возделывания сои в Нечерноземной зоне Российской Федерации: Автореф. дисс. докт. с.-х. наук. Орел: ФГОУ ВПО ОГАУ, 2007. 39 с.
16. *Лукомец В.М., Кочегура А.В., Баранов В.Ф., Махонин В.Л.* Соя в России — действительность и возможность // ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта Россельхозакадемии. Краснодар, 2013. 99 с.
17. *Наумкин В.Н., Наумкина Л.А., Сергеева В.А., Артюхов А.И., Лукашевич М.И.* Перспективы культуры люпина в Центрально-Черноземном регионе // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 1. С. 27–29.
18. *Посытанов Г.С.* Биологический азот. Проблемы экологии и растительного белка: Монография. М.: Инфра-М, 2015. 251 с.
19. *Соколова С.С., Гатаулина Г.Г.* Продолжительность вегетации и особенности формирования урожая зернобобовых культур на дерново-подзолистых почвах Центрального региона // Известия ТСХА. 2011. № 1. С. 19–23.
20. *Устюжанин А.П.* Стратегия развития соевого комплекса России // Земледелие. 2010. № 3. С. 3–6.
21. ФАО. Интернет-ресурс: <http://faostat3.fao.org/home/E>.
22. ФАО. Региональная конференция ФАО для Европы, 30-я сессия. Цели в области устойчивого развития и их влияние на развитие сельского хозяйства и сельских районов в регионе Европы и Центральной Азии // (ERC/16/3, <http://www.fao.org/3/a-mp172r.pdf>). Анталья, Турция, 4–6 мая 2016 г.
23. Целевая отраслевая программа «Развитие производства и переработки сои в Российской Федерации на период 2014–2020 гг.» // Соя России. М.: Минсельхоз России, 2014. 89 с.
24. *Чекмарев П.А., Артюхов А.И.* Рациональные подходы к решению проблемы белка в России // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 6. С. 5–8.
25. *Baddeley J.A., Jones S., Topp C.F.E., Watson C.A., Helming J., Stoddard F.L.* Biological nitrogen fixation (BNF) by legume crops in Europe. Legume Futures Report 1.5. 2013: Available from www.legumefutures.de.
26. *Board J.E., Kahlon C.S.* Soybean Yield Formation: What Controls It and How It Can Be Improved, Soybean Physiology and Biochemistry, Prof. Hany El-Shemy (Ed.). 2011. 488 p.
27. *Irwin S., Good D.* «Forming Expectations for the 2016 U.S. Average Soybean Yield: What About El Niño?» farmdoc daily (6):46. Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign. March 9, 2016. Permalink: <http://farmdocdaily.illinois.edu/2016/03/expectations-for-2016-us-average-soybean-yield.html>.
28. *Schläpke N., Zander P., Reckling M., Hecker J.-M., Bachinger J.* Evaluation of legume-supported agriculture and policies at farm level. Legume Futures Report 4.3. 2014. Available from www.legumefutures.de.

VARIABILITY OF YIELD AND STRESS FACTORS IN LEGUMES

G.G. GATAULINA, M.E. BELYSHKINA, N.V. MEDVEDEVA

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

The article is a review paper which considers the role of legumes in modern crop farming and soil management and analyzes the factors which cause yield variability and limit yield capacity and stability in these crops. The FAO data on production status and yield levels of the main leguminous crops in the world and in particular countries were used, moreover, research papers devoted to searching and analysis of factors limiting the yield formation of soybean and some other legumes were thoroughly studied.

The role of legumes in modern arable farming is enhanced due to the need to increase plant protein production for the processing industry, livestock development, as well as for balanced diet of people. Growing legumes has a long-term positive impact on productivity and production quality of subsequent crops in a crop rotation, the environmental situation being improved.

Legumes use atmospheric nitrogen through symbiosis with bacteria of Rhizobium class. The consumption of carbohydrates for nitrogen fixation designates lower yields of these crops. Any stress factor which reduces nitrogen fixation (inadequate inoculation, low pH, drought, etc.) can cause a nitrogen deficiency and result in yield losses. The applied mineral nitrogen is used by plants, but inhibits the formation and development of nodules.

The article reflects the importance of knowledge of all the features of the production process when growing legumes and also of the use in agricultural production of high-yielding varieties and technologies, adapted to the specific environmental conditions.

Key words: legumes, soybean, peas, alfalfa, variability in yield, growth and development, stress factors, adapted varieties and production technologies.

References

1. *Belyshkina M.E.* Analiz i perspektivy proizvodstva soi v Rossii i mire [Analysis and prospects for soybean production in Russia and in the world]. *Kormoproizvodstvo. Fodder Production.* 2013. № 7. P. 3–7.
2. *Belyshkina M.E.* Sovremennoe sostoianie i perspektivy mirovogo i rossiiskogo rynkov soi [Current state and prospects of Russian and global soybean markets]. *Agrarnaia Rossiia. Agrarian Russia.* 2013. № 6. P. 7–11.
3. *Belyshkina M.E.* Soia v Tsentral'nom Nechernozem'e [Soybeans in the Central Nonchernozem Belt]. Moscow. Publishing house of Russian Timiryazev State Agrarian University. 2012. 128 p.
4. *Belyshkina M.E., Gataulina G.G.* Urozhainost' i elementy struktury urozhaiia ul'traskorospelogo sorta soi Kasatka pri raznykh sposobakh i gustote stoianiiia rastenii [Yield and yield structure elements of ultra-early ripening soybean variety Kasatka with different cultivation methods and crop density]. *Izvestiya of TSKhA. Journal of Timiryazev Agricultural Academy.* 2010. № 6. P. 51–54.
5. *Gataulina G.G., Belyshkina M.E.* Rost i razvitie rannespelykh sortov soi pri raznykh srokakh poseva v Moskovskoi oblasti [The growth and development of early maturing soybean cultivars depending on different sowing dates in the Moscow region]. *Kormoproizvodstvo. Fodder Production.* 2012. № 3. P. 26–28.
6. *Gataulina G.G., Koshkin E.I., D'iakov A.B. i dr.* Zernobobovye kul'tury. Chastnaia fiziologiia polevykh kul'tur. [Legume crops. Special physiology of field crops]. Moscow. KolosS. 2005. P. 126–212.

7. *Gataulina G.G., Medvedeva N.V.* Belyi liupin — perspektivnaia kormovaia kul'tura [White lupine is a promising fodder crop]. *Dostizheniia nauki i tekhniki APK. Advances in science and technology of Agro-industrial complex.* 2008. № 10. P. 49–51.

8. *Gataulina G.G., Medvedeva N.V., Shtelev A.L., Tsygutkin A.S.* Rost, razvitie, urozhainost' i kormovaia tsennost' sortov belogo liupina (*Lupinus albus* L.) selektsii RGAU–MSKhA imeni K.A. Timiriyazeva [Growth, development, yield and feeding value of varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.) bred in Russian Timiryazev State Agrarian University]. *Izvestiya of TSKhA. Journal of Timiryazev Agricultural Academy.* 2013. № 6. P. 12–30.

9. *Gataulina G.G., Nikitina S.S.* Zernobobovye kul'tury: sistemnyi podkhod k analizu rosta, razvitiia i formirovaniia urozhaiia [Legumes: a systematic approach to the analysis of the growth, development and yield formation]. Moscow. Infra-M Publ. 2016. 242 p.

10. *Gataulina G.G., Sokolova S.S.* Dinamika narastaniia biomassy i semennaia produktivnost' liupina uzkolistnogo (*Lupinus angustifolius* L.), soi (*Glycine max* (L.) Merr.) i kormovykh bobov (*Vicia faba* L.) v Tsentral'nom Nechernozem'e [The dynamics of the growth of biomass and seed production of blue lupine (*Lupinus angustifolius* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) and broad beans (*Vicia faba* L.) in the Central Nonchernozem Belt]. *Kormoproizvodstvo. Fodder Production.* 2013. № 11. P. 13–16.

11. *Gataulina G.G., Sokolova S.S., Belyshkina M.E.* Sistemnyi podkhod k analizu dinamicheskikh kharakteristik produktsionnogo protsessa u zernovykh bobovykh kul'tur [A systematic approach to the analysis of the dynamic characteristics of the production process of grain legumes]. *Izvestiya of TSKhA. Journal of Timiryazev Agricultural Academy.* 2014. № 2. P. 69–95.

12. *Debelyi G.A.* Zernobobovye kul'tury v Nechernozemnoi zone RF [Legumes in the Nonchernozem zone of Russia]. Moscow. Nemchinovka: TSRNZ Agricultural Research Institute. 2009. 260 p.

13. *Zaitsev N.I., Bochkarev N.I., Zelentsov S.V.* Perspektivy i napravleniia selektsii soi v Rossii v usloviakh realizatsii natsional'noi strategii importozameshcheniia [Prospects and soybean breeding areas in Russia under the conditions of implementation of the national strategy of import substitution]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno–tekhnicheskii biulleten' Vserossiiskogo nauchno–issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur.* [Proc. of All–Russia Research Institute of Oilseed crops]. 2016. № 2 (166). P. 3–11

14. *Zotikov V.I.* Rol' zernobobovykh i krupianykh kul'tur v adaptivnosti i diversifikatsii rastenievodstva [The role of legumes and cereals in crop diversification and adaptability]. *Zernobobovye i krupianyie kul'tury. Legumes and cereals.* 2014. № 3 (11). P. 3–11.

15. *Kobozeva T.P.* Nauchno–prakticheskie osnovy introduktsii i effektivnogo vozdel'vaniia soi v Nechernozemnoi zone Rossiiskoi Federatsii. Dokt. Diss. [Scientific and practical bases for the introduction and effective cultivation of soybeans in the Non–chernozem zone of the Russian Federation. Thesis abstract. Dr. agric. sci. diss.]. Orel. 2007. 39 p.

16. *Lukomets V.M., Kochegura A.V., Baranov V.F., Makhonin V.L.* Soia v Rossii — deistvitel'nost' i vozmozhnost' [Soybean in Russia: the reality and possibilities]. *VNII maslichnykh kul'tur im. V. S. Pustovoita Rossel'khozakademii* [Proc. of All–Russia Research Institute of Oil Crops by V.S. Pustovoit]. Krasnodar. 2013. 99 p.

17. *Naumkin V.N., Naumkina L.A., Sergeeva V.A., Artiukhov A.I., Lukashevich M.I.* Perspektivy kul'tury liupina v Tsentral'no-Chernozemnom regione [Prospects of lupine cultivation in the Central Chernozem Zone]. *Dostizheniia nauki i tekhniki APK. Advances in science and technology of Agro-industrial complex.* 2009. № 1. P. 27–29.

18. *Posypanov G.S.* Biologicheskii azot. Problemy ekologii i rastitel'nogo belka [Biological nitrogen. Problems of Ecology and vegetable protein]. Moscow. Infra-M Publ. 2015. 251 p.

19. *Sokolova S.S., Gataulina G.G.* Prodolzhitel'nost' vegetatsii i osobennosti formirovaniia urozhaiia zernobobovykh kul'tur na dernovo-podzolistykh pochvakh Tsentral'nogo regiona [The duration of the growing season and features of yield formation of leguminous crops on sod-podzolic soils of the Central region]. *Izvestiya of TSKhA. Journal of Timiryazev Agricultural Academy.* 2011. № 1. P. 19–23.

20. *Ustiuzhanin A.P.* Strategiiia razvitiia soevogo kompleksa Rossii [The development strategy of the soy complex in Russia]. *Zemledelie. Soil management.* 2010. № 3. P. 3–6.
21. FAO. Statistics Division. Available at: <http://faostat3.fao.org/home/E>.
22. FAO. Proc FAO Regional Conference for Europe, 30th Session. The objectives of sustainable development and their influence on the development of agriculture and rural development in the Europe and Central Asia. Antalya. Turkey. 4–6 May, 2016. Available at: ERC/16/3, <http://www.fao.org/3/a-mp172r.pdf>.
23. Tselevaia otraslevaia programma «Razvitie proizvodstva i pererabotki soi v Rossiiskoi Federatsii na period 2014–2020 gg.» (Soia Rossii). [The special-purpose program «Development of soy production and processing in the Russian Federation for the period of 2014–2020»]. Moscow. Russian Ministry of Agriculture. 2014. 89 p.
24. *Chekmarev P.A., Artiukhov A.I.* Ratsional'nye podkhody k resheniiu problemy belka v Rossii [Rational approaches to the solution of the protein problem in Russia]. *Dostizheniia nauki i tekhniki APK. Advances in science and technology of Agro-industrial complex.* 2011. № 6. P. 5–8.
25. *Baddeley J.A., Jones S., Topp C.F.E., Watson C.A., Helming J., Stoddard F.L.* Biological nitrogen fixation (BNF) by legume crops in Europe. *Legume Futures Report 1.5.* 2013: Available at: www.legumefutures.de.
26. *Board J.E., Kahlon C.S.* Soybean Yield Formation: What Controls It and How It Can Be Improved, *Soybean Physiology and Biochemistry*, Prof. Hany El-Shemy (Ed.). 2011. 488 p.
27. *Irwin S., Good D.* «Forming Expectations for the 2016 U.S. Average Soybean Yield: What About El Niño?» *farmdoc daily (6): 46*, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign. March 9, 2016. Available at: <http://farmdocdaily.illinois.edu/2016/03/expectations-for-2016-us-average-soybean-yield.html>.
28. *Schläpke N., Zander P., Reckling M., Hecker J.-M., Bachinger J.* Evaluation of legume-supported agriculture and policies at farm level. *Legume Futures Report 4.3.* 2014. Available at: www.legumefutures.de.

Гатаулина Галина Глебовна — д. с.-х. н., проф. кафедры растениеводства и луговых экосистем, гл. науч. сотр. лаборатории белого люпина РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 976-18-18; e-mail: gataulina35@mail.ru).

Бельшккина Марина Евгеньевна — к. с.-х. н., доц. кафедры растениеводства и луговых экосистем РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 976-18-18; e-mail: bely-mari@yandex.ru).

Медведева Наталья Викторовна — к. с.-х. н., вед. науч. сотр. лаборатории белого люпина РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; тел.: (499) 976-18-18).

Gataulina Galina Glebovna — Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Crop Production and Grassland Ecosystems, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-18-18; e-mail: gataulina35@mail.ru).

Belyshkina Marina Evgenievna — Ph.D. in Agriculture, Associate Professor of the Department of Crop Production and Grassland Ecosystems, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-18-18; e-mail: bely-mari@yandex.ru).

Medvedeva Natal'ya Viktorovna — Ph.D. in Agriculture, leading researcher of the Laboratory of White Lupine, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 49; tel.: +7 (499) 976-18-18).