

СИСТЕМА «МИКРООРГАНИЗМЫ ПОЧВЫ – РАСТЕНИЯ – ЖИВОТНЫЕ» КАК МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Р.Р. ЗАЙНУЛЛИН

(ФГБНУ Институт социально-экономических исследований
Уфимского федерального исследовательского центра РАН)

Проанализированы наглядно-образные и вербально-логические представления объекта управления в науках, связанных с аграрной сферой (агрохимия, почвоведение, биология, экология, агроценология и др.). Сделан вывод о том, что при достаточности вербально-логических, имеется неполнота наглядно-образных описаний объекта управления в агроэкосистемах, вследствие чего существенный объём знаний труднодоступен для широкого круга лиц и, в некоторой степени, «неотчуждаем» от узких специалистов. Одним из важнейших следствий такого положения дел для практики управления социально-экономическими системами является то, что в производственно-потребительской системе России на макроуровне неверно расставлены приоритеты расходования минеральных и энергетических ресурсов, а баланс биофильных элементов в земледелии отрицательный.

Для совершенствования наглядно-образного представления знаний указанных наук, предложено формализовать и графически отобразить биогенный круговорот питательных элементов в земледелии (биологический круговорот в агроэкосистемах) в виде системы «микроорганизмы почвы – растения – животные», то есть как метаболизирующую систему трёх групп организмов.

Сделан вывод о том, что управление системой «микроорганизмы почвы – растения – животные» соответствует целям таких концепций, как «рациональное природо- и землепользование», «устойчивое развитие», «экономика замкнутого цикла».

Предложено избрать «Коэффициент замкнутости биологического круговорота» в качестве интегрального показателя эффективности государственного управления устойчивым развитием эколого-экономических систем и, как следствие, почвенным плодородием, т.к., по мнению автора, в отличие от «баланса биофильных элементов» данный коэффициент чувствителен к источнику сырья и отражает динамические свойства системы.

Ключевые слова: *земледелие, агрохимия, почвоведение, треугольник Прянишникова, агроценоз, агросфера, объект управления, биологический круговорот, метабиоз, экология, отходы (навоз, помёт, кухонные отбросы, осадок сточных вод), замкнутый цикл.*

Введение

Известно, что с началом земледелия и животноводства на некотором участке земли человек осуществляет вмешательство в такой объективно протекающий процесс, как «малый биологический круговорот», после чего естественный ценоз в некоторой степени утрачивает функцию саморегуляции и становится управляемой системой, образуется искусственный ценоз, который именуется «агроценозом», «агроэкосистемой» и т.п. Для управления таким объектом необходимо описать его как замкнутую систему, качество управления которой будет зависеть от его точности и доступности для понимания.

Например, в науке «Агрохимия» указывается на то, что «агрохимия изучает круговорот питательных веществ в земледелии» [16, С. 43; 21, С. 3–4; 27, С. 3–4],

а основной способ вмешательства в него – применение удобрений, и приводится графическое изображение объекта управления в виде системы «почва – растение – удобрение» (рис. 1).

Но, как будет показано в разделе 3, «треугольник Прянишникова» не является полноценной принципиальной схемой круговорота питательных элементов и недостающие образы возможно построить только после изучения текстовых описаний как самого Д.Н. Прянишникова, так и других учёных. Скорее, такое отображение объекта управления является «данью моде» того времени – восприятие главной задачи земледелия как задачи освобождения растения от «власти земли» (по К.А. Тимирязеву). Но с тех пор точность описания биологического круговорота существенно возросла.

Другой пример – почвоведение. По нашему мнению, при наличии детального описания процессов, происходящих в почве, отсутствует соответствующее общепринятое графическое отображение объекта управления в почвообразовательном процессе (следовательно, и в земледелии), доступное для однозначного понимания широкого круга лиц, организующих и осуществляющих практику земледелия. При этом в почвоведении не прекращается добыча знания, в том числе, например, по вопросу о контрольных параметрах оценки здоровья почвы [20].

В терминах системного анализа и теории управления, ситуация выглядит следующим образом: есть общественный институт «наука», в котором распознан некоторый фактор среды (F), но стереотип его распознавания сформулирован таким образом, что время, необходимое для ознакомления с ним, превышает время, необходимое для формирования своевременного и адекватного управленческого воздействия на этот фактор.

Описанное выше нашло своё отражение в практике государственного управления в России – сложилась ситуация, когда есть Федеральный закон о государственном регулировании почвенного плодородия [25], в соответствии с которым «собственники, владельцы, пользователи, в том числе арендаторы, земельных участков обязаны: – осуществлять производство сельскохозяйственной продукции способами, обеспечивающими воспроизводство плодородия земель сельскохозяйственного назначения <...>», но из-за отсутствия чётких критериев оценки качества управления процессом и ответственности его участников учёные-агрохимики-почвоведы вынуждены констатировать, например, что «за 25-летний период [1992–2016 гг.] в земледелии России вынос азота, фосфора и калия урожаями сельскохозяйственных культур превысил внесение этих элементов со всеми видами удобрений в 3 раза» [12]. Это означает, что сегодня нами «проедается» потенциальное плодородие и в будущем это отрицательно скажется на эффективности земледелия и продовольственной безопасности. Из этого следует вывод о том, что в России неверно расставлены приоритеты расходования минеральных и энергетических ресурсов и, соответственно, текущий их расход не эффективен.

В связи с изложенным выше мы поставили целью исследовать вопрос о доступности для понимания управленцами представленных в науках о земледелии описаний объектов управления и, в случае необходимости, о корректировке имеющихся описаний либо формализации новых.

В результате изучения наглядно-образных и вербально-логических представлений объекта управления в земледелии такими науками, как агрохимия,

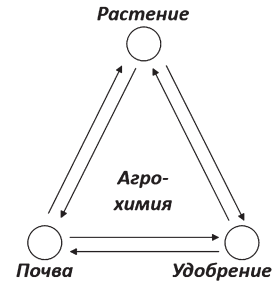


Рис. 1. Схема взаимосвязи между растением, почвой и удобрением – «треугольник Прянишникова» [16, С. 44]

почвоведение, биология и экология, мы пришли к выводу о целесообразности предложения научному сообществу использовать в качестве междисциплинарного объекта управления модель биологического круговорота, представленную в виде метабиотической системы «микроорганизмы почвы – высшие растения – высшие животные¹».

Учитывая тот факт, что в развитии концепций «устойчивого развития» и «экономики замкнутого цикла» имеются разделы, посвящённые биологическим циклам, следует предположить, что упомянутая система может выступать объектом управления и на уровне макроэкономики². То есть иметь в ближайшей перспективе не только научно-образовательную, но и практическую ценность – например, служить обоснованием введения дополнительных контрольных параметров эколого-экономической устойчивости территорий, об одном из которых (Коэффициенте замкнутости биологического круговорота) речь пойдёт в *разделе 5*.

Отдельно укажем, что для целей текущего исследования будет употребляться термин «биологический круговорот», но по умолчанию подразумевается, что, во-первых, малые биологические круговороты конкретных территорий вписаны в глобальный биогеохимический круговорот, во-вторых, круговоротам сопутствуют геохимические процессы, т.е. исследование проводится «при прочих равных геохимических условиях», в-третьих, речь идёт о круговоротах веществ, в то время как энергия рассеивается, не совершая круговорота.

1. Модель естественного биологического круговорота и обусловленного им почвообразовательного процесса

В естественных ценозах почва и её главная функция – почвенное плодородие – есть результат почвообразовательного процесса, «движущей силой» которого является биологический круговорот как часть биогеохимического круговорота.

Предлагаем отобразить графически взаимодействие трёх групп организмов³, образующих биологический круговорот, как систему «микроорганизмы

¹ Далее по тексту система будет описываться без слова «высшие», подразумевая его по умолчанию. Мы осведомлены о таких общеупотребительных словосочетаниях как «микробиом почвы», «биота почвы» и т.п., однако сегодня эти термины менее понятны более широкой аудитории, для которой вырабатывается объект управления. В будущем, для краткости и компактности, вероятно, словосочетание «микроорганизмы почвы» следует заменить на «биоту почвы».

² Речь идёт о разработке соответствующего организационно-экономического механизма антропогенного воспроизводства биологического круговорота, как основы устойчивости социально-экономической системы.

³ – «Говоря о сущности почвенного плодородия, напомним, что его воспроизводство – одна из наиболее важных функций почвы – возможно только при протекании биогеохимического круговорота, который является причиной возникновения, развития и поддержания плодородия» [26, С. 88];

– «В почвообразовании участвуют 3 группы организмов – зелёные растения, микроорганизмы и животные, образующие на суше сложные биоценозы. При совместном воздействии организмов в процессе их жизнедеятельности, а также за счёт продуктов жизнедеятельности осуществляются важнейшие звенья почвообразования – синтез и разрушение органического вещества, избирательная концентрация биологически важных элементов, разрушение и новообразование минералов, миграция и аккумуляция веществ и другие явления, составляющие сущность почвообразовательного процесса и определяющие формирование главного свойства почвы – плодородия» [9, С. 69].

почвы – растения – животные»⁴ (рис. 2). При этом становится очевидным, что доминирующим типом взаимодействия его элементов является метабиоз⁵. Метабиотическими связями элементов этой системы являются потоки вещества и энергии: все растительные и животные остатки; продукты жизнедеятельности растений (корневые выделения), животных (экскременты) и микроорганизмов (биофильные элементы, полученные как в результате биологической мобилизации из материнской породы, так и при минерализации детрита).

Процесс воспроизводства почвенного плодородия при работе метабиотической системы выглядит следующим образом:

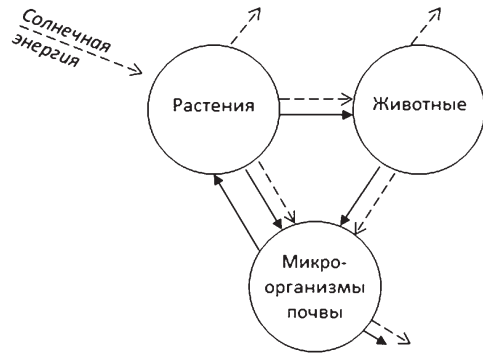
- микроорганизмы почвы (в т.ч. низшие растения и животные) создают избыток минерального питания в почве (мобилизуют элементы материнской породы и минерализуют органические остатки в количествах больших, чем могут потребить сами – это создаёт условия для освоения высшими растениями и животными наземной экологической ниши);

- затем высшие растения-фотосинтетики запасают солнечную энергию, получая элементы питания различными путями (избыток элементов питания, образовавшийся в результате деятельности микроорганизмов; стимуляция мобилизационной деятельности микроорганизмов собственными корневыми выделениями продуктов фотосинтеза; поглощение водорастворимых соединений, образовавшихся в результате свободно протекающих в почве химических реакций и реакций с корневыми выделениями и клетками растений);

- после чего животные и микроорганизмы почвы потребляют растения, используя запасённую в них энергию и элементы питания, одновременно минерализуя органическое вещество и рассеивая энергию в окружающую среду по мере продвижения биомассы по звеньям пищевых цепей/сетей и т.д.

2. Модель биологического круговорота в агроценозе со стадией минерализации органики

С тех пор, как человек перешёл от собирательства к земледелию, вооружившись огнём и техникой, его хозяйственная деятельность оказывает всё большее воздействие на многие процессы в биосфере, в том числе и на почвообразование. Это



Условные обозначения:
 - - - - -> Расходы энергии на дыхание
 —————> Биогенные элементы

Рис. 2. Модель естественного биологического круговорота (циклического метабиоза)

⁴ В биологии и экологии имеется описание системы «продуценты – консументы – редуценты», но она менее удобна для целей нашего исследования по нескольким причинам:

- во-первых, в ней в явном виде не отражена мобилизационная способность микроорганизмов почвы, в том числе, хемосинтезаторов и симбионтов, питающихся корневыми выделениями растений;

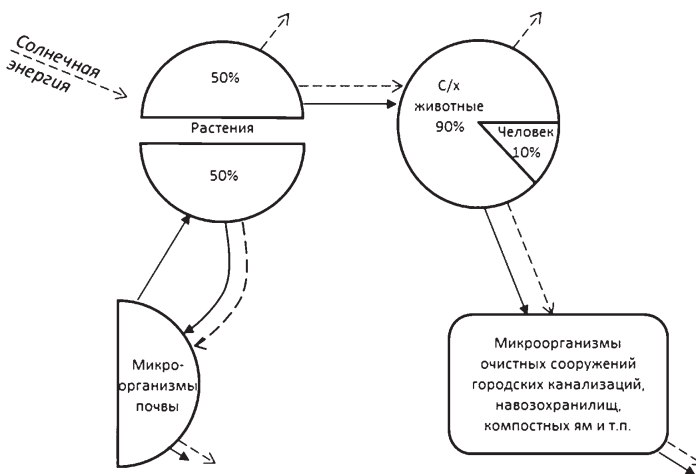
- во-вторых, потребуется дополнительное объяснение терминологии, принятой в этих науках, хотя и в нашем случае, как отмечалось ранее, речь идёт о высших растениях и животных.

⁵ Метабиоз – тип взаимоотношений биологических видов, когда продукты жизнедеятельности одних используются для обеспечения жизнедеятельности других. В таком случае, если описывать биологический круговорот по доминирующему типу связи, то это – «циклический метабиоз трёх групп организмов».

явление учёными было названо «культурным почвообразовательным процессом»⁶, в ходе которого размыкаются биогеохимические и биологические круговороты.

По разным оценкам учёных, сегодня человек в агроценозе отчуждает от 40 до 80% биомассы урожая [например, 6, С. 51; 15, С. 1–3]. В сочетании с интенсификацией земледелия это приводит к тому, что, во-первых, агроландшафты, в основном, находятся в зоне неустойчивого экологического состояния [13, С. 45], а во-вторых, способствует «почвоутомлению», охватывающему в настоящее время около 1,25 млрд га» [6, С. 6] из примерно 3,2 млрд га, пригодных для пахоты на Земле.

Отчуждённое органическое вещество урожая на первом этапе становится пищей для человека, кормом для сельскохозяйственных животных и сырьём для переработки. На втором этапе – биологическими отходами производства и потребления пищи (отходами переработки, не пошедшими на корм скоту, и экскрементами человека и животных), которые помещаются в искусственные резервуары: очистные сооружения городских канализаций; навозохранилища; помётохранилища; компостные ямы и т.п.



Условные обозначения:
 -----> Расходы энергии на дыхание
 —————> Биогенные элементы

Рис. 3. Модель разомкнутого биологического круговорота в агроценозе с этапом минерализации отходов вне почвы и без обеспечения человеком бездефицитного баланса биофильных элементов

Таким образом, при культурном почвообразовательном процессе естественная система «микроорганизмы почвы – растения – животные», изображённая нами на рис. 2, распадается на две подсистемы (рис. 3):

– «микроорганизмы почвы – растения»⁷ – микроорганизмы почвы;

– «микроорганизмы почвы – растения – человек и сельскохозяйственные животные – микроорганизмы искусственных сооружений».

Задачу воспроизводства почвенного плодородия и интенсификации растениеводства человек решает, в основном, пятью путями (в том числе их комбинацией):

1. Применение искусственных минеральных удобрений;
2. Применение органических удобрений, полученных путём гумификации/биодеградции биологических отходов⁸ в искусственных сооружениях до элементов питания и гумуса;

⁶ «При развитии культурного почвообразовательного процесса изменяются ёмкость, интенсивность и характер биологического круговорота веществ и в целом обмен веществ и энергии. Важнейшая особенность круговорота веществ и энергии при развитии культурного процесса почвообразования – отчуждение с урожаем части созданного растениями органического вещества и заключённых в нём питательных элементов» [9, С. 262–263].

⁷ Для наглядности представления, примем долю отчуждения биомассы равной 50%.

⁸ Отходов пищевой промышленности, экскрементов человека и животных, и т.п.

3. Максимально возможный возврат растительных остатков сельскохозяйственных культур (солома, солома, стебли, ботва);
4. Сокращение объёма отчуждаемого органического вещества урожая, выращивание многолетних трав и однолетних сидератов;
5. Применение органических удобрений в виде свежих либо термически высушенных биологических отходов (отходов пищевой промышленности, экскрементов человека и животных, и т.п.), то есть без стадии минерализации/гумификации.

При воспроизводстве почвенного плодородия и интенсификации растениеводства⁹ путями №№ 1–4 модель биологического круговорота приобретает новый вид (рис. 4). Важно отметить, что связь «микроорганизмы очистных сооружений – человек – микроорганизмы почвы/растения» отображена условно, так как, де-факто, гумифицированная биомасса не вносится пропорционально площади, с которой был снят урожай, а используется как средство интенсификации на отдельных участках. При этом большая часть энергии органического вещества отходов уже рассеяна в окружающую среду, т.е. замкнутой системы по-прежнему не образуется.

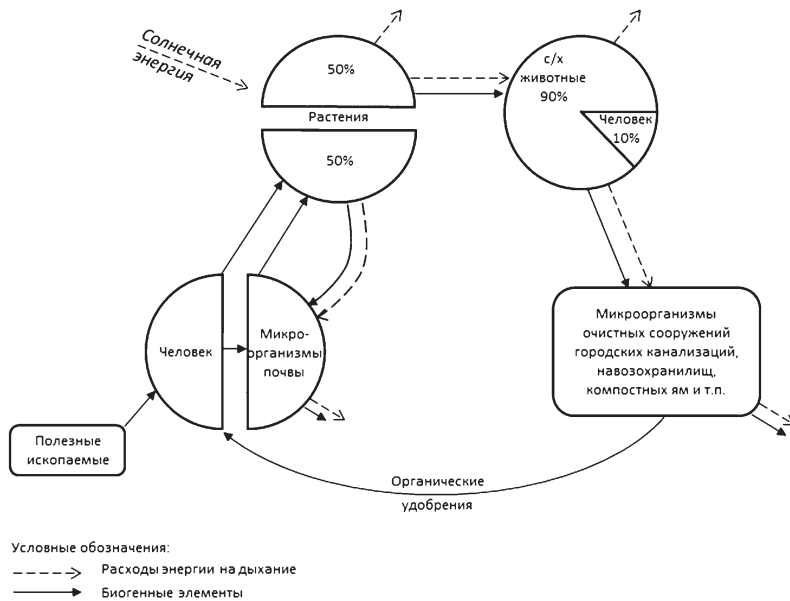


Рис. 4. Модель частично замкнутого¹⁰ биологического круговорота в агроценозе с этапом минерализации отходов вне почвы и с обеспечением человеком бездефицитного баланса биофильных элементов

⁹ Говоря об интенсификации сельскохозяйственного производства, следует отметить, что исторически сложившийся способ производства растительной пищи (модель на рисунке 4) получил название «преимущественно химико-техногенная стратегия интенсификации сельского хозяйства» [5, С. 8], и в ней «вопросы более полного использования ресурсного потенциала <...> с целью повышения ресурсоэнергоэкономичности и рентабельности отрасли, отодвигаются на второй план» [6, С. 41] по социально-экономическим причинам – конкуренция между странами и отдельными сельхозтоваропроизводителями. Такая стратегия ресурсоэнергоёмка и несёт большие экологические риски, нивелирование обратимых последствий которых также требует ресурсоэнергетических затрат: «... за фасадом «процветающего» сельского хозяйства [по контексту: Евро-Американского конгломерата] лежат острые экологические, ресурсоэнергетические и социальные проблемы. Считается общепризнанным, что увеличение сельскохозяйственного производства в США и странах Западной Европы на основе экспоненциального роста затрат антропогенной энергии может продолжаться лишь до тех пор, пока поддерживается поступление дешёвой энергии из вне» [5, С. 8–9].

¹⁰ Подробнее о степени замкнутости, а также количественно-качественных и пространственно-временных параметрах см. разделы 4–5 этой статьи.

Относительно 1-го, 2-го и 3-го путей уже к 1980-м годам в научной литературе отечественного почвоведения можно было найти сведения о том, что «даже если удаётся создать бездефицитный баланс основных биофильных элементов за счёт внесения органических и минеральных удобрений, **формы**, в которых они попадают в почву, **их соотношение**, а, следовательно, и **влияние** на основные агрономические свойства почвы **характеризуются существенным качественным отличием** от таковых при внесении [по контексту: неразложившихся] растительных остатков» [26, С. 88]. То есть, вначале были исследованы пути № 1 и № 2, основанные на прямой подмене «сил природы», а затем наукой был поставлен вопрос о повышении биогенности почвы и 3-й путь, будучи природоподобным элементом, получил должное развитие. Однако и он имеет свои ограничения в смысле качества растительных остатков. Например, у соломы зерновых культур весьма широкое отношение C:N (50–150 при оптимуме 15–30), что приводит к дополнительным затратам на внесение азотных удобрений с целью его сужения, так как в противном случае, при наличии такого углеводного источника, азот почвы иммобилизуется микроорганизмами.

Движение по 4-му пути – это подобные происходящим в природе всесторонне изученные и полезные экологически приёмы, они являются необходимым, но не достаточным условием, по причине чего до сих пор остаётся открытым вопрос об их экономической (ресурсоэнергетической) эффективности в случае определения их главным направлением вложения ресурсов в агротехнике:

- если изымать меньшую часть биомассы, то в современных условиях обострится и без того развивающийся в мире продовольственный кризис [4];

- сидеральный пар и многолетние травы иногда являются «холостым оборотом», на который также приходится немало ресурсоэнергетических затрат и времени «простоя» посевных площадей, но при этом так и не достигается оптимизации агроландшафта по содержанию органического вещества в почве [13, С. 28–45];

- если сидеральный пар является предшественником, например, озимой пшеницы, то для этого подходят не все культуры как из-за разности в качестве органического вещества, так и из-за снижения уровня влагообеспеченности почвы перед посевом, что сводит на нет эффект от обогащения почвы азотом [22, С. 125–126];

- вносимые в почву минеральные удобрения потребляются не только растениями, но и микроорганизмами почвы;

- ведя дискуссию с В.Р. Вильямсом на тему «травополье или плодосмен», сам Д.Н. Прянишников приводит результаты длительного опыта Ротамстеда, в ходе которого при ручной прополке много десятилетий высаживалась «пшеница по пшенице», которая, при наличии высоких доз минеральных удобрений либо навоза, давала высокие урожаи: «если между влиянием на почву корневой системы однолетних и многолетних злаков и имеются различия, то эти различия, очевидно, не важны в пределах поднятия урожая до 35 ц с 1 га» [16, С. 197–198] и это при прочих равных условиях подтверждается тем, что «по подсчётам специалистов, на 50% рост урожайности определяется применением удобрений и около 50% прироста приходится на другие факторы: агротехнику, сорта, мелиорацию и т.п.» [27, С. 22];

- из-за широкого соотношения C:N соломы, для ускорения разложения, рекомендуется не только измельчать её, но и вносить для активизации деятельности микроорганизмов около 10–15 кг азотных удобрений на гектар;

- интенсивные сорта культурных растений имеют не только повышенную собственную мобилизационную способность, но также осуществляют и больший объём выделений органических соединений через корни, что является

питанием как для симбионтов (азотобактер), так и для свободноживущих в почве азотфиксаторов;

– при возврате в почву как можно менее разложившейся либо законсервированной низкотемпературной сушкой биомассы отходов животноводства (навоз, помёт, осадок сточных вод и т.п.) наблюдается увеличение биоразнообразия микроорганизмов и животных почвы, а также повышение эффективности применения, например, фосфоритной муки [16, Т. 3, С. 592; 8, С. 107];

– и др.

3. Сравнение систем «почва – растение – удобрение» и «микроорганизмы почвы – растения – человек/животные – микроорганизмы искусственных сооружений»

Путём наложения элементов и связей *рис. 1* и *4*, сравним графические модели двух систем (*рис. 5*):

1. Элемент «почва» треугольника Прянишникова не отображён, т.к. является средой, в которой протекают процессы, и нашёл своё косвенное отражение на рисунке через элемент «микроорганизмы почвы»;

2. Элементы «растение» обоих рисунков идентичны, а элементы и связи «человек», «полезные ископаемые», «органические удобрения» и «биогенные элементы» *рис. 4* соответствуют элементу «удобрения» и его связям в треугольнике Прянишникова *рис. 1* – эти элементы-фигуры изображены без заливки и с чёрным контуром;

3. Элементы-фигуры, которых нет в «треугольнике Прянишникова», имеют узорную заливку «контурные ромбики» серого цвета.

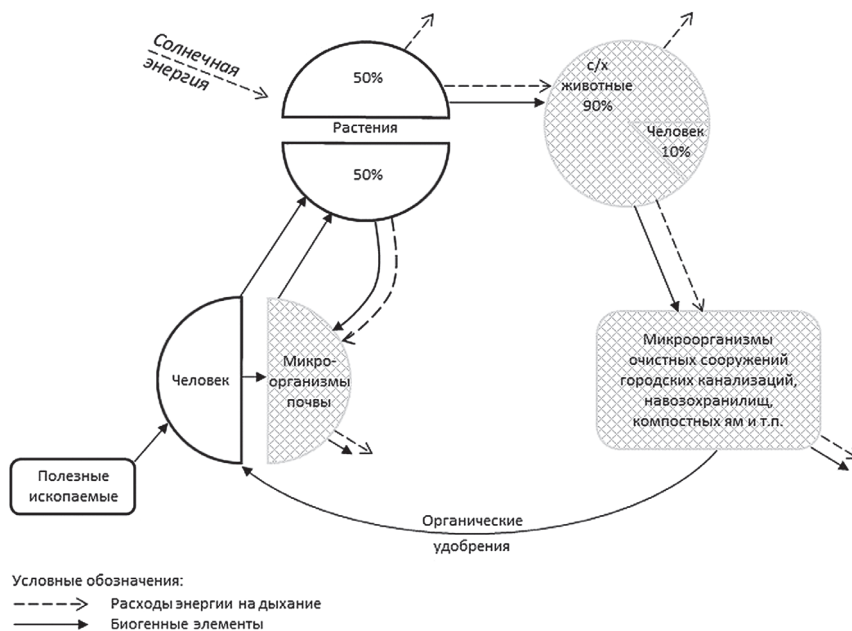


Рис. 5. Графическое сравнение систем, изображённых на *рисунках 1 и 4*

Графическое сравнение «треугольника Прянишникова» с биологическим круговоротом в виде метабиотического цикла делает очевидной его непригодность как для описания процессов макроуровня, так и для вхождения в управление этими процессами.

Но, если обратиться к текстам самого Дмитрия Николаевича, то можно обнаружить, что де-факто, например, в разделах «Полные удобрения органического происхождения» [16, Т. 1, С. 558–663], «Технический и биологический азот» [16, Т. 3, С. 285–463], «Местные удобрения и известкование почвы» [16, Т. 3, С. 541–623], «Азот и азотные удобрения» [16, Т. 3, С. 141–212] он описывал управление именно метабиотической системой (по нашему мнению – системой «микроорганизмы почвы – растения – животные», которую мы изобразили на *рис. 2*)¹¹.

Несмотря на расхождение Д.Н. Прянишникова и В.Р. Вильямса во взглядах на севообороты и плодосмен, во взглядах на навоз они были едины. В.Р. Вильямс указывал, что для расширения производства растениеводческой продукции «необходимо всякое внесение минеральных удобрений производить одновременно с полным навозным удобрением. Причина этого требования заключается в следующем... <далее следует подробное объяснение>» [3, С. 460–461].

Исходя из сказанного ранее в этом разделе, мы делаем вывод о том, что формализация системы в виде «треугольника Прянишникова» пришлась на период активного поиска объекта управления в агроценозе во всём мире: основой была система «почва-растение» («soil-plant system», например, [28]), а далее, в зависимости от целей исследования, шёл перебор её модификаций («soil-water-plant system», «soil-plant, water and air system» и т.п.). Пиком перебора можно считать систему «почва-растение-животное» («soil-plant-animal system» [29]), но, к сожалению, дальше внутренней динамики микроэлементов в отдельных элементах системы дело не пошло. Вероятно, чтобы дойти до метабиотических связей элементов системы требовалось ещё некоторое время, ведь в тот период только зарождались такие дисциплины как, например, «почвенная зоология», «агроценология», «агроэкология» и т.п., существенно расширившие представления человечества о процессах, происходящих как в почве, так и в биоценозах в целом. В связи с этим мы и предположили, что на текущий момент в науках, связанных с земледелием, уже накоплено достаточно данных для того, чтобы предпринять очередную попытку «перейти от количества к качеству» и формализовать объект управления, который будет носить междисциплинарный характер и отразит не только статические, но и динамические характеристики системы¹², о чём, например, отечественная школа почвоведения размышляла уже к 1980-м годам: «... для характеристики почвы как важнейшего средства сельскохозяйственного производства необходимо использовать не только статические параметры, которыми чаще всего пользуются в настоящее время, а прежде всего **динамические**, характеризующие процессы, которые всегда являются составной частью биогеохимических круговоротов» [26, С. 82].

¹¹ Здесь мы приводим лишь некоторые примеры из большого числа подобных описаний и прямых указаний Д.Н. Прянишникова на неразрывную связь минеральных удобрений с животноводством и органическими удобрениями и важности максимизации использования органических удобрений после увеличения биомассы растений с помощью минеральных удобрений.

¹² **Важное замечание!** Речь идёт именно о формализации модели (системы) и попытке оптимального отображения её динамических свойств. Отображённые в рисунках этой статьи процессы во многих науках (агрохимия, биология, почвенная зоология, почвоведение и др.) имеют текстуальное описание высокой степени детальности, но для представителей иных наук этот пласт знаний в некотором смысле недоступен, т.к. объём фактологии чрезвычайно велик и индуктивное движение «от частного к общему» для них не представляется возможным, что далее будет показано на примере экономических наук.

4. Модель антропогенно воспроизводимого биологического круговорота со стадией консервации органики

Исходя из изложенного в *разделах 1–3* возникает закономерный интерес к дополнительному исследованию 5-го пути (см. список путей воспроизводства почвенного плодородия в *разделе 2*), а именно – к внесению негумифицированных и не минерализованных вне почвы биологических отходов, то есть с исключением из системы «микроорганизмы почвы – растения – человек и сельскохозяйственные животные – микроорганизмы искусственных сооружений» элемента «микроорганизмы искусственных сооружений». Тогда система принимает природоподобный вид – «микроорганизмы почвы – растения – человек/животные» (*рис. 6*).

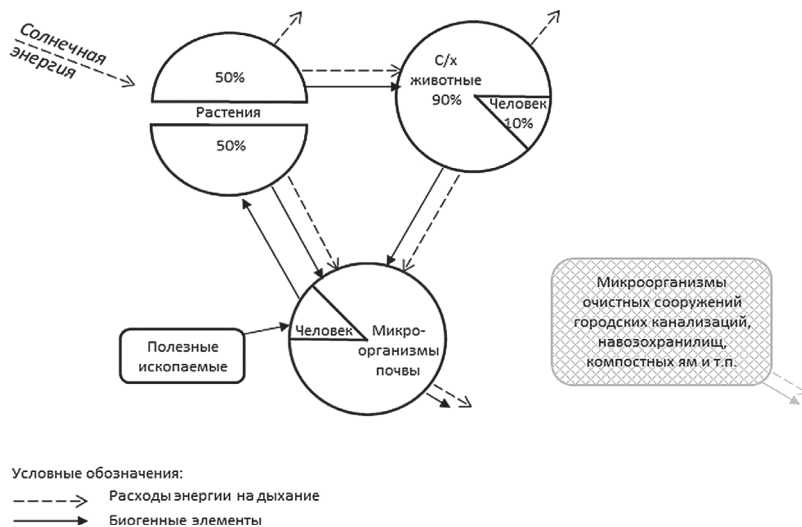


Рис. 6. Модель биологического круговорота в агроценозе при его антропогенном воспроизводстве

Приведённые в *разделе 2* факты объясняют, почему 5-й путь не отображён на *рисунке 4* – не потому, что сегодня его применение на практике исчезающе мало в силу санитарно-эпидемиологических, физико-химических и экономических ограничений¹³ (хотя он,

¹³ Некоторые примеры:

– Продукты жизнедеятельности человека и животных в виде фекалий и мочи могут содержать патогенную микрофлору как сразу после их образования, так и являться питательной средой для её развития в случае их накопления и хранения, по какой причине относятся к отходам со средним и высоким классами опасности [24] и подлежат утилизации, например, в биологических очистных сооружениях городских канализаций либо в ходе компостирования в навозо- и помётохранилищах.

– к физическим ограничениям следует отнести либо погодно-климатические факторы в виде снега на полях зимой и распутицы осенью/весной, либо наличие растущих на полях растений (будущего урожая).

– химическим ограничением может выступать форма внесения, например, свежего навоза (фекалии + моча + подстилка + осыпь кормов) – в результате активного перегнивания, может привести к ожогам корней и листьев культурных растений.

– экономическими ограничениями являются, например, нерентабельность внесения свежего навоза на паровые поля, т.к. при влажности 70–90%, внесение 1 тонны навоза либо помёта будет означать перевозку 700–900 литров воды, а также наличие в навозе большого количества семян сорняков. В то же время, для большинства хозяйствующих субъектов нерентабельно содержать «под паром» более 5–15% полей.

как и 3-й путь, является природоподобным элементом и его эффективность не только предсказана теоретически, но и подтверждена на практике¹⁴), но потому, что он исключает стадию разложения биомассы отходов микроорганизмами очистных сооружений, навозо-помётохранилищ и т.п., что противоречит пути № 2. И в силу того, что исходное сырьё одно и то же, а результат разный, возникают и различные требования к параметру «степень разложения органического вещества биомассы отходов». При графическом отображении указанное противоречие становится очевидным даже по направлению расходования солнечной энергии, запасённой в органических соединениях: в естественных ценозах она идёт на обеспечение процессов почвообразования, а в агроценозе рассеивается в окружающую среду из искусственных сооружений.

В одном случае человек кормит растение напрямую (путь № 2, в котором потребление удобрений микроорганизмами почвы – сопутствующие потери), а в другом – опосредованно, через кормление биоты почвы (путь № 5, в котором кормление растения человеком напрямую – дополнительная операция). И сказанное выше не отрицает возможности применения гумифицированной органики, но лишь указывает на необходимость установления приоритета при её переработке и расходовании. Например, там, где невозможно вернуть законсервированную органику отходов в почву, приходится подвергать биомассу отходов гумификации/биодegradации, чтобы снизить уровень загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления пищи.

При расстановке приоритетов следует ещё раз подчеркнуть значение количественно-качественных и пространственно-временных параметров. Вноситься консервированная органика должна пропорционально площади и объёму отчуждения биомассы, в период времени, позволяющий максимально эффективно использовать биологический и питательный потенциал законсервированной биомассы отходов. В противном случае, как, например, при использовании перепревшего навоза для интенсификации растениеводства, нельзя говорить о замкнутости биологического круговорота, т.к. при пропорциональном внесении следовало бы внести 3–4–7 т/га, а для целей интенсификации 20–30–40 и более т/га до достижения ограничения по азоту (≈ 200 кг азота на 1 га), что исключает возврат на остальную площадь. Таким образом, предлагаемая модель делает очевидной необходимость предъявления требования к качеству органического вещества отходов (навоза, помёта и т.п.) – оно должно быть максимально возможным образом сохранено в неразложившемся виде до внесения в почву.

Совокупность указанных обстоятельств привела к поиску средств пополнения органического вещества агрогенных почв и повышения их биоценности по 3-му и 4-му пути – максимизации возврата гумуса и растительных остатков. И хотя уже со второй половины 20-го века открыта возможность консервации и внесения в почву отходов производства и потребления пищи [подробней см. 7, С. 119–124], такая важная составляющая по-прежнему выводится из биологического круговорота агроценоза, подвергаясь биодegradации (путь № 2) и вовлекаясь в малый искусственный «круговорот питательных элементов в земледелии» [16, С. 3], который сегодня общепринято изображать как систему «почва – удобрение – растение».

¹⁴ Сведения об этом содержатся в справочниках и учебных пособиях по удобрениям [1, 2, 10], учебниках по почвоведению и агрохимии [16, 27, 26, 9], кандидатских и докторских диссертациях учёных [19], а также в результатах опытов, организованных отдельными региональными министерствами [11].

В тех же источниках приведены результаты опытов, показывающие, что на фоне такого полного удобрения повышается эффективность применения минеральных удобрений, улучшаются водный режим и фитосанитарное состояние почв, что аналогично воздействию растительных остатков, которые потребляются уже не надземными, а почвенными животными и микроорганизмами [15].

5. «Коэффициент замкнутости биологического круговорота» как контрольный параметр при оценке устойчивости агроэкосистем

Если при прочих равных условиях простое воспроизводство почвенного плодородия агроценоза является следствием воспроизводства биологического круговорота в нём, то в качестве интегрального показателя оценки устойчивости агроэкосистем мы предлагаем ввести «коэффициент замкнутости биологического круговорота ($K_{ЗБК}$)», рассчитываемый по формуле (1)¹⁵:

$$K_{ЗБК} = \frac{M_{орг.ост.} + M_{орг.возвр.}}{M_{орг.общ.}}, \quad (1)$$

где $K_{ЗБК}$ – коэффициент замкнутости биологического круговорота агроценоза; $M_{орг.общ.}$ – общая масса органического вещества растений (корни, пожнивные остатки, изымаемая биомасса) в конце предыдущего вегетационного периода либо севооборота; $M_{орг.ост.}$ – масса органического вещества растений, оставшаяся равномерно распределённой по площади после сбора предыдущего урожая; $M_{орг.возвр.}$ – **законсервированная в кратчайший после образования срок** масса органического вещества отходов производства и потребления пищи, возвращённая и равномерно распределённая в почве агроценоза до начала текущего вегетационного периода либо севооборота.

Если, например, в условиях Курской области агроландшафт сохраняет устойчивость при отчуждении в нём не более $\approx 30\%$ биомассы [13, С. 45], то с учётом потерь органического вещества в процессе переработки и потребления человеком и сельскохозяйственными животными биомассы урожая, в/на почву агроценоза в неразложившемся виде должно возвращаться столько биомассы отходов, чтобы сумма оставшейся в поле и возвращённой биомасс были не менее 70% от биомассы, накопленной за предыдущий вегетативный период.

Знание о допустимых объёмах отчуждения биомассы с урожаем и потерях массы вещества при переходе между уровнями трофических цепей ($\approx 10\%$ на уровень¹⁶) [14, С. 67–69] позволяет предположить, что для устойчивого функционирования агроценоза и простого воспроизводства плодородия его почв $K_{ЗБК}$ должен быть в пределах от 0,70 до 0,90. При $K_{ЗБК} \geq 0,9$ (в т.ч. ≥ 1) предполагается наличие какого-то дополнительного источника пищи (рыболовство, собирательство, сбор урожаев с дикоросов и т.п.), увеличивающего приток органики на конкретную территорию. При интенсификации и расширенном воспроизводстве почвенного плодородия с помощью минеральных удобрений, $K_{ЗБК}$ будет оставаться в тех же пределах, т.к. сохранится преемственность цепочки: увеличение биомассы растений приведёт к увеличению потребления пищи человеком и животными, с последующим пропорциональным увеличением отходов, подлежащих переработке и внесению обратно в/на почву.

Так, например, при выращивании на какой-то площади общей биомассы культурных растений в 100 тонн, отчуждении с урожаем 40 тонн и возврате в почву 30 тонн биомассы в виде продуктов переработки отходов (то есть с учётом $\approx 10\%$

¹⁵ При этом следует понимать, что в природе не существует абсолютно замкнутых систем.

¹⁶ Цифра требует уточнения и перевода данных в сопоставимый по влажности вид, т.к., например, корма КРС существенно различаются по влажности, а влажность фекалий +/- стабильна. В то же время, биомасса фекалий включает в себя не только остатки корма, но и большую биомассу микроорганизмов кишечника, которые будут являться вторичной биологической продукцией. И тела микроорганизмов, и растительные остатки в почве послужат пищей почвенным гетеротрофам и будут минерализованы.

потерь в звене «человек/животные»), мы получим коэффициент замкнутости биологического круговорота на конкретном участке агроценоза, равный 0,9:

$$K_{ЗБК} = \frac{60 + 30}{100} = 0,9. \quad (2)$$

При $K_{ЗБК} = 0,9$ предполагается возможным простое воспроизводство почвенно-плодородия полей. Ещё раз следует отметить, что речь идёт об уже окультуренных полях агроценоза, на которых достигнуто некоторое равновесное состояние по главным признакам (содержание гумуса, фонды лабильных элементов и т.д.), то есть в иных случаях даже для простого воспроизводства плодородия одних продуктов переработки обозначенных отходов будет недостаточно и вначале потребуется окультурить поля с помощью минеральных и органических удобрений, привнесённых извне.

$K_{ЗБК}$, будучи интегральным показателем, отражает: и эффективность использования местных воспроизводимых ресурсов (система становится чувствительна к источнику сырья); и динамику обмена веществ и энергии биологического круговорота; и степень превращения затрат энергии на «утилизацию органических отходов производства и потребления пищи» в затраты энергии на «производство удобрений», так как при незамкнутом биологическом цикле общество несёт затраты на каждый из видов деятельности отдельно.

Выводы

1. Предлагаемая в качестве объекта управления в агроценозе и макроэкономике система «микроорганизмы почвы – растения – животные»:

– отражает не только статические, но и динамические характеристики процессов (метабиоз как главный процесс), протекающих как внутри отдельных её элементов, так и при их взаимодействии между собой и со средой (надземной и подземной). Это, в свою очередь, укладывается в требования, предъявляемые к междисциплинарным эколого-экономическим направлениям, типа «Circular economy» (экономика замкнутого цикла) и «Sustainable development» (устойчивое развитие), что позволяет вести речь о необходимости разработки соответствующего организационно-экономического механизма антропогенного воспроизводства биологического круговорота.

– позволяет моделировать процессы междисциплинарного уровня (в т.ч. макроэкономического) и решать задачи по: гармонизации отношений между конкурирующими за ограниченные ресурсы хозяйствующими субъектами; повышению качества управления потоками вещества и энергии пищи и органических отходов потребления; размещению производительных сил; и др.

– позволяет отобразить место и роль не только наук, но и отраслей деятельности человека, указывая на тесную связь, например, земледелия с отраслью переработки отходов. При всей очевидности факт, что в балансе азота, фосфора и калия России отсутствует термически высушенный навоз, помёт или осадок сточных вод», а вес строки «органические удобрения» в среднем находится на уровне статистической погрешности, говорит о том, что в практике народного хозяйствования знания обозначенных наук нашли своё применение не в полной мере. Например, не обозначен приоритет методов консервации (оптимально – низкотемпературной сушкой) органического вещества отходов с последующим их внесением и разложением в/на почве над методами биодеградации/минерализации (компостирование, биогаз и т.п.) вне почвы, так как в замкнутом биологическом круговороте естественного ценоза метабиотическая связь «животные – микроорганизмы почвы» заключается

в «передаче» не только биогенных элементов питания, но и энергии, заключённой в химических соединениях органического вещества.

2. По отношению к деятельности хозяйствующих субъектов, система «почва – растение – удобрение» (треугольник Прянишникова) носит преимущественно микроэкономический характер – из неё не проистекает чувствительность к источнику сырья¹⁷ и не возникает требования жёсткой связки растениеводства с животноводством в аспекте возврата в почву органических отходов производства и потребления пищи. Однако из приведённых в статье примеров следует, что логика текстового повествования Д.Н. Прянишникова, не будучи отражённой графически, подразумевает чувствительность к источнику сырья и жёсткую увязку растениеводства с животноводством.

3. Если сквозь призму процесса антропогенного воспроизводства биологического круговорота взглянуть на такой лимитирующий фактор как «минеральные удобрения» и оценить его по параметру «источник сырья», то он утрачивает лимитирующее значение, и при прочих равных условиях основным лимитирующим фактором остаются энергоресурсы на переработку органических отходов производства и потребления пищи, что, в свою очередь, позволяет расставить приоритеты их использования.

Одним из следствий такого подхода может стать разумное ограничение процессов интенсификации – сколько бы урожая не было собрано с некоторой площади (20–30–60 ц/га), в соответствии с контрольным параметром, например, «замкнутость биологического круговорота», возникает обязательство вернуть и распределить пропорционально площади определённое количество законсервированных органических отходов производства и потребления пищи переработанной биомассы урожая.

4. Коэффициент замкнутости биологического круговорота ($K_{ЗК}$), будучи интегральным показателем, отражает и эффективность использования местных воспроизводимых ресурсов; и динамику обмена веществ и энергии биологического круговорота; и степень превращения затрат энергии на «утилизацию органических отходов производства и потребления пищи» в затраты энергии на «производство удобрений», так как при незамкнутом биологическом цикле общество несёт затраты на каждый из видов деятельности отдельно.

5. Если на задачу антропогенного воспроизводства биологического круговорота взглянуть, например, сквозь призму истории развития промышленности по производству азотных удобрений (технический азот) [16, Т. 3, С. 452–462] и учесть важность биологического азота для земледелия, то это позволяет отнести задачу создания отрасли¹⁸ по консервации органического вещества навоза, помёта, осадка сточных вод и т.п. к «большим вызовам»¹⁹, что в свою очередь, потребует выработки соответствующего научно-методологического обеспечения государственного управления процессом.

¹⁷ То есть экономическому агенту не важно, как скажется на остальных ценозах и макросистеме в целом переток вещества и энергии на его участок земледелия.

¹⁸ Создание подобной отрасли и повышение эффективности использования вторичных ресурсов предполагается Стратегией развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года, однако и в ней не установлены приоритетные направления расходования органического вещества отходов [17].

¹⁹ «б) большие вызовы – объективно требующая реакции со стороны государства совокупность проблем, угроз и возможностей, сложность и масштаб которых таковы, что они не могут быть решены, устранены или реализованы исключительно за счёт увеличения ресурсов» – понятие Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [23].

Предложения в рамках практической реализации выводов и выработки научно-методологического обеспечения государственного управления процессом антропогенного воспроизводства биологического круговорота:

1. Внести в законодательство о почвах и переработке отходов такие смысловые изменения, чтобы «отходы производства и потребления пищи» были переведены в категорию «вторичных биологических ресурсов», подлежащих переработке путём консервации (оптимально – грануляция и низкотемпературная сушка), с установлением приоритета их расходования для целей воспроизводства почвенного плодородия земель сельскохозяйственного назначения («воспроизводства малых круговоротов биофильных элементов», если в терминах агрохимии), с которых ранее был собран урожай;

2. Разработать план мероприятий (аналог – план мероприятий по развитию производства минеральных удобрений [18]) и создать отрасль по переработке вторичных биологических ресурсов в органоминеральные удобрения методами консервации содержащегося в них органического вещества в потенциально биоразлагаемую форму с добавлением в них в случае необходимости минеральных элементов;

3. Ввести в качестве интегрального показателя эколого-экономической устойчивости территории земледелия «коэффициент замкнутости биологического круговорота» (\approx от 0,7 до 0,9), так как при таком его значении эколого-экономическая система сохраняет устойчивость на продолжительных интервалах времени, а ресурсо-энергетическое обеспечение этого процесса обретает первоочередное значение и становится задачей экономической науки.

4. Учитывая тот факт, что ещё в прошлом веке с помощью оборудования с самой низкой энергоэффективностью (барабанная сушилка) было установлено, что «затраты энергии на термическую сушку не разбавленного водой куриного помета для производства 1 т NPK в составе высушенного помета обычно не больше, чем на производство 1 т питательных веществ минеральных удобрений при эквивалентном соотношении N:P:K <...> по действию на урожай термически высушенный помет почти не уступает минеральным удобрениям» [2, С. 173–176], а также, что отходы производства и потребления относятся к местным возобновляемым сырьевым ресурсам, следует провести детальный расчёт эколого-экономической эффективности переработки обозначенных отходов, а также оценить их вклад и влияние на устойчивость социально-экономических систем, межотраслевой баланс и т.п.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075–01211–20–01 на 2020 г.

Библиографический список

1. Безуглова О.С. Новый справочник по удобрениям и стимуляторам роста. Серия «Справочники». – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 384 с.
2. Васильев В.А., Филиппова Н.В. Справочник по органическим удобрениям. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: РОСАГРОПРОМИЗДАТ, 1988. – 255 с.: ил.
3. Вильямс В.Р. Почвоведение: Земледелие с основами почвоведения. – 6-е изд. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 472 с.
4. Ежегодный доклад Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН. Насколько мы близки к миру без голода? Положение дел в области продовольственной безопасности и питания 2017 / Сайт Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН. – Рим: ФАО. – 2017. [Электронный ресурс] // <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/2017/ru/> (дата обращения 11.04.2020).

5. *Ефремов С.А.* Адаптивная интенсификация и диверсификация сельского хозяйства: предпосылки и направления реализации (На примере Новгородской области) // Диссертация на соискание учёной степени кандидата экономических наук. – В. Новгород: Новг. Гос. Ун-т им. Ярослава Мудрого. – 2004. – 210 с.
6. *Жученко А.А.* Обеспечение продовольственной безопасности России в XXI веке на основе адаптивной стратегии устойчивого развития АПК (теория и практика). – М.: Фонд «Знание им. С.И. Вавилова», 2008. – 99 с.
7. *Зайнуллин Р.Р.* «Мусорная» реформа как элемент экономики замкнутого цикла (на примере города Уфы) // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2019. – № 3. – С. 119–124.
8. *Илялетдинов А.Н.* Биологическая мобилизация минеральных соединений. – Алма-Ата: Наука, 1966. – 292 с.
9. *Кауричев И.С., Панов Н.П., Розов Н.Н., Стратонович М.В., Фокин А.Д.* Почвоведение: учебник для студентов высш. Учеб. заведений / под ред. Кауричева И.С. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат. – 1989. – 719 с.: ил. – (Учебники и учеб. Пособия для студентов высш. учеб. заведений).
10. *Кидин В.В.* Органические удобрения: Учебное пособие. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2012. – 166 с.
11. *Корнилов В.И.* Башкирский опыт воспроизводства плодородия и продовольственная безопасность // Аграрный вестник Урала. – 2011. – № 5 (84). – С. 25–27.
12. *Кудеяров В.Н.* Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // Агрохимия. – 2018. – № 10. – С. 3–11.
13. *Масютенко Н.П., Чуян Н.А., Бахирев Г.И., Кузнецов А.В., Брескина Г.М., Дубовик Е.В., Масютенко М.Н., Панков Т.И., Калужский А.Г.* Система оценки устойчивости агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН. – 2013. – 50 с.
14. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Экология и устойчивое развитие Республики Башкортостан: Учебник. – Уфа: «ИП Хабибов И.З.». – 2010. – 296 с.: ил.
15. *Новиков А.А., Кисаров О.П.* Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 78(04). – 10 с.
16. *Прянишников Д.Н.* Избранные сочинения в трёх томах. Т. 1–3. – Агрохимия. М., Сельхозиздат, 1963.
17. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.01.2018 г. № 84-р «О Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года». [Электронный ресурс] // <http://government.ru/docs/31184/> (дата обращения 11.04.2020).
18. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.03.2018 № 532-р «Об утверждении плана мероприятий по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 года». [Электронный ресурс] // <http://government.ru/docs/31896/> (дата обращения 11.04.2020).
19. *Сайфуллин Р.Р.* Влияние различных видов органических удобрений на плодородие чернозёмов выщелоченных южной лесостепи Республики Башкортостан // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук. – Уфа: ФГОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет». – 2004. – 22 с.
20. *Семенов А.М., Глинушкин А.П., Соколов М.С.* Здоровье почвенной экосистемы: от фундаментальной постановки к практическим решениям // Известия ТСХА. – 2019. – № 1. – С. 5–18.
21. *Смирнов П.М., Муравин Э.А.* Агрохимия. – М., «Колос», 1977. – 240 с.: ил.

22. Турусов В.И., Гармашов В.М., Абанина О.А., Михина Т.И. Сидеральный пар как прием повышения плодородия почвы и продуктивности озимой пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 3 (45), ч. 3. – С. 125–126.
23. Указ президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». [Электронный ресурс] // <http://kremlin.ru/acts/news/53383> (дата обращения 11.04.2020).
24. Федеральный закон Российской Федерации от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». – Официальный сайт компании «Консультант Плюс». [Электронный ресурс] // http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (дата обращения 11.04.2019).
25. Федеральный закон Российской Федерации от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения». [Электронный ресурс] // <https://base.garant.ru/12112328/> (дата обращения 11.04.2020).
26. Фокин А.Д. Почва, биосфера и жизнь на Земле. – М.: Наука, 1986. – 176 с. ил. – Серия «Человек и окружающая среда».
27. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия: Учебник. 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 584 с.: ил.
28. Fried M, Broeshart H. The Soil-Plant System / Academic Press, 1967. – 368 p.
29. Nicholas D.J.D., Egan Adrian R. Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems // Proceeding of the Jubilee Symposium of the Waite Agricultural Research Institute held at Glen Osmond, South Australia, on Nov. 5–6, 1974. – 1975. 432 p.

“SOIL MICROORGANISMS – PLANTS – ANIMALS” SYSTEM
AS AN INTERDISCIPLINARY OBJECT OF MACRO-LEVEL MANAGEMENT
(IN AGRICULTURE AND ECONOMICS)

R.R. ZAYNULLIN

(Institute of Social and Economic Research of the RAS Ufa Federal Research Center of the)

The author has analyzed visual-figurative and verbal-logical representation of a control object in the sciences related to agriculture (agricultural chemistry, soil science, biology, ecology, agroecology, etc.). Conclusion has been made that visual-figurative description of the control object in agroecosystems is not sufficient enough while verbal-logical representation is quite sufficient. As a result, the significant amount of information can be inaccessible for general public and, to some extent, “entailed” for focused experts. One of the most important consequences of the socio-economic system management is that the use of mineral and energy resources in Russia is incorrectly prioritized in the production and consumption system at the macro level, while the balance of biophilic elements in agriculture stays negative.

For improving the visual-figurative representation of the knowledge amount contained by the above noted sciences, it is proposed to formalize and graphically display the biogenic cycle of nutrients in agriculture (biological cycle in agroecosystems) in the form of a “soil microorganisms – plants – animals system”, i.e. as the metabolizing system of three groups of organisms.

The author has drawn a conclusion that the “soil microorganisms – plants – animals system” system management corresponds to the goals of such concepts as “rational use of natural resources and land use”, “sustainable development”, and “circular economy”.

A proposal has been put forward to consider the “coefficient of biological cycle completeness” as an integral index that means the effectiveness of government administration of sustainable development policy in relation to environmental economics and, as a consequence, soil

fertility. The author believes that unlike “the balance of biophile elements”, this index is sensitive to the source of raw materials and reflects the dynamic properties of the system.

Key words: agriculture, agricultural chemistry, soil science, agroecosystem, Pryanishnikov's triangle, control object, biological cycle, metabiosis, macroeconomics, ecology, waste products (manure, food waste, sewage sludge), complete circle.

References

1. *Bezuglova O.S.* Noviy spravochnik po udobreniyam i stimulyatoram rosta [New guide to fertilizers and growth stimulants]. Seriya “Spravochniki”. – Rostov n/D: Feniks, 2003: 384. (In Rus.)

2. *Vasil'yev V.A., Filippova N.V.* Spravochnik po organicheskim udobreniyam [Reference book on organic fertilizers]. – 2nd ed. reviewed and extended. – Moscow: ROSAGROPROMIZDAT, 1988: 255.: ill. (In Rus.)

3. *Williams V.R.* Pochvovedeniye: Zemledeliye s osnovami pochvovedeniya [Soil science: Agriculture with the basics of soil science]. – 6th ed. – M.: Sel'khozgiz, 1949: 472. (In Rus.)

4. Yezhegodnyy doklad Prodovol'stvennoy i sel'skokhozyaystvennoy organizatsii OON. Naskol'ko my blizki k miru bez goloda? Polozheniye del v oblasti prodovol'stvennoy bezopasnosti i pitaniya 2017 [Annual report of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. How close are we to a world without hunger? The State of Food Security and Nutrition 2017] / The UN FAO website. – Rome: FAO. – 2017. [Electronic resource] // <http://www.fao.org/state-of-food-security-nutrition/2017/ru/> (access date 11.04.2020). (In Rus.)

5. *Yefremov S.A.* Adaptivnaya intensivifikatsiya i diversifikatsiya sel'skogo khozyaystva: predposylki i napravleniya realizatsii (Na primere Novgorodskoy oblasti) [Adaptive intensification and diversification of agriculture: prerequisites and directions of implementation (As exemplified by the Novgorod region)] // PhD (Econ) thesis. – V. Novgorod: Novg. Gos. Un-t im. Yaroslava Mudrogo. – 2004: 210. (In Rus.)

6. *Zhuchenko A.A.* Obespecheniye prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossii v XXI veke na osnove adaptivnoy strategii ustoychivogo razvitiya APK (teoriya i praktika) [Ensuring food security in Russia in the 21st century on the basis of the adaptive strategy for the sustainable development of the agricultural sector (theory and practice)]. – M.: Fond “Znaniye im. S.I. Vavilova”, 2008: 99. (In Rus.)

7. *Zaynullin R.R.* “Musornaya” reforma kak element ekonomiki zamknutogo tsikla (na primere goroda Ufy) [“Garbage” reform as an element of the closed-loop economy (as exemplified by Ufa)] // Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2019; 3: 119–124. (In Rus.)

8. *Ilyaletdinov A.N.* Biologicheskaya mobilizatsiya mineral'nykh soyedineniy [Biological mobilization of mineral compounds]. – Alma-Ata: Nauka, 1966: 292. (In Rus.)

9. *Kaurichev I.S., Panov N.P., Rozov N.N., Stratonovich M.V., Fokin A.D.* Pochvovedeniye: uchebnik dlya studentov vyssh. ucheb. zavedeniy [Soil science: Study manual for university students] / ed. by Kaurichev I.S. – 4th ed. reviewed and extended. – M.: Agropromizdat. – 1989: 719.: ill. (In Rus.)

10. *Kidin V.V.* Organicheskiye udobreniya: Uchebnoye posobiye [Organic fertilizers: Study manual]. – M.: Izdatel'stvo RGAU-MSKHA, 2012: 166. (In Rus.)

11. *Kornilov V.I.* Bashkirskiy opyt vosproizvodstva plodorodiya i prodovol'stvennaya bezopasnost' [Bashkir experience of fertility reproduction and food security] // Agrarniy vestnik Urala. – 2011; 5 (84): 25–27. (In Rus.)

12. *Kudeyarov V.N.* Balans azota, fosfora i kaliya v zemledelii Rossii [Balance of nitrogen, phosphorus and potassium in Russian agriculture] // *Agrokimiya*. – 2018; 10: 3–11. (In Rus.)

13. *Masyutenko N.P., Chuyan N.A., Bakhirev G.I., Kuznetsov A.V., Breskina G.M., Dubovik Ye.V., Masyutenko M.N., Pankov T.I., Kaluzhskiy A.G.* Sistema otsenki ustoychivosti agrolandshaftov dlya formirovaniya ekologicheskoi sbalansirovannykh agrolandshaftov [System of assessing the stability of agrolandscapes for the formation of ecologically balanced agrolandscapes]. – Kursk: GNU VNIIZiZPE RASKHN. – 2013: 50. (In Rus.)

14. *Mirkin B.M., Naumova L.G.* Ekologiya i ustoychivoye razvitiye Respubliki Bashkortostan: Uchebnik [Ecology and sustainable development of the Republic of Bashkortostan: Study manual]. – Ufa: “IP Khabibov I.Z.”. – 2010: 296.: ill. (In Rus.)

15. *Novikov A.A., Kisarov O.P.* Obosnovaniye roli kornevnykh i pozhnivnykh ostatkov v agrotsenozakh [Rationale for the role of root and crop residues in agrocenoses] // *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. – 2012; 78(04): 10. (In Rus.)

16. *Pryanishnikov D.N.* Izbrannyye sochineniya v trokh tomakh [Selected works in three volumes]. Vol. 1–3. – Agrokimiya. M., Sel’khozizdat, 1963. (In Rus.)

17. Rasporyazheniye Pravitel’stva Rossiyskoy Federatsii ot 25.01.2018 g. No. 84-r “O Strategii razvitiya promyshlennosti po obrabotke, utilizatsii i obezvrezhivaniyu otkhodov proizvodstva i potrebleniya na period do 2030 goda” [Order of the Government of the Russian Federation of January 25, 2018 No. 84-r “On the Strategy for the development of industry for the processing, utilization and neutralization of production and consumption waste for the period up to 2030”]. [Electronic resource] // <http://government.ru/docs/31184/> (access date 11.04.2020). (In Rus.)

18. Rasporyazheniye Pravitel’stva Rossiyskoy Federatsii ot 29.03.2018 No. 532-r “Ob utverzhdenii plana meropriyatiy po razvitiyu proizvodstva mineral’nykh udobreniy na period do 2025 goda” [Order of the Government of the Russian Federation dated March 29, 2018 No. 532-r “On approval of the action plan for the development of the production of mineral fertilizers for the period until 2025”]. [Electronic resource] // <http://government.ru/docs/31896/> (access date 11.04.2020). (In Rus.)

19. *Sayfullin R.R.* Vliyaniye razlichnykh vidov organicheskikh udobreniy na plodorodiye chernozomov vyshchelochennykh yuzhnoy lesostepi Respubliki Bashkortostan [Effect of various types of organic fertilizers on the fertility of leached chernozems of the southern forest-steppe of the Republic of Bashkortostan] // Self-review of PhD (Ag) thesis. – Ufa: FGOU VPO “Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet”. – 2004: 22. (In Rus.)

20. *Semenov A.M., Glinushkin A.P., Sokolov M.S.* Zdorov’ye pochvennoy ekosistemy: ot fundamental’noy postanovki k prakticheskim resheniyam [Health of the soil ecosystem: from fundamental formulation to practical solutions] // *Izvestiya TSKHA*. – 2019; 1: 5–18. (In Rus.)

21. *Smirnov P.M., Muravin E.A.* Agrokimiya [Agrochemistry]. – M., “Kolos”, 1977: 240.: ill. (In Rus.)

22. *Turusov V.I., Garmashov V.M., Abanina O.A., Mikhina T.I.* Sideral’nyy par kak priyem povysheniya plodorodiya pochvy i produktivnosti ozimoy pshenitsy [Sideral fallowing as a technique for increasing soil fertility and winter wheat productivity] // *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel’skiy zhurnal*. – 2016; 3 (45): 3: 125–126. (In Rus.)

23. Ukaz prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 01.12.2016 No. 642 “O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii” [Decree of the President of the Russian Federation dated 01.12.2016 No. 642 “On the Strategy for the scientific and technological development of the Russian Federation”]. [Electronic resource] // <http://kremlin.ru/acts/news/53383> (access date 11.04.2020). (In Rus.)

24. Federal'nyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 24 iyunya 1998 g. No. 89-FZ "Ob otkhodakh proizvodstva i potrebleniya" [Federal Law of the Russian Federation of June 24, 1998 No. 89-FZ "On production and consumption wastes"]. – Official website of the Consultant Plus company. [Electronic resource] // http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/ (access date 11.04.2019). (In Rus.)

25. Federal'nyy zakon Rossiyskoy Federatsii ot 16 iyulya 1998 g. No. 101-FZ "O gosudarstvennom regulirovanii obespecheniya plodorodiya zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya" [Federal Law of the Russian Federation of July 16, 1998 No. 101-FZ "On state regulation of ensuring the farmland fertility"]. [Electronic resource] // <https://base.garant.ru/12112328/> (access date 11.04.2020). (In Rus.)

26. *Fokin A.D.* Pochva, biosfera i zhizn' na Zemle [Soil, biosphere and life on Earth]. – M.: Nauka, 1986: 176.: ill. – Seriya "Chelovek i okruzhayushchaya sreda". (In Rus.)

27. *Yagodin B.A., Zhukov Yu.P., Kobzarenko V.I.* Agrokimiya: Uchebnik [Agrochemistry: Study manual]. 2nd ed, ster. – SPb.: Izdatel'stvo "Lan", 2016: 584.: ill. (In Rus.)

28. Fried M, Broeshart H. The Soil-Plant System / Academic Press, 1967: 368.

29. Nicholas D.J.D., Egan Adrian R. Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems // Proceeding of the Jubilee Symposium of the Waite Agricultural Research Institute held at Glen Osmond, South Australia, on Nov. 5–6, 1974. – 1975: 432.

Зайнуллин Ренат Римович – научный сотрудник сектора Экономики и управления развитием территорий, Институт социально-экономических исследований Уфимского федерального исследовательского центра РАН (450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, Проспект Октября, 71; тел.: (347) 235-55-11; e-mail: tov.zainullin@yandex.ru).

Renat R. Zaynullin – Research Associate, Sector of Economics and Territorial Development Management, Institute of Social and Economic Researches – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 71, Prospekt Oktyabrya Str., 450054, Ufa, Russian Federation; phone.: (347) 235-55-11; e-mail: tov.zainullin@yandex.ru).