

РОЛЬ УГЛЕРОДА И КРУГОВОРОТЫ НА ЕГО ОСНОВЕ КАК ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПЛОДРОДИЯ ПОЧВ

Юрий Степанович Ларионов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экологии и природопользования, тел. (383)361-08-86, e-mail: larionov42@mail.ru

Важнейшую роль в обеспечении почвенного плодородия играют биологические процессы, и это, прежде всего, круговороты основных элементов питания растений, животных и микроорганизмов. Круговороты играют важнейшую роль в биосфере, обеспечивая прямые и обратные связи в звеньях агроэкологической системы, сохраняя целостность биосферы. Для осуществления мониторинга плодородия почв необходимо определить (найти) интегральный показатель и его круговорот, который наиболее объективно отражает это свойство почвы. Таким показателем, по нашим исследованиям является количество и качественный состав органического вещества в почве, в состав которого входит главным образом биомасса растений, а также микро- и животных организмов. С позиций химии в состав органического вещества почвы входит углерод в виде огромного количества биохимических соединений, содержащих фактически всю таблицу Д.И. Менделеева, но лишь около 30 элементов (органогенных) имеют вполне установленное количество и встречаются в организмах постоянно. При этом соотношение органогенных элементов в почве иное, более концентрированное, нежели чем в земной коре, установленное геохимией. В связи с этим, нами выявлено, что в качестве основного показателя плодородия почв (имеющим более тесную корреляцию с ним и интегрально его отражающим) может выступать содержание и баланс в ней органического вещества, активность круговорота которого определяет эффективное и потенциальное плодородие почв. В качестве индикатора круговорота органического вещества необходимо использовать круговорот углерода в почве, на котором строится вся органика в биосфере. Роль многих биохимических соединений углерода в эволюции живого и плодородии почв еще предстоит выяснить.

Ключевые слова: почва, плодородие, круговорот веществ, биомасса, органическое вещество, углерод.

ROLE OF CARBON CIRCULATION AS A BASIS FOR IMPROVEMENT OF THE SOIL FERTILITY MONITORING SYSTEM

Yury S. Larionov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Ecology and Environmental Management, phone: (383)361-08-86, e-mail: larionov42@mail.ru

The most important role in ensuring soil fertility is played by biological processes, and this, above all, the cycles of the main nutrients of plants, animals and microorganisms. Cycles play an important role in the biosphere, providing direct and inverse links in the chains of the agro-ecological system, while maintaining the integrity of the biosphere. To monitor soil fertility it is necessary to determine (find) an integral index and its cycle, which most objectively reflects this property of the soil. Such an indicator, according to our research, is the quantity and qualitative composition of organic matter in the soil, which mainly consists of plant biomass, as well as micro

and animal organisms. From the standpoint of chemistry, carbon is a part of the organic matter of the soil in the form of a huge amount of biochemical compounds containing virtually the entire table D.I. Mendeleev, but only about 30 elements (organogenic) have fixed amount and are found in organisms all the time. At the same time, the ratio of organogenic elements in the soil is different, more concentrated, rather than in the crust, established by geochemistry. In this regard, we found that the main indicator of soil fertility (having a closer correlation with it and integrally reflecting it) can be the content and balance of organic matter in it, the activity of which determines the effective and potential soil fertility. As an indicator of the cycle of organic matter it is necessary to use the carbon cycle in the soil on which all organic matter in the biosphere is built. The role of many biochemical carbon compounds in the evolution of living and soil fertility remains to be seen.

Key words: soil, fertility, circulation of substances, biomass, organic matter, carbon.

Введение

К середине 80-х гг. XX в. применение минеральных удобрений достигло таких объемов, при которых они стали мощным антропогенным фактором, воздействующим не только на почву, микроорганизмы и растения, но и на водоисточники, атмосферу и, как следствие, на человека. Мониторинг свойств и функций почвы, качества воды, атмосферного воздуха и растительной продукции в сочетании с исследованием процессов трансформации, аккумуляции и миграции удобрений давал множество свидетельств, указывающих на нарушение природных биогеохимических циклов биофильных элементов и стремительное ухудшение экологической обстановки в случае использования избыточных доз удобрений и несовершенных технологий их внесения [1, 2, 3].

Углерод является основным элементом воздушного питания растений, входит в состав почвенного органического вещества - природного источника снабжения растений элементами минерального питания, контролирует процессы азотфиксации, денитрификации, минерализации и иммобилизации азота, служит источником энергии и питания микроорганизмов, чувствителен к воздействию удобрений. К числу приоритетных направлений агрохимии углерода можно отнести задачи активизации фотосинтеза и синтетических процессов у растений за счет оптимизации минерального питания, поддержания сбалансированных потоков и природной стехиометрии C : N : P : S в агроэкосистемах, уменьшения почвенной и агрогенной эмиссии парниковых газов в атмосферу и повышения углеродсеквестрирующего потенциала агроэкосистем, поиск новых, местных и альтернативных минеральным удобрениям органических источников обеспечения растений элементами питания и воспроизводства органического вещества почвы [1, 2, 3, 4].

Материалы и методы

Необходимо подчеркнуть роль углерода активного органического вещества в трансформации азота в почве. Вопросы динамики, подвижности и доступности органического углерода микроорганизмам наиболее тесным образом свя-

заны с исследованием процессов трансформации и потерь азота, фосфора содержащихся в почве и вносимых с удобрениями. Минеральные формы азота в почве накапливаются в результате минерализации корневых выделений, растительных остатков, микробной биомассы, гуминовых веществ и промежуточных продуктов разложения этих субстратов, которые по степени доступности углерода микроорганизмам образуют активный пул почвенного органического вещества. Разложение органических веществ активного пула осуществляется по пути приоритетного использования гетеротрофными микроорганизмами углерода, который выполняет структурообразующую и энергоснабжающую функции в метаболизме [1-11]. Необходимое для синтетических процессов количество азота микроорганизмы получают непосредственно из разлагаемого материала в виде аминокислот, либо поглощая минеральные формы из почвы. Согласно классической концепции биомасса гетеротрофных бактерий имеет более узкое отношение C/N, чем осваиваемый ими субстрат [1,2,3,12-16]. Допустив, что C/N-отношение в клетках микроорганизмов равно 10 и на дыхание расходуется 50 % используемого ими углерода, жизнедеятельность микроорганизмов будет лимитироваться азотом в случае $C/N > 20$, или углеродом, если $C/N < 20$. В первом случае инициируется иммобилизация азота, а во втором - минерализация. Однако при экспериментальной проверке величины «критического» соотношения C/N в разлагаемом материале оказались преимущественно выше классического значения, варьируя от 19 до 44 в зависимости от стадии разложения, количества и качества материала, содержания $N_{\text{мин}}$ в почве, температуры и влажности [1,8]. Нетто-минерализация азота в почве с добавленной биомассой микроорганизмов *Rhodobacter* ($C/N = 4.7$) составляла в среднем по дозам 111 мг/г внесенного углерода, а при разложении зеленой массы овса ($C/N = 9$) - 6-16 мг N/ г углерода фитомассы. Растительные остатки с $C/N = 18$ инициировали краткосрочное (2.5 мг N/г углерода фитомассы), с $C/N = 34$ - умеренно продолжительное (5.4 мг N/ г углерода), а при $C/N = 55$ -долговременное (до 7 и 9 мг N/г углерода) преобладание иммобилизации. По литературным данным, величины нетто-иммобилизации азота в почве могут составлять от 10 до 53 и даже 72 мг N /г внесенного углерода или в среднем около 25 мг N /г углерода [1,8]. При этом динамика минерализации-иммобилизации азота в почве зависит не столько от общего содержания углерода и азота в разлагаемом материале, сколько от его способности к минерализации органических субстратов, а также от условий, контролирующих реминерализацию иммобилизованного ранее азота.

Почвенное органическое вещество является главным природным источником обеспечения растений азотом, который не может быть полноценно заменен техническим азотом без риска ухудшения состояния окружающей среды и качества продукции [1,2,3,5,7,8,15-19].

Результаты и обсуждение

Основной резерв потенциально доступного растениям азота сосредоточен в активном пуле почвенного органического вещества со временем существова-

ния в почве от менее 3 до 10 лет. Содержание в серой лесной почве и выщелоченном черноземе углерода потенциально минерализуемого органического вещества достоверно коррелировало с размерами гросс- и нетто-минерализации азота, позволяя хорошо диагностировать обеспеченность почвы доступным азотом. Из полученных уравнений регрессии [1] следует, что увеличение обеспеченности почвы активным органическим веществом на 10 мг/100 г позволит увеличить содержание минерализованного азота в почве, как минимум, на 0,11 мг/100 г.

Поддержание определенного уровня обеспеченности почвы потенциально-минерализуемым углеродом (органическим веществом) является важным условием включения содержащегося в почве минерального азота во внутрпочвенный иммобилизационно-реминерализационный оборот, что чрезвычайно важно при использовании высоких доз минеральных азотных удобрений. Таким образом, по мнению [1,2,3,8] поддержание определенного для каждой почвы уровня обеспеченности углеродом потенциально-минерализуемого органического вещества, компенсация доз азота минеральных удобрений углеродом свежего органического материала, а низкокачественных органических удобрений азотом минеральных удобрений - ключевые условия гармонизации минерализационно-иммобилизационной оборачиваемости азота в почве и устранения асинхронности между образованием в почве минерального азота и его потреблением растениями. Величины гросс- и нетто-минерализации азота в почве коррелируют с содержанием потенциально-минерализуемого (активного) органического вещества, поэтому измерение $C-CO_2$ может быть полезным в агрохимических исследованиях в качестве дополнительного индекса активности циклирования (круговорот) почвенного азота. Аналогично C/N -отношению, выступающим индикатором азот-минерализующей способности органических субстратов, по величине C/P -отношения можно уверенно диагностировать как размеры высвобождения фосфора при минерализации растительных остатков и микробной биомассы, так и биологической иммобилизации подвижного фосфора в почве. Определение критических соотношений C/P для различных субстратов, почвенных таксонов и удобрительных нагрузок - одна из важнейших задач будущих исследований. Следовательно, через органическое вещество и C почвы мы сможем контролировать круговорот N , P и др. элементов и перемещение их (высвобождение) при минерализации органического вещества почвы, лежащих в основе плодородия почвы.

. Динамичное и агрономически ценное органическое вещество (ОВ) в почве, называемое «активным гумусом», наиболее часто определяется экстракцией холодной и горячей водой, солевым раствором, 0,1 н. $NaOH$ (подвижное ОВ), нейтральным раствором пирофосфата натрия (лабильное ОВ) или денсиметрическим (легкоразлагаемое ОВ) способом. По другому мнению [1], активное ОВ в почве следует диагностировать по степени его доступности почвенным микроорганизмам, определяя потенциально-минерализуемый пул по количеству $C-CO_2$ за время инкубации при постоянных условиях температуры и влажности ($22^\circ C$ и 60 % ППВ), соизмеримое продолжительности вегетационного периода.

При внесении органических удобрений в серой лесной почве содержалось больше подвижного ОВ ($C_{\text{подв}}$), чем при минеральной системе, а увеличение его содержания в первый и второй год опыта в большей мере зависело от возрастающих доз навоза, чем от доз NPK [1]. В целом по опыту обнаруживалась достоверная зависимость между содержанием в почве валового и подвижного углерода ($r = 0,805, p < 10^{-3}$), однако при внесении минеральных удобрений корреляционная связь между $C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{подв}}$ была недостоверной в отличие от вариантов с возрастающими дозами органических удобрений ($r = 0,826, p = 0,003$). Содержание более растворимого углерода ($C_{\text{ср}}$) было в 13-16 раз меньше, чем $C_{\text{подв}}$, составляя всего лишь 1,6-2,3 % от валового $C_{\text{орг}}$ с достоверной корреляцией как с подвижным ($r = 0,744, p < 10^{-3}$), так и с валовым $C_{\text{орг}}$ ($r = 0,805, p < 10^{-3}$). По отношению к неудобренному контролю наибольшее содержание $C_{\text{ср}}$ было в вариантах с применением навоза в возрастающих дозах [1,2,9,10]. По результатам исследований было высказано предположение, что не все подвижное ОВ, извлекаемое из почвы раствором щелочи, является биологически активным [1]. В то же время подвижную фракцию допустимо считать ближайшим резервом активного (потенциально-минерализуемого) ОВ. В растворенном состоянии находится лишь часть активного ОВ, содержащегося в почве.

Углеродсеквестрирующая практика земледелия предусматривает повышение содержания органического углерода в почве и увеличение мощности гумусового горизонта за счет увеличения массы возвращаемого в почву ОВ и стимулирования стабилизационных процессов, придающих углероду защищенное от микроорганизмов состояние. Ключевая роль в таких технологиях отводится улучшению минерального питания растений и стимулированию продукционного процесса за счет использования удобрений. Классическим примером влияния удобрений на содержание в почве органического вещества является более чем вековой опыт с ячменем на Ротамстедтской опытной станции. Показано, что применение минеральных удобрений обеспечивает поддержание стабильного уровня ОВ в почве, а существенное повышение его содержания происходит при ежегодном внесении 35 т/га навоза.

Обобщение результатов экспериментов продолжительностью от 2 до 56 лет, выполненных в 137 разных точках мира, показало, что при возвращении растительных остатков в почву применение азотных удобрений в 79 % случаев способствовало увеличению содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$), в 15 % случаев снижало и в 6% не изменяло $C_{\text{орг}}$.

Важнейшую роль в обеспечении почвенного плодородия играют биологические процессы [2, 3, 5, 8, 9], и это, прежде всего, круговороты основных питающих почву и растения элементов. Круговороты определяют роль и содержание прямых и обратных связей в звеньях агроэкологической системы, взаимосвязь почвы с другими элементами биосферы.

При этом до настоящего времени проблемной задачей остается поиск интегральных показателей качества почв, отражающий связь урожайности с плодородием почв. В агрохимии и практической земледелии принято считать, что урожаи культур формируются преимущественно за счет минеральных элемен-

тов самой почвы, значимость же органического вещества определяют его ролью в формировании питательного режима почвы на основе его минерализации и гумификации. Считается, что нарушение баланса гумуса, содержания углерода в почве, отсутствие оптимального сочетания элементов минерального питания для каждой культуры в конкретных почвенно-климатических и агроэкологических условиях, в определенные фазы роста и развития растений и есть главные причины недобора урожаев, низкой стабильности продуктивности земледелия [8, 13, 15, 18, 19]. Полагаем, что это очень общие представления, поскольку для каждой культуры и разнообразных агроэкологических условий в каждый момент времени и каждую фазу развития растений существуют свои оптимальные показатели и их соотношения. Это касается биоты почвы, ее агрофизических и геохимических качеств, свойств материнской (литологической) основы [1, 6]. В этой связи следует отметить работу [4, 8], результатом которой стал не только анализ, но и прогноз возможностей отечественного растениеводства, масштабно выполненный с использованием компьютерного моделирования урожайности основных сельскохозяйственных культур производственными функциями.

Обобщение результатов исследований влияния органических удобрений в агрономической практике за последние десятилетия [3, 6, 7, 10] показывает, что на различных видах злаковых и других видах растений в фазу кущения органические удобрения на гуминовой основе обеспечивают закладку большого числа побегов. При этом нужные количества серы, азота, бора и других веществ поступают в растения через листья и корни. Чем быстрее разворачивается рабочая листовая и корневая поверхность и чем большую площадь она будет составлять, тем эффективнее осуществляется корневое и воздушное питание растений и большее количество питательных веществ ими будет усвоено. Что и ведет к увеличению урожая и его качества.

По окончании онтогенеза последующая минерализация растительных остатков увеличивает в почве содержание легко растворимых в воде калийных, азотных и фосфорных соединений, что позволяет уменьшить дозу вносимого нитратно-фосфатно-калийного (NPK) комплекса до 50–80 %. Биохимические преобразования органических веществ в гуминовые вещества обуславливают направленные обменные процессы в растительном организме, которые приводят к стимуляции синтеза этих веществ. Напомним [5, 6, 8], что в состав почвенного органического вещества входят гуминовые, гиметомелановые и фульвокислоты. Основу последних составляет широкий спектр низкомолекулярных органических веществ, включающих аминокислоты, углеводы, водорастворимые карбоновые кислоты, витамины, а также макро- и микроэлементы в доступном для растений и других живых форм виде. Следует отметить большую роль гуминовых веществ, обладающих также ауксино-цитокениновым эффектом, стимулирующим рост и деление клеток, антистрессовым эффектом, повышающим устойчивость растения к климатическим, техногенным и прочим стрессам.

В процессе использования земель создаваемая фотосинтезом биомасса обеспечивает образование и накопление в почве органического вещества, гумуса, а также ряда ценных микроэлементов (меди, цинка, бора, марганца, молибдена, кобальта), которые образуют наряду с гуминовыми веществами комплексы, легко усваиваемые растениями. При этом именно гуминовые вещества наиболее эффективно транспортируют микроэлементы в растение. В этих процессах участвуют все виды биоты, для которых биомасса является необходимым источником энергии. Представленное обобщение роли органического вещества синтезируемого растениями и различными видами живых организмов, обитающими в почве, подчеркивает огромную роль биомассы и биоты почвы в существовании биосферы нашей планеты и составляющих ее геосфер [2-14].

В состав биомассы растительных и животных организмов входят свыше 80 химических элементов, но лишь около 30 из них имеют вполне установленное количество и встречаются в организмах постоянно. При этом, соотношение элементов здесь иное, чем в земной коре, установленной геохимией [2, 3, 6].

Все организмы имеют близкий химический атомный состав, в котором углерод выступает важнейшим «строительным» элементом. Например, в глюкозе содержание углерода достигает более 30 %. Это количество не может быть объяснено распространением элемента в земной коре, где содержание углерода не превышает 0,32–0,35 %. Из известных к настоящему времени 108 химических элементов лишь немногие входят в достаточно больших количествах в состав биологических молекул. Об этом можно судить по содержанию основных биофильных элементов в биосфере, которая отражает молекулярно-химическую специфику живой материи. Так необходимые для всех биологических объектов являются **макроэлементы**: Н, С, О, N, S, P, Са, Mg, К, Na, Сl. Регулярно, но в меньших количествах, встречаются столь же необходимые для жизни **микроэлементы**: Си, Mn, Zn, Мо, Со, В, Сd. Целый ряд не менее важных элементов современными методами аналитической химии не обнаруживаются, в том числе по причине их незначительного содержания. Вероятно, они обеспечивают в очень короткий промежуток онтогенеза какие-то важные каталитические процессы в живых организмах. Следовательно, плодородие почвы целесообразно рассматривать через биохимический состав живых организмов и в первую очередь биомассу растений [2, 3, 6, 10], не делая главный упор на агрохимическую характеристику почвы [1–6,8].

Таким образом, исследование химического состава живых и неживых объектов природы показывает, что распространенность отдельных элементов среди них различна. Живые организмы способны избирательно поглощать и накапливать необходимые для них химические элементы из окружающей среды. Тем самым предъявляя различные требования к плодородию почвы. При этом в живых организмах накапливаются главным образом элементы с низкими атомными массами. Однако для некоторых жизненных процессов необходимы и элементы с высокой атомной массой, например, молибден, но содержание их ничтожно. Анализ вышеперечисленных процессов и свойств, раскрывающих физико-химическую, почвоведческую и агрономическую сущность синтезируемой

в процессе фотосинтеза биомассы (органического вещества), позволяет сделать вывод, что именно органическое вещество в почве является основой ее плодородия, существования для большинства видов живых организмов и условий взаимодействия всех биогенных элементов. Органическое вещество, поступающее в почву, является источником энергии для биоты, трансформируется ею и регулирует фактически все биохимические процессы растительной клетки и многих живых организмов, обитающих в почве и возделываемых на ней культур [1, 2-4, 8]. Оно активизирует поглощение ультрафиолетового излучения растениями и ускоряет процесс фотосинтеза в листьях. Таким образом, рассматривая почву как сложную агроэкологическую систему, следует обратить внимание на существовании ее на прямых и обратных связях всех ее элементов в биосфере [1-14].

Подчеркнем, что, несмотря на многочисленные научные исследования и результаты практиков, однозначного ответа на вопрос, что такое почвенное плодородие и чем оно определяется – до сих пор нет. Наши исследования [2-4, 12, 14] показывают, что основой плодородия почв является синтез биомассы и количество органического вещества в почве в конкретных агроэкологических условиях. Так коэффициент корреляции между урожайностью зерновых культур и сидеральными удобрениями, накапливаемыми в течение 1989-1991 гг. колебался от $r = 0,79$ до $r = 0,86$, т.е. наблюдается тесная связь с количеством органического вещества вносимого в почву. Поэтому органическое вещество почвы целесообразно рассматривать через биохимический состав и, конечно, агрохимический и геохимический состав материнской породы. Естественно, агроэкологические условия играют определенную роль в формировании почвенного плодородия, но все же решающая роль в этом, как и в процессе эволюции самой почвы, играет биомасса (органическое вещество), синтезируемое самими растениями и другой биотой почвы.

Заключение

Вся материя в космосе и на Земле связана с круговоротами веществ. Удобным инструментом изучения круговоротов в природе является метод, который фактически используется в современной экологии. В рамках этого метода каждая природная форма вещества рассматривается с учетом всех возможных источников поступления этого вещества в заданное состояние и скорости его расхода в окружающую среду. Исходный принцип состоит в следующем: в рамках общего круговорота количество вещества, поступающего в заданное состояние в течение определенного времени, должно равняться количеству вещества, которое теряется этим состоянием за то же время. Вот суть любого круговорота и баланса вещества.

В качестве единицы времени обычно используется год. А количество вещества характеризуется величиной, так называемой активностью обмена вещества в j -м состоянии и может быть вычислена на основе уравнения баланса как отношение $V_j \Delta Y_j$; где V_j - общее количество органического вещества в пахот-

ном слое на гектаре и ΔY_j – ежегодный прирост его. Входящие в это отношение величины вычисляются путем измерений по годам, т.е. активность обмена вещества определяется числом лет, необходимых для полного замещения вещества в рассматриваемом состоянии. Так, например, анализ круговорота воды на основе балансового метода показывает, что активность водообмена для ледников самая низкая и составляет величину 8300 лет. Самая высокая активность водообмена — у паров атмосферы, она равна 0,027 года. Почти такая же активность водообмена оказывается у речных (русловых) вод – 0,032 года. Для сравнения напомним, что полное обновление воды в Мировом океане происходит за 3000 лет.

Интенсивность других видов круговорота абиотического характера значительно меньше. Например, для геологических круговоротов горных пород характерное время, определяемое скоростью обращения вещества в круговороте, составляет миллионы лет.

Важную роль в ускорении круговорота веществ в биосфере Земли играют биотические факторы. Такие элементы, как кислород, углерод, азот, фосфор, играют важную роль в обмене веществ, характеризующем деятельность живых организмов, и потому отличаются высокой степенью подвижности. Длительность биогенных циклов — обычно несколько десятков лет. Например, скорость обращения углерода для континентальных биоценозов составляет в среднем 31 год, скорость обращения фосфора - 20 лет. Наиболее подвижным оказывается калий (15 лет), наименее подвижным - азот (100 лет). В целом для биосферы процессы круговорота веществ определяются совместным действием абиогенных и биотических факторов, поэтому их часто именуют биогеохимическими.

По сложившейся традиции биогеохимические циклы обычно рассматриваются отдельно для каждого химического элемента, но скорость обращения их в биосфере (биогенные циклы), как это показано выше, различная. В результате такого рассмотрения мы получаем схему путей миграции отдельных химических элементов в биосфере, скорость их обращения, общее число участвующих в круговороте веществ и т. д. Однако в целом это не отражает эволюционные процессы лежащие в основе существования биосферы и почвы, как одной из главных систем ее составляющих. Следовательно, сужает наши представления о биосферных процессах и динамике почвенного плодородия, а биогенные циклы отдельных элементов, плохо контролируются современными агрохимическими методами. Вот почему мы взяли за основу эволюционных процессов, отражающих плодородие почв органическое вещество и углерод, который эволюционно связывает использование всей таблицы химических элементов с живыми организмами на основе сложных химических органических соединений и элемент поддерживающий космическую целостность Вселенной [1-4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов В.М., Семенова Н.А. Проблема органического углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты. Сб. матер. 7 Сибирские агрохимические Прянишников-

- ские чтения, посвященные 150летию со дня рождения Д.Н. Прянишникова. 2Ч. Новосибирск 2015. 1Ч. -367с. 2Ч – 371с.
2. Ларионов Ю. С. Биоземледелие и закон плодородия почв. – Омск : СГГА, ОмГАУ, 2012. – 207 с.
 3. Ларионов Ю.С. Ларионова О.А., Баранова Е.И., Селезнев Б.В. Биоземледелие - новая парадигма сельскохозяйственного производства и повышения плодородия почв. В 2-х томах, г. Новосибирск, СГУГиТ, 2016, - 288с., - 209с.
 4. Ларионов Ю. С., Жарников В.Б., Стуканов А. А., Конева А. В. Инновационные подходы к развитию АПК на основе биоземледелия и закона плодородия почв // Информационные технологии, системы и приборы в АПК: материалы 7-й Международной научно-практической конференции «АГРОИНФО-2018» (Новосибирская обл., р.п. Краснообск, 24–25 октября 2018 г.) / Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Сибирский физико-технический институт аграрных проблем. – Новосибирская обл., р. п. Краснообск. Академиздат, 2018. – С. 542–547.
 5. Конев А. А. Система биологизации земледелия. – Новосибирск : Новосибирский ГАУ, 2004. – 51 с.
 6. Березин Л. В., Клёнов Б. М., Леонова В. В. Экология и биология почв. – Омск : ОмГАУ, 2008. – 122 с.
 7. Яшутин Н. В., Дробышев А. П., Хоменко А. И. Биоземледелие (научные основы, инновационные технологии и машины). – Барнаул : изд-во АГАУ, 2008. – 191 с.
 8. Сафонов А.Ф. Воспроизводство плодородия почв агроландшафтов. М. Изд. РГАУ _ МСА им. К.А. Тимирязева. – 2011. – 389с.
 9. Ковалев Н. Г., Зинковская Т. С. Биологические и агрохимические показатели осушаемых почв в различные по увлажненности годы // Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Методы оценки сельскохозяйственных рисков и технологии смягчения последствий изменения климата в земледелии» (Санкт-Петербург, 13–14 октября 2011 г.). – Санкт–Петербург : АФИ, 2011. – С. 67–70.
 10. Садикова Г. С., Бурханова Д. У. Изменение показателей плодородия орошаемых луговых почв под влиянием биоудобрений // Аграрная наука – сельскому хозяйству : IX Международная научно-практическая конференция: сборник статей в 3 кн. – Барнаул : РИО АГАУ, 2014. Кн. 2. – С. 237–239
 11. Савельев А. А., Григорьян Б. Р., Добрынин Д. В., Мухарамина С. С., Кулагина В. И., Сахабиев И. А. Оценка почвенного плодородия по данным дистанционного зондирования // Ученые записки Казанского университета. – 2012. – Т. 154, кн. 3. – С. 158–172.
 12. Жарников В. Б., Ларионов Ю. С. Мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения как механизм их рационального использования // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Том 22, № 1. – С. 203–210.
 13. Система показателей оценки экологической емкости агроландшафтов для формирования экологически устойчивых агроландшафтов / Н. П. Масютенко, Н. А. Чуян, Г. И. Бахирев и др.; Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т земледелия и защиты почв от эрозии. – Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2011. – 42 с.
 14. Ларионов Ю. С. Альтернативные подходы к современному земледелию и наращиванию плодородия почв (новая парадигма) // Вестник СГГА. – 2013. – Вып 1 (21). – С. 49–60.
 15. Татаринцев Л. М., Татаринцев В. Л., Кирякина Ю. Ю. Организация современного землепользования на эколого-ландшафтной основе : монография; М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Алт. Гос. аграр. Ун-т. – Барнаул : Изд-во АГАУ, 2011. – 106 с.
 16. Hart S.C. Nason G.E. Myrold D.D. Perry D.A. Dynamics of Gross Nitrogen Transformations in an Old –Growth Forest: The Carbon Connection // Ecology. – 1994. – Vol. – P. 880-891.
 17. Киреев А. К. Концепция развития систем земледелия Казахстана // Глобальные изменения климата и биоразнообразия : материалы II Международного конгресса. – Алматы : КазНИИЗиР, 2015. – С. 108–112.

18. Комарова Н. А. Влияние различных паров на показатели почвенного плодородия // Инновационные технологии в АПК Евро-Северо-Востока РФ : сборник научных трудов : к 75-летию Нижегородского научно-исследовательского института сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук. – Нижний Новгород : Дятловы горы, 2011. – С. 127–132.

19. Красницкий В. М., Шмидт А. Г. Динамика плодородия пахотных почв Омской области и эффективность использования средств его повышения в современных условиях // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – № 7. – С. 34–37.

20. Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс] : Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 24 декабря 2015 г. № 664. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

21. Методика расчета почвенного плодородия [Электронный ресурс] : Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 6 июля 2017 г. № 32. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

© Ю. С. Ларионов, 2019