УДК 631.582: 631.584: 577.3

ВЛИЯНИЕ СЕВООБОРОТОВ НА ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ В АГРОБИОГЕОЦЕНОЗАХ

ДУДКИНА Т.А.,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник,
ФГБНУ «Курский ФАНЦ», e-mail: dt5dt@mail.ru.

Реферат. В статье рассматриваются различные виды взаимоотношений между компонентами агроэкосистем и роль состава и чередования культур в севооборотах в их формировании. Антропогенное воздействие на потоки вещества и энергии должно снижать разомкнутость биологических циклов и, насколько это возможно, приблизиться в этом отношении к природным экосистемам. Плодородие почвы находится в зависимости от силы и направленности абиотических потоков и биологического круговорота веществ в биогеоценозах. Устойчивость аграрных экосистем обеспечивается, если в почву возвращаются в достаточном количестве элементы питания и органическое вещество. Севооборот относится к числу факторов, обладающих наряду с удобрениями и обработкой почвы, наибольшим регулирующим воздействием на круговорот веществ. Причём, при интенсивном ведении земледелия значение севооборота повышается. В статье освещается влияние севооборотного фактора и выращиваемых культур на количественные и качественные показатели органических остатков растительного происхождения, содержание органического вещества и питательных элементов в почве. Сельскохозяйственные культуры оказывают различное влияние на органическую часть почвы. Наибольшее количество растительных остатков в почве остаётся после многолетних трав. Регулируя состав и чередование культур в севооборотах, можно целенаправленно влиять на объёмы и качество поступающих в почву остатков растений возделываемых культур и, как следствие, на органическое вещество почвы. Выделена положительная роль приёмов биологизации земледелия, в частности, возделывание однолетних и многолетних бобовых культур, промежуточных посевов и сидерации, использование соломы на удобрение и почвенное плодородие. Севооборот влияет как на потоки веществ в агроэкосистемах, так и энергии. Описывается действие севооборотов на показатели биоэнергетики. Рассмотрен агроэнергетический подход применительно к продукционному процессу в агрофитоценозах и к показателям, характеризующим плодородие почвы.

Ключевые слова: севооборот, потоки веществ и энергии, плодородие, промежуточные культуры, сидерация.

INFLUENCE OF CROP ROTATIONS ON MATTER AND ENERGY FLOWS IN AGROBIOGEOCENOSES

DUDKINA T.A.,

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Crop Rotations and Plant Protection, FSBSI "All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control",
e-mail: dt5dt@mail.ru.

Essay. The article discusses various types of relationships between the components of agroecosystems and the role of the composition and alternation of crops in crop rotations in their formation. The anthropogenic impact on the flows of matter and energy should reduce the openness of biological cycles and, as far as possible, get closer to natural ecosystems in this regard. Soil fertility depends on the strength and direction of abiotic flows and the biological cycle of substances in biogeocenoses. The sustainability of agricultural ecosystems is ensured if nutrients and organic matter are returned to the soil in sufficient quantities. A crop rotation is among the factors that, along with fertilizers and tillage, has the greatest regulatory effect on cycling of substances. Moreover, in intensive farming the importance of a crop rotation increases. The article highlights the effect of a crop rotation factor and cultivated crops on quantitative and qualitative indicators of organic residues of vegetative origin, the content of organic matter and nutrients in the soil. Crops have different effects on the organic part of the soil. The largest amount of plant residues in the soil remains after perennial grasses.

By regulating the composition and alternation of crops in crop rotations, one can purposefully influence the amount and quality of crop residues of cultivated crops coming into the soil and, as a consequence, the organic matter of the soil. The positive role of agricultural greening practices, in particular, the cultivation of annual and perennial legumes, intermediate crops and green manure, the use of straw for fertilizer on soil fertility, is highlighted. A crop rotation affects both the flows of substances and energy in agroecosystems. The effect of crop rotations on bioenergy indicators is described. The agro-energy approach is considered in relation to the production process in agrophytocenoses and to the indicators characterizing soil fertility.

Keywords: crop rotation, flows of substances and energy, fertility, intermediate crops, green manure.

Введение. В.И. Вернадский [1] указывал, что на Земле нет более мощной и постоянно действующей химической силы, чем живое вещество с присущими ему вихревыми потоками атомов из живых организмов в косные природные тела и обратно.

Задача, которая стоит перед земледелием, заключается в создании ресурсо- и энергоэкономных агротехнологий с учётом сезонных потоков энергии в почвенно-растительной системе, улучшении качества получаемой продукции и более полной реализации средообразующего потенциала растений [2].

Для успешного решения этой задачи следует учитывать все многообразные и сложные взаимоотношения между компонентами биогеоценозов, подразделяющимися на живые (биоценозы) и косные. Отношения между живыми организмами многообразны, значительная часть их носит характер конкуренции за основные факторы жизни (свет, воду, питательные вещества).

Решающее влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур оказывает такой компонент биогеоценозов как почвенная среда. Почва обладает важнейшим свойством – плодородием, которое трактуется как «способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности», согласно ГОСТ 27593-88 (СТ СЭВ 5298-85) «Почвы. Термины и определения».

Агроэкосистема будет устойчивой, если в процессе её функционирования происходит возврат необходимого количества органического вещества и биогенных элементов, отчуждаемых с урожаем. В сбалансированной и стабильной системе должно быть обеспечено сохранение способности почвы являться фактором получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур [3].

Стремление производителей получить максимальный урожай сопровождается увели-

чением выноса питательных веществ и, следовательно, усложняет задачу их возврата.

Цель исследований - установление роли севооборотов в движении вещества и энергии в агробиогеоценозах и формировании почвенного плодородия.

Результаты и их обсуждение. Для правильной характеристики экологической системы следует принимать во внимание и анализировать все абиотические потоки, входящие в экосистему и выходящие из неё как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях, и основные обменные процессы биотического круговорота [4].

Можно выделить следующие процессы биотического круговорота (по Титляновой А.А. [4], применительно к естественным фитоценозам): образование надземной продукции, отмирание надземной фитомассы и переход её в ветошь, образование подстилки из ветоши, разложение подстилки, прирост подземных органов, т.е. образование подземной продукции, отмирание подземных органов, разложение мёртвых подземных органов. Интенсивность процессов биотического круговорота значительно выше интенсивности абиотических процессов. Автор также отмечает, что пути, по которым проходят элементы питания и углерод в фитоценозе, довольно сложны и ещё слабо изучены.

Биотический круговорот является главным механизмом перераспределения углерода между атмосферой и почвой и таких элементов как N, P, K, Ca – между почвой и растениями. Следует специально отметить, что биотический круговорот обеспечивает непрерывное движение атомов по круговым траекториям, в то время как водная миграция (поверхностный сток) непрерывно работает в одном направлении – сверху вниз по катене, и результаты её деятельности суммируются.

Желательно, чтобы в сельскохозяйственном производстве организуемые человеком процессы, а также контролируемые им потоки

вещества и энергии были максимально приближены к таковым в естественных условиях. Должно присутствовать стремление к замкнутости биологических циклов. Хотя понятно, что в условиях поля, когда многие факторы не подвластны человеку, добиться этого практически невозможно, можно лишь сократить разомкнутость.

От силы и направленности абиотических потоков и биологического круговорота веществ в биогеоценозах зависит плодородие почвы. Чтобы его охарактеризовать, нет какого-то одного критерия, а оценка даётся по комплексу почвенных и иных показателей.

Существует много способов положительного влияния на плодородие почвы. В число их входит и севооборот. Причём, такой фактор как севооборот, можно поставить в один ряд с применением удобрений органического и минерального состава и механической обработкой почвы, как главных из них. Важной задачей является также проектирование рациональной структуры посевных площадей.

Особая роль севооборота заключается в том, что, благодаря ему, варьируя составом культур и их чередованием, можно управлять параметрами и режимами природных и изменённых в результате человеческой деятельности потоков вещества и энергии. Роль севооборота, как фактора биологизации земледелия, в решении актуальных задач по воспроизводству плодородия почвы, поддержания благоприятного фитосанитарного состояния полей, получения продукции, отвечающей экологическим требованиям, значительно повышается с увеличением уровня интенсификации земледелия [5, 35].

Малый биологический (биотический) круговорот веществ заключается в многократной циркуляции биогенных веществ между организмами и окружающей средой и включает в себя находящиеся во взаимодействии процессы синтеза и разрушения органических соединений. Такой круговорот, по сути, осуществляется в системе, где два главных компонента: почва и растение. Особенно большое значение он имеет в почвообразовании.

Только часть биомассы выращенных растений вывозится с поля и используется человеком непосредственно для своих нужд. Другая часть, которую называют нетоварной, остаётся в поле. Эта часть у разных культурных видов имеет значительные различия по массе и по химическому составу. Естественно, от набора и чередования культур в севооборотах зависит количество и качество поступаю-

щих в почву растительных остатков, а это обуславливает характер и интенсивность превращений и движения вещества и энергии в почве и в целом в агробиоценозе.

Органическое почвенное вещество в организации биогеоценоза и плодородия почв выполняет различные функции. Около 10-25 % растительного опада расходуется на гумификацию [6, 36]. Образование гумуса при высокой степени разложения органического вещества – отличительная характеристика культурного почвообразования, свидетельствующая об интенсификации происходящих в почве процессов минерализации и трансформации органического вещества, увеличении скорости и ёмкости круговорота веществ и энергии в агроценозе под воздействием окультуривания [7].

Запасы почвенной органики пополняются, главным образом, за счёт остатков сельскохозяйственных растений. Есть такие сельскохозяйственные культуры, которые при определённых условиях способны поддерживать бездефицитный баланс гумуса. Это многолетние травы, которые при использовании в течение двух-трёх лет не только оказывают на почву оструктурирующее воздействие, но и оставляют после себя в почве до 8 т/га абсолютно сухих растительных остатков, богатых азотом, фосфором, калием и другими питательными веществами, что эквивалентно внесению 30-35 т/га навоза хорошего качества с сохранением благоприятной экологической ситуации в агроландшафтах [8].

Исследования в различных земледельческих зонах показывают, что наибольшим содержание растительных остатков в почве бывает после многолетних трав, наименьшим – после пропашных культур. Среднее положение в этом ряду занимают культуры, выращиваемые с целью получения зерновой продукции. Зная это, можно прогнозировать совокупное действие всего севооборота на динамику органического вещества в почве.

Показательны в этом отношении данные опытов Воронежского ГАУ [9]. Наиболее высокие темпы накопления растительных остатков отмечены под люцерной в первые два года пользования (прирост составлял 67-87 % общей массы), а также бобово-злаковыми травосмесями (прирост 7-15 т/га).

Результаты полевых исследований, проведенных во ВНИИСС [10] позволяют назвать группу культур, растительные остатки которых в наибольшей степени обогащают почву питательными веществами. Это клевер, вико-

овсяная смесь, горох. Названные культуры в наибольшей степени положительно влияли на плодородие почвы и на получение хорошего урожая культуры, идущей вслед за ними в севообороте - озимой пшеницы.

В опытах Ставропольского НИИСХ [11] наибольшее количество элементов питания поступало в почву с растительными остатками эспарцета и смеси озимой вики с озимой пшеницей на корм.

Меняя соотношение посевных площадей разных полевых культур в севообороте, можно управлять объёмами и качеством органического вещества, поступающими с растительными остатками [8]. Его количество может быть существенно увеличено за счёт расширения посевов многолетних трав, промежуточных культур, занятых паров, тогда как увеличение удельного веса пропашных культур, чистых паров в севообороте приводит к резкому снижению поступления растительных остатков в почву. Эти динамические процессы прямо связаны с балансами органического вещества и гумуса в почве.

Не меньшее значение, чем количество послеуборочных остатков, имеет их качество, прежде всего содержание в них азота, значительная часть которого находится в легкогидролизуемой форме. Растительные остатки бобовых культур имели высокое содержание азота, запасы его в них составляли от 0,42 до 1,41 ц/га [12].

Установлено, что культуры, предшествовавшие озимой пшенице, оказывали влияние на химический состав не прошедших стадию гумификации остатков сахарной свёклы. При размещении последней в звене: чёрный пар – озимая пшеница – сахарная свёкла в растительных остатках содержалось более 2% азота, было самое узкое соотношение углерода к азоту – 17 [13].

Характер изменения величины C:N, отражая зональные особенности почвообразования и сельскохозяйственного использования почв, непосредственно связан со степенью разложения органического вещества, интенсивностью микробиологических и ферментативных процессов. Математический анализ подтвердил наличие тесной корреляционной зависимости между величиной C:N и степенью разложения органического вещества (коэффициент корреляции колеблется от 0,70 до 0,90), а также между содержанием гумуса, значением C:N и урезуемой активностью [7].

Сахарная свёкла нитратным азотом лучше была обеспечена в звеньях с многолетними,

однолетними травами и горохом. Что касается фосфора и калия в обменной форме, то заметных различий в их содержании в почве под сахарной свёклой в разных звеньях севооборота не отмечено [14].

Биомасса остатков многолетних трав способна быстро разлагаться и выделять элементы питания в доступной для растений форме.

Ощутимый недостаток органических удобрений вынуждает активнее осуществлять биологизацию земледелия, основным фактором которой является севооборот, действие которого усиливается применением сидератов, соломы, навоза. Одним из направлений биологизации является более широкое использование бобовых трав, причём не только в полевых, но и в севооборотах кормового направления и различных специализированных севооборотах [15].

Важным резервом биологизации земледелия является уплотнение севооборотов промежуточными посевами. К промежуточным культурам относятся культуры, которые возделывают в промежутках между выращиванием основных культур или в междурядьях основных культур. Эти культуры пополняют кормовую базу животноводства и, кроме того, играют важную экологическую роль, расширяя возможности плодосмена. Корневые и пожнивные остатки промежуточных культур служат также дополнительным источником пополнения запасов органического вещества в почве. При насыщении севооборота этими культурами повышается эффективность использования пашни. Если условия возделывания благоприятствуют этому, то промежуточные культуры могут использоваться на зелёное удобрение [5].

Эффективным приёмом обогащения почвы органическим веществом, макро- и микроэлементами и, следовательно, повышения почвенного плодородия является сидерация.

Большой удобрительной ценностью и положительным влиянием на баланс органического вещества в дерново-подзолистой почве обладает органическая масса промежуточных сидератов – белой горчицы, рапса озимого и ярового, масличной редьки, фацелии и других промежуточных культур [8]. Их использование на зелёное удобрение в сочетании с удобрением соломой и применением минеральных удобрений позволяет поддерживать положительный баланс гумуса дерново-подзолистых почв Нечернозёмной зоны и обеспечивать удобрительный эффект, равный внесению 30-35 т/га навоза. Это говорит о необходимости

расширения объёмов пожнивной сидерации в районах достаточного увлажнения и при орошении.

В полевых универсальных и специализированных севооборотах зелёное удобрение является полноценной заменой навоза и других органических удобрений [16].

В Нечернозёмной зоне при высокой концентрации зерновых культур в севообороте негативный эффект этого в значительной мере нивелируется за счёт применения пожнивно на сидерат горчицы белой. В этом случае урожайность зерновых культур была такая же, как и в плодосменном севообороте [17].

В Центральном Черноземье эффективным удобрительным средством в условиях недостатка навоза и минеральных удобрений является сидеральный пар, который следует практиковать в широких масштабах [18].

Совместные исследования ВНИИСХМ и ВНИПТИОУ [19] показали, что сидераты, применяемые в паровых полях, выполняют двоякую роль. С одной стороны, являясь носителем легкомобилизуемого органического вещества, они вызывают интенсивное развитие микрофлоры, которая принимает участие в процессах минерализации остатков растений и гумуса почвы, что влечёт за собой улучшение обеспечения растений элементами питания и, как следствие, улучшение их роста и развития. С другой стороны, поступающее с сидератами в почву органическое вещество вносит вклад в гумусный фонд почвы.

Сказанное выше подтверждается данными, полученными в Воронежском ГАУ [15]. При проведении сидерации поступление органического вещества в почву увеличивалось. При замене чёрного пара донниковым и эспарцетовым сидеральным паром в почву поступало 8-12 т/га органического вещества, что равноценно внесению навоза в дозе 40 т/га. В результате в севообороте снижались потери гумуса на 50-70 % по сравнению с контрольным вариантом. Использование многолетних бобовых трав на сидерат позволило сократить дозу внесения минерального азота на 60 кг д.в., не ухудшая условий минерального питания растений.

Зелёное удобрение, образно говоря, катализирует процессы распада растительных остатков в почве [20]. Следует обратить внимание, что при этом важен выбор культуры на зелёное удобрение [21].

Длительность позитивного влияния сидератов на показатели плодородия почвы и продуктивность культур - 3-6 лет, в зависимости,

в первую очередь, от количества поступающей растительной массы [22].

Опыты, проведенные в Центральном Черноземье [18] показали, что продуктивность всех возделываемых культур, как правило, повышалась в вариантах, включающих сидерацию, промежуточные посевы, применение повышенных норм навоза и внесение соломы в качестве удобрения.

Следует отметить микробиологический аспект заделки в почву органического вещества, его участия в циркуляции веществ и его воздействия на плодородие почвы. Большая роль в этом по праву отдаётся составу и чередованию культур в севообороте. Поступление в почву различного количества и качества растительных остатков создаёт неодинаковые условия для прохождения процессов микробиологической трансформации органического вещества почвы, их скорости и направленности.

Почвенные организмы относятся к гетеротрофам, то есть они нуждаются в потреблении органического вещества, обеспечивающего их пищей и энергией. Решающее влияние на протекание в почве микробиологических процессов оказывают растительные остатки и удобрения в органической форме с широким отношением углерода к азоту. Установлено, что высокоэффективным удобрительным средством являются зелёные удобрения [23].

Известно, что сидеральное удобрение (горчица и др.) содержит много азота, углеводов и других веществ, создающих хорошую питательную среду для микроорганизмов, находящихся в почве. Внесение сидератов в почву значительно изменяет в количественном и качественном отношении состав микрофлоры. Как правило, это приводит к интенсификации микробиологических процессов [24].

Исследования, проведенные нами в Курской области [25], показали, что сидерация является средством детоксикации почвы и повышения её биологической активности. В почве под озимой пшеницей, возделываемой по сидеральному пару, в сравнении со звеньями с чёрным и занятым паром, повышалась интенсивность выделения углекислого газа из почвы, протеолитическая активность и снижалась токсичность почвы.

Повышение общей биогенности и протеолитической активности почвы, а также снижение её токсичности при возделывании озимой пшеницы в звене с применением зелёного удобрения в паровом поле способствовало

улучшению условий для роста и развития культурных растений и получению более высокого урожая.

Состав и чередование культур относятся к числу факторов, которые значительно влияют на режим влажности почвы. От гидрологических условий зависят рост и развитие культурных растений и, как следствие, их урожайность, а также направленность и интенсивность превращений органических веществ, в частности, растительных остатков и других процессов в почве.

В лесостепи Центрального Черноземья занятые пары продуктивнее, чем чистые, используют влагу выпадающих весенне-летних осадков [26].

В полевых исследованиях в Белгородской области [14] запасы доступной влаги в 1,5-метровом слое почвы после уборки озимой пшеницы в звеньях с чёрным паром, горохом и кукурузой на силос были несколько выше, чем в остальных звеньях.

Формирование запасов почвенной влаги к севу озимой пшеницы во всех зонах идёт на занятых парах с заметным преимуществом по сравнению с непаровыми предшественниками. Однако в засушливой и крайне засушливой зонах влагообеспеченность озимой пшеницы по занятым парам часто недостаточна для получения своевременных и дружных всходов. В зонах, характеризующихся недостатком влаги (неустойчивого увлажнения), и в зоне достаточного увлажнения запас почвенной влаги в обрабатываемом слое после полей с занятым паром позволяет получить хорошие всходы озимой пшеницы. В то же время он сильно зависит от вида пара. Наибольший запас влаги в пахотном слое почвы, близкий к параметрам чистых паров, наблюдается на парах, занятых эспарцетом и бобово-злаковыми смесями [27].

Севообороты на равнине отличаются от севооборотов на склоновых землях. При формировании последних учитываются экспозиция склона, его крутизна, почвенные условия, интенсивность эрозионных процессов, в частности, показатели стока и смыва, почвозащитная способность сельскохозяйственных культур.

При решении вопроса о размещении культур с учётом рельефа местности на северных склонах и плато водораздела следует отдавать предпочтение посевам наиболее ценных и требовательных к плодородию почвы культур. При этом агротехника их возделывания должна быть оптимально адаптирована к сложив-

шимся условиям на различных элементах рельефа [28].

Севооборот значительное влияние оказывает не только на потоки вещества в агроэкосистемах, но и энергии. В последние годы при проектировании агротехнологий, вопросам энергосбережения и повышения энергетической эффективности выращивания сельскохозяйственных культур уделяется довольно много внимания.

Биоэнергетическая оценка выполняется путём сравнения совокупных затрат энергии, затрачиваемых на производство продукции и энергии, которая накапливается в урожае. Универсальным показателем, позволяющим сравнивать различные варианты, является биоэнергетический коэффициент. Если он больше единицы, то технология энергетически эффективна.

Известно, что экосистема – это саморегулирующая термодинамическая открытая система, тогда как агроэкосистема нуждается в притоке антропогенной энергии для коррективы её функционирования [29].

Баланс органического вещества в агроценозе может быть выражен в энергетических показателях [30]. Приходная часть его представлена энергетическим эквивалентом гумуса в почве, минеральных и органических удобрений, растительных остатков, семян при посеве культур. Авторами разработана методика определения баланса энергетических потоков, что даёт возможность конструировать адаптивно-экологические севообороты. В статью приходят масса сидеральных культур и другие поступающие органические вещества. В расходную статью включались урожайность основной и побочной продукции, минерализованный гумус.

Агроэнергетический подход применительно к продукционному процессу в полевых растительных сообществах и к показателям, характеризующим плодородие почвы, позволяет производить построение севооборотов, учитывая баланс энергии надземной и подземной массы растений. Универсальность метода заключается в возможности перевода в сопоставимые энергетические единицы надземной массы возделываемых культур, содержания в почве гумуса, пожнивно-корневых остатков.

Включение в севооборот бобовых трав и зерновых бобовых культур обеспечивает поддержание продуктивности возделываемых культур и существенное снижение затрат техногенной энергии. Баланс энергетических затрат и на-

копленной энергии в урожае зерновых бобовых культур, выращенных в одновидовых посевах и поликультуре, свидетельствует об их высокой энергетической эффективности на фосфорно-калийном фоне [31].

В условиях Рязанской области максимальный энергетический коэффициент при выращивании озимой пшеницы получен в звене севооборота с клеверным сидеральным паром, на 30 % она была ниже в звене с сурепицей на сидерат. Установлено, что в годы с достаточной влагообеспеченностью при возделывании озимой пшеницы по сидеральному пару энергетические затраты были значительно ниже, чем по чистому пару [32].

В опытах Тверской ГСХА [33] значительные превышения прихода энергии над расходом в агроценозе установлены для трав второго-третьего года пользования и ячменя. Отмечено, что наибольшая потеря энергии происходила в посевах картофеля.

Данные, полученные нами, показали [34], что самая низкая энергетическая ёмкость основной продукции отмечена в зернопаропропашном севообороте, а самая высокая – в плодосменном. Но при этом севооборот по типу плодосмена обеспечивал самые высокие, в

сравнении с другими севооборотами, чистый энергетический доход и энергетическую эффективность. Зернопаропропашной севооборот с сидеральным паром уступал по всем энергетическим показателям зернопаропропашному севообороту с чёрным паром.

Таким образом, создание эффективных современных агротехнологий, обеспечивающих получение большого количества качественной и экологически чистой продукции и, в то же время, предусматривающих экономное расходование вещественных и энергетических ресурсов, возможно только при учёте всех косных и биокосных компонентов биогеоценозов, сложных и многообразных отношений между ними, а также перемещений и превращений веществ и энергии в этих природно-антропогенных сообществах.

Особое внимание должно быть уделено приёмам биологизации земледелия, позволяющим снизить техногенную нагрузку, максимально приблизить агроэкосистемы к природным аналогам, повысить их устойчивость и улучшить экологическое состояние, в чём существенную роль призваны сыграть научно обоснованные севообороты.

Список использованных источников

1. Вернадский В.И. К вопросу о химическом составе почв // Избр. соч. – М.: Изд. АН СССР, 1960.
2. Каштанов А.Н., Ермаков Е.И., Якушев В.П. Биологические и агрофизические основы моделирования экологически адаптивных почвенно-растительных систем в агроландшафтном земледелии // Доклады РАСХН. – 1999. – № 3. – С. 3-7.
3. Коржов С.И., Трофимова Т.А., Ожерельев В.Н. Роль севооборотов в сохранении плодородия почвы // В кн.: Наука, образование и инновации в современном мире: материалы Национальной научно-практической конференции (Воронеж, 20-21 марта 2018 г.). – Воронеж: Изд-во ВГАУ, 2018. – С. 18-24.
4. Титлянова А.А. Биотический круговорот – преграда выносу химических элементов из почвы // Материалы Пятой конференции «Математическое моделирование в экологии» ЭкоМатМод-2017 (г. Пущино, Россия). – Пущино, 2017. – С. 214-218.
5. Дудкин В.М., Дудкин И.В. Пути усиления роли севооборота как биологического фактора в современных системах земледелия // Почвозащитное земледелие в России / Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 45-летию ВНИИЗиЗПЭ (Курск, 15-17 сентября 2015 г.). – Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2015. – С. 109-112.
6. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. – М.: Агропромиздат, 1989.
7. Плодородие почв и устойчивость земледелия (агроэкологические аспекты) / И.П. Макаров, В.Д. Муха, Н.И. Картамышев и др.; Под ред. И.П. Макарова и В.Д. Мухи. – М.: Колос, 1995. – 288 с.
8. Лошаков В.Г. Роль растительных остатков в воспроизводстве плодородия дерново-подзолистых почв // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия / Сборник докладов научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева», посвящённой Международному году почв (Курск, 22 апреля 2016 г.). – Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2016. – С. 162-167.
9. Дедов А.В. Роль многолетних трав в повышении плодородия чернозёмов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – № 1(32). – С. 12-15.
10. Дудкин В.М., Павлюченко А.У. Накопление и разложение растительных остатков полевых культур в почве // Агрохимия. – 1980. – №3. – С. 72-77.

11. Гончаров Б.П. Питательный режим почвы // Чистые и занятые пары. – Ставрополь: Ставропольское кн. изд-во, 1986. – С. 88-97.
12. Турусов В.И., Недоцук Е.В. Роль пожнивно-корневых остатков в формировании почвенного плодородия // Пути сохранения плодородия почвы и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья / Материалы заседания Территориального координационного совета «Проблемы земледелия ЦЧЗ» (Каменная Степь, 29 мая 2009 г.). Ч.1. – Воронеж: Истоки, 2009. – С. 111-113.
13. Зезюков Н.И. Динамика растительных остатков в почве при различных способах возделывания культур в посевах на выщелоченном чернозёме: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / 06.01.01 – общее земледелие. – Воронеж, 1980. – 21 с.
14. Бабич В.Г. Обоснование размещения сахарной свёклы в севооборотах юго-западной части Центрального Черноземья: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / 06.01.01 – общее земледелие. – Курск, 1993. – 19 с.
15. Дедов А.В. Биологизация земледелия – основа сохранения плодородия чернозёмов // Земледелие. – 2002. - № 2. – С. 10.
16. Сычёв В.Г., Лошаков В.Г. Оценка экологических и фитосанитарных функций зелёного удобрения // Сб.: Новые методы и результаты исследования ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. – Москва, 2018. – С. 149-153.
17. Лошаков В.Г., Иванов Ю.Д., Николаев В.А. Пути биологизации земледелия Нечернозёмной зоны России // Севооборот в современном земледелии / Сборник докладов Международной научной конференции. – М.: Изд-во МСХА, 2004. – С. 161-165.
18. Дудкин В.М. Научные принципы разработки структуры посевов и систем севооборотов в ландшафтном земледелии // Рациональное землепользование и способы защиты растений в реальных условиях ведения хозяйства / Материалы научно-практической конференции (февраль 1998 г.). – Курск, 1998. – С. 24-27.
19. Сидераты как фактор биологизации земледелия / Ю.М. Возняковская, Ж.П. Попова, М.Н. Новиков и др. // Земледелие. – 1999. - № 1. – С. 44.
20. Дудкин В.М. Проблемы совершенствования севооборотов в ландшафтном земледелии // Доклады научно-практической конференции «Проблемы ландшафтного земледелия» (г. Курск, 22-23 марта 1995 г.). – Курск, 1997. – С. 150-155.
21. Королёв Н.Н., Морозова Е.В., Кузнецова Л.П. Биологизация севооборотов – основа сохранения плодородия почв // Агро XXI. – 2009. - № 10-12.
22. Кормилицын В.Ф. Развивать сидерацию в Поволжье // Земледелие. – 1999. - № 1. – С. 28.
23. Возняковская Ю.М. Биологические основы эффективного плодородия // Земледелие. – 1988. - № 3. – С. 26-28.
24. Лошаков В.Г. Эффективность совместного использования севооборота и удобрений // Плодородие. – 2016. - № 2(89). – С. 37-40. (б).
25. Дудкина Т.А., Дудкин И.В. Биологическая активность и токсичность почвы под озимой пшеницей в зависимости от севооборота и удобрений // Чернозёмы Центральной России: генезис, география, эволюция / Материалы Международной научной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения основателя Воронежской школы почвоведов Прокопия Гавриловича Адерихина (25-28 мая 2004 г.). - Воронеж, 2004. - С. 348-351.
26. Сидоров М.И. Научные и агротехнические основы чередования культур в полевых севооборотах Центрального Черноземья. – Воронеж: ВСХИ им. К.Д. Глинки, 1978. – 60 с.
27. Желнакова Л.И., Хомко В.Г. Накопление и сохранение почвенной влаги // Чистые и занятые пары. – Ставрополь: Ставропольское кн. изд-во, 1986. – С. 15-34.
28. Карипов Р.Х., Диденко С.В., Тлеппаева А.А. Водный режим почвы и урожайность зерновых культур на различных агроландшафтах // Путь науки. – 2014. - № 4(4). – С. 39-40.
29. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
30. Тюлин В.А., Сутягин В.П. Конструирование севооборотов в адаптивно-экологическом земледелии (научный обзор) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 201. - № 10. – С. 297-301.
31. Исаев А.П. Агротехническая и энергосберегающая роль зерновых бобовых культур в лесостепной зоне европейской части России: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук / 06.01.01 – общее земледелие. – Немчиновка, 1994. – 46 с.

32. Крючков М.М., Потапова Л.В., Марочкин Р.А. Сидеральные пары на выщелоченных чернозёмах Рязанской области // Земледелие. – 2010 - № 7. – С. 18-20.
33. Сутягин В.П. Биоэнергетический подход к изучению агрофитоценозов // Агро XXI. – 2008. - № 10-12.
34. Дудкин И.В., Дудкина Т.А. Биоэнергетическая оценка факторов биологизации земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. - № 2. – С. 6-10.
35. Анализ динамики регионального развития экосистем / С.Н. Волкова, Е.Е. Сивак, М.И. Пашкова и др. // Региональный вестник. – 2016. - № 1. – С. 33-36.
36. Долгополова Н.В. Факторы плодородия в биологическом земледелии лесостепи Центрального Черноземья // Региональный вестник. – 2016. - № 2(3). – С. 27-29.
37. Долгополова Н.В., Пигорев И.Я. Роль плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии // Сб.: Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: материалы Международной научно-практической конференции. – Белгород: Изд-во Белгородский ГАУ, 2016. - С. 3-4.

List of sources used

1. Vernadsky V.I. To the issue of chemical composition of soils // Selected works. - Moscow: Publishing House of USSR Academy of Sciences, 1960.
2. Kashtanov A.N., Ermakov E.I., Yakushev V.P. Biological and agrophysical fundamentals of modeling ecologically adaptive soil-plant systems in agrolandscape farming // Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 1999. - № 3. - P. 3-7.
3. Korzhov S.I., Trofimova T.A., Ozherel'ev V.N. The role of crop rotation in maintaining soil fertility // Science, education and innovation in the modern world / Proceedings of the national scientific-practical conf. (Voronezh, March 20-21, 2018). - Voronezh: VSAU Publishing House, 2018. - P. 18-24.
4. Titlyanova A.A. The biotic cycle is a barrier to the removal of chemical elements from the soil // Proceedings of the Fifth Conference "Mathematical Modeling in Ecology" EcoMatMod-2017 (Pushchino, Russia). - Pushchino, 2017. - P. 214-218.
5. Dudkin V.M., Dudkin I.V. Ways to enhance the role of crop rotation as a biological factor in modern farming systems // Conservation Agriculture in Russia / Collection of reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 45th anniversary of VNIIZiZPE (Kursk, September 15-17, 2015). - Kursk: FSBSI VNIIZiZPE, 2015. - P. 109-112.
6. Tuv N.A. Microbiological processes of humus formation. – Moscow: Agropromizdat, 1989.
7. Soil fertility and agricultural sustainability (agroecological aspects) / I.P. Makarov, V.D. Mukha, N.I. Kartamyshev et al. ; Ed. I.P. Makarov and V.D. Mukha. - Moscow: Kolos, 1995. - 288 p.
8. Loshakov V.G. The role of plant residues in the reproduction of the fertility of sod-podzolic soils // Urgent problems of soil science, ecology and agriculture / Collection of reports of the scientific-practical conference of the Kursk Branch of the MPO "The Society of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev", dedicated to the International Year of Soils (Kursk, April 22, 2016). - Kursk: FSBSI VNIIZiZPE, 2016. - P. 162-167.
9. Dedov A.V. The role of perennial grasses in increasing the fertility of chernozem soils // Bulletin of Voronezh State Agrarian University. - 2012. - № 1 (32). - P. 12-15.
10. Dudkin V.M., Pavlyuchenko A.U. The accumulation and decomposition of plant residues of field crops in the soil // Agrochemistry. - 1980. - № 3. - P. 72-77.
11. Goncharov B.P. Nutrient regime of the soil // Clean and cropped fallows. - Stavropol: Stavropol Book Publishing House, 1986. - P. 88-97.
12. Turusov V.I., Nedotsuk E.V. The role of crop-root residues in the formation of soil fertility // Ways to preserve soil fertility and increase crop productivity in adaptive landscape agriculture of the Central Chernozem Region / Materials of the meeting of the Territorial Coordinating Council "Problems of Agriculture of the Central Central Chernozem Area" (Kamennaya Step, May 29, 2009). Part 1. - Voronezh: Istoki, 2009. - P. 111-113.
13. Zezyukov N.I. The dynamics of plant residues in the soil with various methods of cultivating crops on leached chernozem soil: Theses dis. ... Cand. Agr. Sciences / 06.06.01 - General Agriculture. - Voronezh, 1980. - 21 p.
14. Babich V.G. Justification for the placement of sugar beets in crop rotations in the south-western part of the Central Chernozem Area: Theses dis. ... Cand. Agr. Sciences / 06.06.01 - General Agriculture. - Kursk, 1993. - 19 p.

15. Dedov A.V. Biologization of agriculture is the basis for maintaining the fertility of chernozem soils // *Zemledelie*. - 2002. - № 2. - P. 10.
16. Sychev V.G., Loshakov V.G. Assessment of ecological and phytosanitary functions of green manure // *Collected book: New methods and results of landscape studies in Europe, Central Asia and Siberia*. - Moscow, 2018. - P. 149-153.
17. Loshakov V.G., Ivanov Yu.D., Nikolaev V.A. Ways of greening agriculture in Non-Chernozemic Zone of Russia // *Crop rotation in modern agriculture / Collection of reports of the International Scientific Conference*. - Moscow: Publishing House of Moscow State Agricultural Academy, 2004. - P.161-165.
18. Dudkin V.M. Scientific principles of developing the structure of crops and crop rotation systems in landscape farming // *Rational land use and plant protection methods under real conditions of farming / Proceedings of the scientific and practical conference (February 1998)*. - Kursk, 1998. - P. 24-27.
19. Green manure crops as a factor in the greening of agriculture / Yu.M. Wozniakovskaya, Zh.P. Popova, M.N. Novikov et al. // *Zemledelie*. - 1999. - № 1. - P.44.
20. Dudkin V.M. Problems of improving crop rotation in landscape farming // *Proceedings the scientific-practical conference "Problems of landscape farming" (Kursk, March 22-23, 1995)*. - Kursk, 1997. - P.150-155.
21. Korolev N.N., Morozova E.V., Kuznetsova L.P. Greening of crop rotations is the basis for maintaining soil fertility // *Agro XXI*. - 2009. - №10-12.
22. Kormilitsyn V.F. To develop Green manure application in the Volga Region // *Zemledelie*. - 1999. - №1. - P. 28.
23. Voznyakovskaya Yu.M. Biological principles of effective fertility // *Zemledelie*. - 1988. - №3. - P. 26-28.
24. Loshakov V.G. Efficiency of joint use of crop rotation and fertilizers // *Fertility*. - 2016. - № 2 (89). - P. 37-40. (b)
25. Dudkina T.A., Dudkin I.V. Biological activity and toxicity of soil under winter wheat depending on crop rotation and fertilizers // *Chernozem soils of Central Russia: genesis, geography, evolution / Proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of the founder of the Voronezh School of Soil Science Procopiy Gavrilovich Aderikhin (May 25-28 2004)*. - Voronezh, 2004. - P. 348-351.
26. Sidorov M.I. Scientific and agronomical principles of crop alternation in the field crop rotations of the Central Chernozem Region. - Voronezh: Voronezh Agricultural Institute named after K.D. Glinka, 1978. - 60 p.
27. Zhelnakova L.I., Khomko V.G. Accumulation and conservation of soil moisture // *Clean and cropped fallows*. - Stavropol: Stavropol Book Publishing House, 1986. - P. 15-34.
28. Karipov R.Kh., Didenko S.V., Tleppaeva A.A. Water regime of the soil and productivity of cereal crops in various agrolandscapes // *The Path of Science*. - 2014. - № 4 (4). - P. 39-40.
29. Kovda V.A. Biogeochemistry of soil cover. - Moscow: Nauka, 1985. -- 263 p.
30. Tyulin V.A., Sutyagin V.P. Designing crop rotations in adaptive ecological agriculture (scientific review) // *International Journal of Applied and Fundamental Research*. – 2001. - № 10. - P. 297-301.
31. Isaev A.P. Agronomical and energy-saving role of leguminous crops in the forest-steppe zone of the European part of Russia: Theses dis. ... Doctor. Agr. Sciences / 06.01.01 - General Agriculture. - Nemchinovka, 1994. - 46 p.
32. Kryuchkov M.M., Potapova L.V., Marochkin R.A. Green manured fallows on leached chernozems of Ryazan Region // *Zemledelie*. - 2010 - No. 7. - P. 18-20.
33. Sutyagin V.P. Bioenergy approach to the study of agrophytocenoses // *Agro XXI*. - 2008. - № 10-12.
34. Dudkin I.V., Dudkina T.A. Bioenergy assessment of agriculture greening factors // *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*. - 2017. - № 2. - P.6-10.
35. Analysis of the dynamics of regional development of ecosystems / S.N. Volkova, E.E. Sivak, M.I. Pashkova et al. // *Regional Bulletin*. - 2016. - No. 1. - S. 33-36.
36. Dolgopolova N.V. Fertility factors in biological farming of the forest-steppe of the Central Black Earth Region // *Regional Bulletin*. - 2016. - No. 2 (3). - S. 27-29.
37. Dolgopolova N.V., Pigorev I.Y. The role of fertility in adaptive landscape agriculture // *Collection: Problems and prospects for the innovative development of agricultural technologies: materials of the International Scientific and Practical Conference*. - Belgorod: Belgorod State Agrarian University publishing house, 2016. - P. 3-4.