

О единстве процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования

Ю. А. Овсянников¹✉

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: ovs122333@yandex.ru

Аннотация. Развитие науки происходит в результате не только накопления информации об элементарных, специфических характеристиках отдельных явлений или предметов окружающего нас мира, но и всестороннего использования полученных знаний, необходимых для понимания более сложных процессов. **Цель** состояла в обобщении результатов исследований, полученных при изучении фотосинтеза, почвообразования, азотфиксации и формировании новых представлений для объяснения процессов, происходящих в экосистемах разного уровня. **Научная новизна** состоит в том, что на основании анализа результатов собственных исследований и работ других авторов делается вывод о необходимости рассмотрения фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования в рамках единой системы. **Результаты.** Предложена структурная схема этой системы. Описано взаимодействие ее отдельных компонентов, в основе которого лежит формирование обменных потоков органических веществ, участвующих в фотосинтезе, азотфиксации и почвообразовании. Предлагаемая схема взаимодействия рассматриваемых процессов в рамках единой системы позволит, по мнению автора, объективно оценивать и прогнозировать состояние отдельных агроэкосистем, биогеоценозов и биосферы в целом. **Практическое значение** работы состоит в том, что предлагаемое описание взаимодействия фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования может быть использовано для обоснования нового подхода к повышению плодородия почвы, основанного на активизации выделительных функций корневых систем растений. Предлагаемая схема взаимодействия изучаемых процессов может быть использована при разработке математических моделей поведения агроэкосистем и биогеоценозов различного уровня, а, также, при создании автономных сред обитания человека. Основные **методы** исследования: экспериментальный, исторический и системный анализ, методы сравнения, моделирования, обобщения.

Ключевые слова: системный подход, познание окружающего мира, фотосинтез, симбиотическая азотфиксация, ассоциативная азотфиксация, микроорганизмы, корневые выделения, почвообразование, система, экосистема, агроэкосистема, агробиогеоценоз, биосфера, ризосфера, плодородие почв, минеральные удобрения, органические вещества, продукты фотосинтеза, эколого-биосферное земледелие.

Для цитирования: Овсянников Ю. А. О единстве процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования // Аграрный вестник Урала. 2022. № 01 (216). С. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46.

Дата поступления статьи: 08.11.2021, **дата рецензирования:** 12.11.2021, **дата принятия:** 17.11.2021.

Постановка проблемы (Introduction)

По мере познания окружающего нас мира в науке периодически возникают новые направления и дисциплины. Как правило, они появляются в результате того, что при изучении какого-либо предмета или явления обнаруживаются отдельные их свойства, требующие более пристального внимания. Глубокое изучение этих свойств и приводит к формированию новых направлений. Такой характер познания, от частного к общему, дает прекрасные результаты. Накопление информации в рамках все новых и новых направлений уточняет и систематизирует наши знания, облегчает их передачу следующим поколениям. Но он имеет и существенный недостаток, который состоит в том, что создаются предпосылки для формирования специалистов узкой направленности. Односторонняя научная и профессиональная

деятельность нередко приводит к тому, что от специалистов, детально разбирающихся во всех тонкостях отдельного, частного процесса, ускользают представления о его взаимосвязях с другими частями системы, компонентом которой он является. В то же время сейчас мы регулярно обнаруживаем, что для понимания общей картины мира нам необходимы синтетические знания, основанные на достижениях нескольких наук. Только широкие знания и нетрадиционные подходы к решению имеющихся проблем создают условия для формирования новых теорий, новых представлений и новых парадигм в науке.

Исторический ход изучения фотосинтеза азотфиксации и почвообразования обусловил их обособление и формирование в науке самостоятельных направлений. До настоящего времени многие рассматривали фотосинтез, азотфиксацию и почво-

бразование вне их связи друг с другом. С одной стороны, это позволило существенно расширить наши представления о деталях этих процессов. Но, с другой стороны, глубокая специализация ученых уводит нас от понимания того, что они взаимосвязаны.

Методология и методы исследования (Methods)

Базовой основой для анализа взаимодействия фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования стали результаты собственных исследований влияния уровня минерального питания на активность фотосинтетического аппарата растений кукурузы. Наблюдения проводились в полевых опытах с использованием флуориметра РАМ-2500. Этим прибором регистрировалась флуоресценция хлорофилла, а затем определялась его фотосинтетическая активность. Результаты опытов использовались в процессе сопоставления данных, полученных другими авторами, которые изучали разные аспекты фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования. В работе применялись исторический анализ, методы сравнения, сопоставления и обобщения. Основным методом исследования являлся системный анализ, основанный на описании системы, ее отдельных структурных компонентов, их взаимодействия между собой и с внешними факторами.

Результаты (Results)

Первые шаги в изучении процессов фотосинтеза были сделаны английским естествоиспытателем Дж. Пристли. Он в 1771 г. обнаружил, что растения способны «исправлять испорченный» горением свечи воздух и делать его пригодным для дыхания. С установления этого свойства растений началось исследование фотосинтеза. В настоящее время мы имеем впечатляющие достижения в его познании. Так, например, были изучены процессы переноса энергии в светособирающих комплексах растений [1] и проанализированы возможности повышения продуктивности фотосинтетического аппарата за счет формирования новых путей усвоения углекислого газа [2].

Целенаправленное изучение азотфиксации началась только через столетие. Впервые предположение о способности бобовых растений усваивать азот из воздуха было высказано в 1878 г. французским химиком Ж. Б. Буссенго. В последующем эти два процесса длительное время изучались независимо, в отрыве друг от друга. Уже достаточно подробно изучены потенциал симбиотической фиксации азота и его роль в повышении плодородия почвы и урожая последующих культур [3]. Изучается и возможность переноса генов бобовых, отвечающих за формирование симбиотической азотфиксации, в растения из семейства злаковых [4, с. 8].

В результате проведенных наблюдений были определены основные факторы (биотические, почвенные, климатические), влияющие на процесс симбиотической азотфиксации, а также способы ее активизации [5; 6]. Было установлено, что использование разного рода бактериальных препаратов,

произведенных на основе клубеньковых бактерий и микоризообразующих грибов, стимулировало симбиотическую азотфиксацию и урожайность зернобобовых культур. В исследованиях, проведенных за рубежом, были изучены основные биохимические реакции, происходящие в растениях и азотфиксирующих микроорганизмах [7].

Предпосылки для сопряженного изучения фотосинтеза и азотфиксации намечались после того, как было установлено, что органические вещества растений, выделяемые корневой системой, служат энергетической базой для процессов симбиотической азотфиксации. Однако на первых этапах этому не уделялось большого внимания, так как считалось, что доля органического вещества растений, расходуемая на энергетическое обеспечение азотфиксации, невелика. Кроме того, внимание к бобовым культурам, способным к симбиотической фиксации азота, в середине XX века ослабло из-за усиления агрохимической концепции в земледелии. В этот период укреплялось представление, что основную роль в повышении урожайности культурных растений должны сыграть минеральные удобрения. Однако сейчас становится ясно, что значение минеральных удобрений в повышении плодородия почвы было переоценено. Это служит прекрасным примером того, как может преувеличиваться роль технократического подхода в решении какой-либо проблемы. В последнем столетии такие события случались неоднократно во многих сферах деятельности, в том числе в земледелии. В качестве примера аналогичной ситуации можно привести проблему возникновения явления резистентности у вредителей, возбудителей болезней и сорняков к пестицидам. Поскольку в этой статье мы опираемся на некоторые методологические аспекты научной деятельности, будет уместно обратить внимание на причины, которые ограничивают наши возможности в оценке достижений научно-технического прогресса. Еще в 1992 г. автором в работе «Проблемы научно-технического прогресса в земледелии»¹ был сформулирован закон несоответствия между темпами использования достижений научно-технического прогресса, и информационными возможностями человека в оценке их последствий. Он был предложен на основе анализа проблем в сфере воздействия человека на окружающую среду. Позднее, в 2008 г., автор в работе «Прогнозирование и планирование природопользования»² рекомендовал учитывать этот закон при прогнозировании последствий антропогенной деятельности. Этот закон дает хорошее объяснение причин переоценки значения роли минеральных удобрений в земледелии и недооценки значения биологической азотфиксации в прошлом столетии.

¹ Овсянников Ю. А. Проблемы научно-технического прогресса в земледелии // Земледелие. 1992. № 9-10. С. 23.

² Прогнозирование и планирование природопользования: учеб. пособие / Ю. А. Овсянников, Я. Я. Яндыганов. Екатеринбург, 2008. 129 с.

Корректировка наших представлений о связи между фотосинтезом и азотфиксацией произошла после обнаружения ассоциативной азотфиксации и уточнения роли выделительных функций корневых систем растений в связывании азота. Заметный вклад в изучение ассоциативной азотфиксации был внесен профессорами М. М. Умаровым, и В. Т. Емцевым. Как оказалось, значительная часть органического вещества растений, попадающая в почву через корневые системы (до 30 % от всего объема продуктов фотосинтеза, а по некоторым оценкам – до 50 %), может использоваться на поддержание ассоциативной азотфиксации [8, с. 87].

Поступление органических веществ растений в зону, где осуществляется ассоциативная азотфиксация, происходит в виде корневых выделений и отслоений [9, с. 103]. В составе корневых выделений преобладают сахара, органические кислоты, аминокислоты, а корневых отслоений – углеводные полимеры, включая целлюлозу и пектиновые вещества. При изучении интенсивности ассоциативной азотфиксации в течение вегетационного периода было установлено, что ее максимум по времени совпадает с периодом наиболее быстрого роста растений, для которого характерны и высокие значения корневой экссудации. Совпадение этих процессов во времени не случайно. Между ними существует очень тесная взаимосвязь. Дополнительным подтверждением для такого заключения служат данные о резком снижении интенсивности азотфиксации и количества бактерий, способных связывать азот в ризосфере корней после удаления надземной части растений, например, после скашивания [10, с. 27]. Нет сомнений в том, что взаимоотношения растений и почвенных микроорганизмов формировались в процессе их длительного коэволюционного развития, которое постепенно привело к закреплению симбиотических связей между ними. Результатом такого взаимодействия стало повышение устойчивости как отдельных компонентов, так и экосистем к воздействию внешних факторов. Это положение в обязательном порядке должно учитываться при определении стратегических направлений повышения урожайности культурных растений.

Уточнение представлений о количестве корневых экссудатов, поступающих в почву, и их роли в процессе связывания азота наряду с выводом о тесной взаимосвязи фотосинтеза и азотфиксации наводит и на другие заключения. Они касаются процессов почвообразования. Если ранее мы считали, что основным источником органического вещества, попадающего в почву, являлись растительные остатки (корни и надземные части растений), то теперь следует учитывать и его поступление с прижизненными корневыми выделениями. Необходимость учета такого поступления органического вещества в почву обусловлено тем, что общая масса корневых выделений сравнима с урожаем надземной части растений.

Еще С. А. Самцевич в работе «Взаимоотношения микроорганизмов почвы и высших растений»³, опу-

бликованной в 1972 г., отмечал, что в течение всего вегетационного периода через корневые системы в почву на 1 га в пересчете на сухое вещество поступает до 5 и более тонн корневых выделений. Определение количественной характеристики выделительной функции корневых систем позволила ему, высказать предположение о том, что корневые выделения растений не в меньшей степени, чем растительные остатки, могут принимать участие в формировании почвенного плодородия. Однако предположение не привлекло к себе внимания и не получило дальнейшего развития. Это объясняется тем, что решающая роль в повышении плодородия почв в тот период, как уже отмечалось ранее, отводилась минеральным удобрениям. Другие способы считались менее эффективными. Однако сейчас, когда мы располагаем дополнительной информацией о поступлении корневых выделений и их влиянии на интенсивность ассоциативной азотфиксации, справедливость и важность ранее сделанного С. А. Самцевичем вывода не вызывает сомнений. Подтверждением этого являются и результаты опытов с различными культурами по изучению влияния ассоциативной азотфиксации на рост и развитие растений [11–13].

За счет улучшения обеспеченности растений биологическим азотом ускоряется их рост, что, в свою очередь, увеличивает поступление в почву органических веществ и активизирует жизнедеятельность всех видов живых организмов, населяющих почву. Следует отметить, что в течение длительного времени биологическим свойствам почвы не уделялось достаточного внимания. В основном в поле зрения оказывались либо химические, либо физические свойства почвы. Ранее только благодаря работам О. П. Атлавитинте, Ю. М. Возняковской, Ю. Г. Гельцер, М. С. Гилярова, Д. К. Криволицкого, Е. М. Панкратовой и Э. А. Штина поддерживался интерес к почве как среде обитания разнообразных живых организмов. В последние годы внимание к этому вопросу восстанавливается, о чем свидетельствуют некоторые публикации [14]. Очевидно, одной из причин повышения внимания к почвенному населению стало изучение и понимание последствий интенсивного применения в земледелии средств химизации.

Поступление в почву большого количества органического вещества в виде корневых выделений и растительных остатков оказывает положительное влияние на весь комплекс почвообразовательных процессов. Получая дополнительный пищевой ресурс, активизируются специфические группы живых организмов, которые осуществляют его последовательную трансформацию. Если данные процессы сбалансированы, то это повышает коэффициент гумификации органики. Пришедшая в возбужденное состояние биота начинает интенсивно воздействовать как на минеральную часть верхнего почвенного горизонта, так и на материнскую породу. Эти процессы

³ Самцевич С. А. Взаимоотношения микроорганизмов почвы и высших растений // Микроорганизмы почвы и растений: сборник статей. Минск, 1972. С. 3–67.

чрезвычайно важны, так как в итоге определяют физические и химические свойства почвы, а значит, и ее плодородие. Образно говоря, почвенная биота «вгрызается» в минеральную часть почвы, в том числе в материнскую породу, обеспечивая непрерывность почвообразовательного процесса. Выбивание из этой цепочки отдельных видов почвенных живых организмов, происходящее в результате изменения условий их обитания (обработка почвы, применение средств химизации), будет вызывать депрессию почвообразовательного процесса на отдельных его этапах, а значит, и ухудшение плодородия почвы.

Сопоставление имеющейся информации о фотосинтезе, азотфиксации и почвообразовании дает нам основание для заключения о том, что все эти процессы тесно связаны друг с другом. Схематическое изображение взаимодействия рассматриваемых процессов приведено на рис. 1, из которого видно, что фотосинтез, азотфиксацию и почвообразование следует рассматривать как структурные компоненты одной системы, взаимодействующие друг с другом. Корневые выделения и растительные остатки являются промежуточным звеном прямой связи между фотосинтезом и другими компонентами системы. Изменения в любом из них неизбежно отражаются соответствующим образом на двух других.

Утверждение о тесной взаимосвязи между фотосинтезом, азотфиксацией и почвообразованием на первый взгляд может показаться необоснованным. Так, растения способны нормально расти и развиваться при отсутствии почвы на физиологических растворах. Но это стало возможно только в искусственных условиях, где нами полностью контролируются ус-

ловия выращивания: уровень минерального питания, влажность субстрата и воздуха, освещенность, температура и фитосанитарная обстановка. В естественных биогеоценозах и в полевых условиях это невозможно.

Понимание взаимосвязи между фотосинтезом, азотфиксацией и почвообразованием имеет большое теоретическое и практическое значение. Например, известно, что выращиваемые в настоящее время сельскохозяйственные культуры практически не отличаются от диких образцов по интенсивности фотосинтеза.

Как выяснилось, качественных изменений в фотосинтетическом аппарате, то есть в увеличении скорости связывания двуокси углерода, современных высокоурожайных сортов не произошло. Рост их продуктивности связывают с перераспределением продуктов фотосинтеза. Они (особенно в начальный период роста растений) используются преимущественно на формирование листового аппарата.

Только перераспределением продуктов фотосинтеза в растениях можно объяснить результаты наших наблюдений по изучению влияния уровня минерального питания на эффективность фотосинтетического аппарата растений кукурузы. В наших полевых опытах было установлено, что внесение минеральных удобрений увеличивает урожайность зеленой массы кукурузы на 17 %, а сбор ее сухого вещества – на 22 %. Но при этом активность хлорофилла растений кукурузы изменялась незначительно, то есть внесение минеральных удобрений не повышало эффективность работы фотосинтетического аппарата. Поэтому возникает вопрос: в чем причины повышения ее урожайности? Объяснить такую реакцию растений

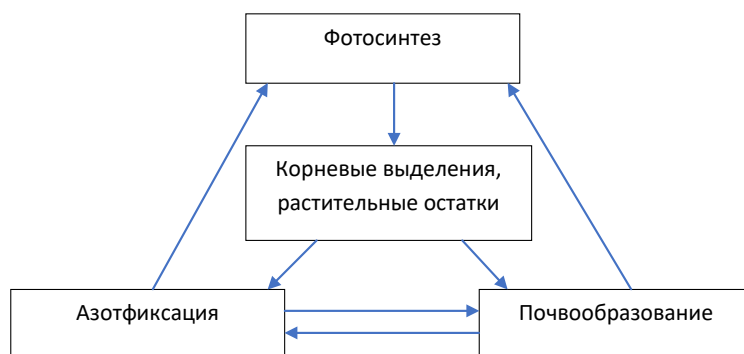


Рис. 1. Схема взаимодействия процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования

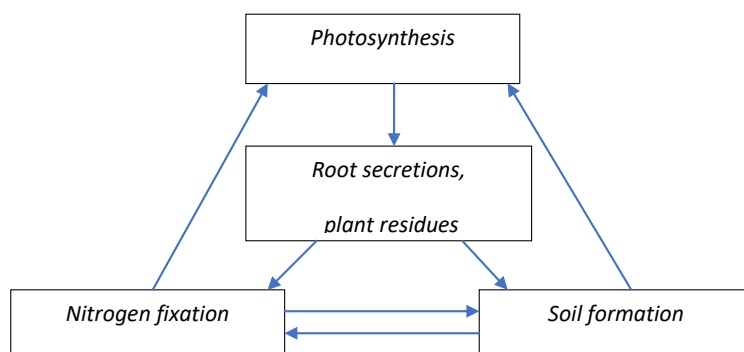


Fig. 1. Diagram of interaction of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation processes

можно результатами наблюдений, полученными в полевых опытах С. М. Самосовой и опубликованными в работе «Некоторые аспекты изучения взаимоотношений между озимой пшеницей и микрофлорой ризосферы корней»⁴. В соответствии с ними внесение элементов минерального питания в 2–3 раза снижало выделительную функцию корней растений. А обеднение субстрата минеральными элементами, наоборот, усиливало выделительные свойства. Следовательно, есть основание полагать, что основной причиной повышения урожайности растений кукурузы в наших опытах стало перераспределение продуктов фотосинтеза в пользу формирования надземной массы растений, которое происходит за счет сокращения объемов поступления в почву корневых выделений [15, с. 44]. При этом перераспределение продуктов обмена веществ при изменении условий жизнедеятельности характерно не только для высших растений, но и для других групп живых организмов. Это следует из сообщения Р. Д. Мандевой с соавторами в статье «Экскреция метаболитов дрожжами рода *Candida* при дефиците источников N, P, S или Mg в средах с различными источниками углерода»⁵.

Таким образом, увеличение фотосинтетического потенциала растений и урожайности сельскохозяйственных культур при внесении минеральных удобрений происходит за счет изменения выделительных свойств корневых систем. Сокращая выделительную функцию корневых систем, растения начинают использовать большую часть продуктов фотосинтеза на формирование листовой массы, что в итоге и обуславливает увеличение общего объема органического вещества надземной массы. Это хорошо объясняет, почему современные сорта, имея высокую продуктивность, одновременно требовательны к уровню минерального питания. Если это так, то искусственно создаваемые формы растений, уменьшая поступление корневых выделений в почву, неизбежно (в соответствии с законами функционирования систем) могут оказывать неблагоприятное влияние на сопряженные с фотосинтезом процессы – азотфиксацию и почвообразование. В результате возникает их депрессия. Для ее устранения мы вынуждены использовать минеральные удобрения. Но при этом проблема не просто не разрешается, а усугубляется. Имеются многочисленные данные о том, что, повышая урожайность культурных растений, минеральные удобрения (особенно при длительном их использовании) могут ухудшать физические, химические и биологические свойства почвы. В опытах по изучению симбиотической и ассоциативной азотфиксации было установлено, что эффективность этих процессов чаще всего снижается при внесении азотных удобрений.

⁴ Самосова С. М. Некоторые аспекты изучения взаимоотношений между озимой пшеницей и микрофлорой ризосферы корней // Микроорганизмы почвы и их взаимоотношения с высшими растениями: сборник статей. Казань: КГУ, 1971. С. 3–12.

⁵ Мандева Р. Д., Ермаков И. Г., Ложинова А. Б. Экскреция метаболитов дрожжами рода *Candida* при дефиците источников N, P, S или Mg в опытах с различными источниками углерода // Микробиология. 1981. Т. 50. Вып. 1. С. 62–68.

Кроме того, внесение удобрений порождает новые проблемы – экологические и экономические. Следовательно, понимание связи между фотосинтезом, азотфиксацией и почвообразованием дает нам методологическую основу для оценки последствий нашего вмешательства в агроэкосистемы.

Сопряженное положение между фотосинтезом, азотфиксацией и почвообразованием хорошо согласуется с концепцией биосферных функций почв Г. В. Добровольского и Е. Д. Никитина. В соответствии с их выводами почвы, которые образуются под влиянием определенного типа растительности, почвенного населения и климата, участвуют в формировании химического состава атмосферы, гидросферы и планетарных биогеохимических потоков. Уместно отметить: для того чтобы сформулировать свою концепцию, авторы должны были оторваться от частных характеристик почв и разглядеть их участие в более сложных процессах.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Научное и практическое значение понимания взаимовлияния фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования состоит и в том, что оно указывает на принципиально новые пути повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Эти задачи могут быть решены за счет самого растения [15, с. 45].

Поскольку поступление органических веществ в почву с корневыми выделениями по общему объему и эффекту сравнимо с его поступлением при внесении органических удобрений, то, очевидно, усилив эту функцию корневых систем, мы сможем в соответствующей степени активизировать процессы азотфиксации, а значит, почвообразования и фотосинтеза. Увеличить поступление корневых выделений в почву можно селекционным путем. Для современной науки задача получения растений с такими характеристиками не является невыполнимой. Именно такой способ повышения плодородия почв предлагается использовать при переходе на эколого-биосферную систему земледелия.

Рекомендуемый способ повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур имеет при сравнении с агрохимическим существенные преимущества. Во-первых, он экологически безопасен, так как основан на естественных природообразовательных процессах. Во-вторых, такой способ предпочтителен с экономической точки зрения. Приобретение, транспортировка, хранение и внесение минеральных удобрений требуют больших затрат. Их доля при выращивании сельскохозяйственных культур достигает 40 % от общих. Поэтому если задача повышения плодородия почв будет решена менее дорогостоящим способом, за счет физиологических свойств самого растения, то это даст значительный экономический эффект. В-третьих, его реализация в рамках эколого-биосферного земледелия может внести существенный вклад в решение некоторых экологических проблем, имеющих глобальный характер, в том числе изменения климата.

Представленная схема взаимодействия фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования может использоваться также при создании искусственных экосистем, предназначенных для обеспечения благоприятных условий жизнедеятельности человека в автономных средах обитания.

Уточнение представлений о взаимосвязи между фотосинтезом, азотфиксацией и почвообразованием позволяет сформулировать два принципиально важных положения, которые должны учитываться в земледелии. Первое состоит в следующем: увеличение поступления в почву продуктов фотосинтеза в виде корневых выделений и растительных остатков активизирует процессы азотфиксации, почвообразования и в итоге способствует повышению ее плодородия, а также урожайности сельскохозяйственных культур. Второе: все структурные компоненты рассматриваемой системы находятся между собой в тесной взаимосвязи. Даже кратковременное подавление любого из них недопустимо. С этой точки зрения насыщение технологических схем выращивания сельскохозяйственных культур техногенными элементами без учета их влияния на отдельные процессы, происходящие в агроэкосистемах, неизбежно будет создавать условия для их деградации, а значит, и увеличения наших затрат на обеспечение нормальных условий для роста и развития сельскохозяйственных культур.

Бесспорно, ввиду сложности составных компонентов представленная схема взаимодействия фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования неидеальна. Вероятно, она нуждается в уточнении деталей и проведении дополнительных исследований. Одним из направлений ее проверки, совершенствования и конкретизации может стать математическое моделирование. Этот способ исследования стал одним

из инструментов изучения поведения сложных динамических систем. Именно он использовался при построении моделей глобального развития и оценке последствий применения ядерного оружия. В настоящее время он является основным методом изучения процессов или объектов в условиях, когда возникают сложности в проведении классического эксперимента. Поэтому математическое моделирование часто используется при изучении поведения как простых, так и сложных экосистем. Первоначальный этап таких исследований состоит в построении умозрительной модели и определении ее составных компонентов. В последующем описывается характер их взаимосвязей, что и определяет поведение модели при изменении внутренних и внешних параметров ее функционирования. Представленная схема взаимодействия фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования, ее элементы или их взаимосвязи могут использоваться при построении математических моделей экосистем разного типа и изучении их поведения в разных условиях. В настоящее время уже накоплен некоторый опыт в математическом моделировании симбиотической азотфиксации [16; 17].

В заключение следует отметить, что предлагаемый подход выводит наши представления о фотосинтезе, азотфиксации и почвообразовании на новый уровень. Объединение рассматриваемых процессов в рамках одной системы создает методологическую базу для контроля и регулирования состояния агроэкосистем. Это может иметь значение не только для земледелия, но и для экологии. Учет взаимовлияния фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования подводит научную основу для прогнозирования как состояния отдельных биогеоценозов, так и биосферы в целом.

Библиографический список

1. Яковлев А. Г., Таисова А. С., Фетисова З. Г. Перенос энергии в светособирающих аппаратах природного фотосинтеза // *Успехи современной биологии*. 2020. Т. 140. № 2. С. 166–182. DOI: 10.31857/S0042132420020088.
2. Соколов В. А. О возможном пути увеличения эффективности фотосинтеза // *Доклады Российской академии наук. Науки о жизни*. 2020. Т. 491. № 1. С. 204–207. DOI: 10.31857/S2686738920020249.
3. Постников П. А. Оценка гороха как предшественника для яровой пшеницы // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019. № 1 (21). С. 15–21. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11067.
4. Проворов Н. А., Тихонович И. А. Современное состояние и перспективы развития симбиогенетики // *Экологическая генетика*. 2019. Т. 17. № 1. С. 5–10. DOI: 10.17816/ecogen1715-10.
5. Гурьев Г. П., Васильчиков А. Г. Влияние препаратов клубеньковых бактерий и комплексного микробного удобрения (КМУ) на симбиотическую азотфиксацию и урожай гороха // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2017. № 1 (21). С. 23–28.
6. Балашов В. В., Балашов А. В., Кудинов В. В. Влияние минеральных удобрений, предшественника и ризоторфина на развитие симбиотического аппарата и урожайность нута // *Плодородие*. 2016. № 6 (93). С. 14–15.
7. Samorodova A. P., Tvorogova V. E., Tkachenko A. A., Potsenkovskaya E. A., Lebedeva M. A., Tikhonovich I. A., Lutova L. A. Agrobacterial tumors interfere with nodulation and demonstrate the expression of nodulation-induced CLE genes in pea // *Journal of Plant Physiology*. 2018. Vol. 221. Pp. 94–100. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.12.005.
8. Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения био-препаратов в посевах сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 2019. № 8. С. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143.
9. Емцев В. Т., Мишустин Е. Н. *Сельскохозяйственная микробиология: учебник для академического бакалавриата*. Москва: Издательство Юрайт, 2019. 197 с.
10. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. *Экология азотфиксации*. Саратов, 2019. 252 с.
11. Froussart E., Bonneau J., Franche C., Bogusz D. Recent advances in actinorhizal symbiosis signaling // *Plant Molecular Biology*. 2016. Vol. 90. No. 6. Pp. 613–622.

12. Копылов Б. А., Турчин В. В., Громаков А. А. Эффективность бактериальных препаратов в организации минерального питания подсолнечника на черноземе обыкновенном // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2021. № 1-1 (39). С. 68–74.

13. Хамова О. Ф., Мансапова А. И., Горбова М. А., Шулико Н. Н., Тукмачева Е. В. Влияние биопрепаратов комплексного действия на биологическую активность ризосферы и продуктивность льна-долгунца // Плодородие. 2021. № 2 (119). С. 52–55. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.14.

14. Чулков В. А., Чапалда Т. Л. Оценка влияния сидератов на биологические свойства чернозема оподзоленного в звене полевого севооборота // Аграрный вестник Урала. 2021. № 4 (207). С. 55–63. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-55-63.

15. Овсянников Ю. А. Флуоресценция хлорофилла кукурузы и механизм повышения ее урожайности при внесении минеральных удобрений // Аграрный вестник Урала. 2021. № 2 (205). С. 41–47. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-41-47.

16. Абрамова А. В., Неупокоева К. Г. О математическом моделировании симбиотической азотфиксации // Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2015. № 2. С. 95–101.

17. Абрамова А. В., Хворова Л. А., Топаж А. Г. Моделирование симбиотической азотфиксации методами теории оптимального управления и эволюционных игр // Тезисы докладов VII Международной конференции памяти профессора А. А. Колоколова. Омск, 2018. С. 47.

Об авторах:

Юрий Алексеевич Овсянников¹, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры растениеводства и селекции, ORCID 0000-0003-4937-4268, AuthorID 129091; +7 (343) 221-41-16, 221-41-17, ovs122333@yandex.ru

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

On the unity of the processes of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation

Yu. A. Ovsyannikov¹✉

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: ovs122333@yandex.ru

Abstract. The development of science occurs not only as a result of the accumulation of information about the elementary, specific characteristics of individual phenomena or objects of the world around us, but also as a result of the comprehensive use of the acquired knowledge necessary to understand more complex processes. **The purpose** was to summarize the results of studies obtained in the study of photosynthesis, soil formation, nitrogen fixation and the formation of new ideas to explain the processes occurring in ecosystems of different levels. **The scientific novelty** consists in the fact that, based on the analysis of the results of their own research and the work of other authors, it is concluded that photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation should be considered within a single system.

Results. A block diagram of this system was proposed. The interaction of its individual components was described, which is based on the formation of metabolic flows of organic substances involved in photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation. The proposed scheme of interaction of the processes under consideration within a single system will allow, according to the author, to objectively assess and predict the state of individual agroecosystems, biogeocenoses and the biosphere as a whole. **The practical significance** of the work is that the proposed description of the interaction of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation can be used to justify a new approach to increasing soil fertility based on the activation of excretory functions of plant root systems. The proposed scheme of interaction of the studied processes can be used in the development of mathematical models of behavior of agroecosystems and biogeocenoses of various levels, as well as in the creation of autonomous human habitats. The main **research methods** are experimental, historical and system analyses, comparisons, simulations, generalizations.

Keywords: system approach, cognition of the surrounding world, photosynthesis, symbiotic nitrogen fixation, associative nitrogen fixation, microorganisms, root secretions, soil formation, system, ecosystem, agroecosystem, agrobiogeocenosis, biosphere, rhizosphere, soil fertility, mineral fertilizers, organic substances, photosynthesis products, ecological and biospheric agriculture.

For citation: Ovsyannikov Yu. A. O edinstve protsessov fotosinteza, azotfiksatsii i pochvoobrazovaniya [On the unity of the processes of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 01 (216). Pp. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46. (In Russian.)

Date of paper submission: 08.11.2021, **date of review:** 12.11.2021, **date of acceptance:** 17.11.2021.

References

1. Yakovlev A. G., Taisova A. S., Fetisova Z. G. Perenos energii v svetosobirayushchikh apparatakh prirodnogo fotosinteza [Energy transfer in light-harvesting apparatus of natural photosynthesis] // *Biology Bulletin Reviews*. 2020. Vol. 140. No. 2. Pp. 166–182. (In Russian.)
2. Sokolov V. A. O vozmozhnom puti uvelicheniya effektivnosti fotosinteza [O vozmozhnom puti uvelicheniya effektivnosti fotosinteza] // *Doklady Rossiyskoy akademii nauk. Nauki o zhizni*. 2020. Vol. 491. No. 1. Pp. 204–207. (In Russian.)
3. Postnikov P. A. Otsenka gorokha kak predshestvennika dlya yarovoy pshenitsy [Evaluation of peas as a predecessor for spring wheat] // *Legumes and groat crops*. 2019. No. 1 (29). Pp. 15–21. (In Russian.)
4. Provorov N. A., Tikhonovich I. A. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya simbiogenetiki [Current state and prospects for development of symbiogenetics] // *Ecological genetics*. 2019. T. 17. No. 1. Pp. 5–10. (In Russian.)
5. Gur'ev G. P., Vasil'chikov A. G. Vliyanie preparatov kluben'kovykh bakteriy i kompleksnogo mikrobnogo udobreniya (KMU) na simbioticheskuyu azotfiksatsiyu i urozhay gorokha [Influence of preparations nodule bacteria and complex microbial fertilizer (CMF) on symbiotic nitrogen fixation and yield of pea] // *Legumes and groat crops*. 2017. No. 1 (21). Pp. 23–28. (In Russian.)
6. Balashov V. V., Balashov A. V., Kudinov V. V. Vliyanie mineral'nykh udobreniy, predshestvennika i rizotorfina na razvitie simbioticheskogo apparata i urozhaynost' nuta [Effect of mineral fertilizers, preceding crop, and rizotorfin on the development of the symbiotic apparatus and the yield of chickpea] // *Plodorodie*. 2016. No. 6 (93). Pp. 14–15. (In Russian.)
7. Samorodova A. P., Tvorogova V. E., Tkachenko A. A., Potsenkovskaya E. A., Lebedeva M. A., Tikhonovich I. A., Lutova L. A. Agrobacterial tumors interfere with nodulation and demonstrate the expression of nodulation-induced CLE genes in pea // *Journal of Plant Physiology*. 2018. Vol. 221. Pp. 94–100. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.12.005.
8. Zavalin A. A., Alferov A. A., Chernova L. S. Assotsiativnaya azotfiksatsiya i praktika primeneniya biopreparatov v posevakh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Associative nitrogen fixation and the practice of application of biological products in agricultural crops] // *Agrokimiya*. 2019. No. 8. Pp. 83–96. (In Russian.)
9. Emtsev V. T., Mishustin E. N. Sel'skokhozyaystvennaya mikrobiologiya: uchebnik dlya akademicheskogo bakalavriata [Agricultural microbiology: a textbook for academic bachelor's degrees]. Moscow: Izdatel'stvo Yurayt, 2019. 197 p. (In Russian.)
10. Zavalin A. A., Sokolov O. A., Shmyreva N. Ya. Ekologiya azotfiksatsii [Ecology of nitrogen fixation]. Saratov, 2019. 252 p. (In Russian.)
11. Froussart E., Bonneau J., Franche C., Bogusz D. Recent advances in actinorhizal symbiosis signaling // *Plant Molecular Biology*. 2016. Vol. 90. No. 6. Pp. 613–622.
12. Kopylov B. A., Turchin V. V., Gromakov A. A. Effektivnost' bakterial'nykh preparatov v organizatsii mineral'nogo pitaniya podsolnechnika na chernozeme obyknovennom [The effectiveness of bacterial preparations in the organization of mineral nutrition of sunflower on ordinary chernozem] // *Vestnik of Don State Agrarian University*. 2021. No. 1-1 (39). Pp. 68–74. (In Russian.)
13. Khamova O. F., Mansapova A. I., Gorbova M. A., Shuliko N. N., Tukmacheva E. V. Vliyanie biopreparatov kompleksnogo deystviya na biologicheskuyu aktivnost' rizosfery i produktivnost' l'na-dolguntsa [Influence of biopreparations of integrated action on the biological activity of the rhizosphere and productivity of dolluna flax] // *Plodorodie*. 2021. No. 2 (119). Pp. 52–55. (In Russian.)
14. Chulkov V. A., Chapalda T. L. Otsenka vliyaniya sideratov na biologicheskie svoystva chernozema opodzolenogo v zvene polevogo sevooborota [Evaluation of the influence of siderates on the biological properties of podzolized chernozem in the link of field crop rotation] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 4 (207). Pp. 55–63. (In Russian.)
15. Ovsyannikov Yu. A. fluorestsentsiya khlorofilla kukuruzy i mekhanizm povysheniya ee urozhaynosti pri vnesenii mineral'nykh udobreniy [Fluorescence of corn chlorophyll and the mechanism of increasing its yield when applying mineral fertilizers] // *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021. No. 2 (205). Pp. 41–47. (In Russian.)
16. Abramova A. V., Neupokoeva K. G. O matematicheskom modelirovanii simbioticheskoy azotfiksatsii [On mathematical modeling of symbiotic nitrogen fixation] // *Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika*. 2015. No. 2. Pp. 95–101. (In Russian.)
17. Abramova A. V., Khvorova L. A., Topazh A. G. Modelirovanie simbioticheskoy azotfiksatsii metodami teorii optimal'nogo upravleniya i evolyutsionnykh igr [Modeling of symbiotic nitrogen fixation by methods of optimal control theory and evolutionary games] // *Tezisy dokladov VII Mezhdunarodnoy konferentsii pamyati professora A. A. Kolokolova*. Omsk, 2018. P. 47. (In Russian.)

Authors' information:

Yuriy A. Ovsyannikov¹, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of the department of crop production and breeding, ORCID 0000-0003-4937-4268, AuthorID 129091; +7 (343) 221-41-16, 221-41-17, ovs122333@yandex.ru

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia