

ОПЫТ И ПОСЛЕДСТВИЯ РАЗРАБОТКИ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Меденников В.И.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН,
Москва, Россия
dommed@mail.ru

Аннотация. Рассматривается влияние опыта разработки единой когнитивной карты в сельском хозяйстве на формирование цифровой платформы управления экономикой страны как основы эффективного комплексного, системного сочетания цифровых активов с традиционными ресурсами в целях внедрения точного земледелия и искусственного интеллекта.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, растениеводство, цифровая платформа управления, точное земледелие.

Введение

За довольно небольшой отрезок времени затраты на ИКТ, на цифровые технологии превзошли затраты на остальные ресурсы, участвующие в экономической деятельности. Ленчук, ныне уже бывший директор Института экономики РАН, ссылаясь на прогноз компании The Boston Consulting Group, пишет, что к 2035г. мировая ЦЭ по объему обойдет весь производственный сектор и составит \$16 трлн., а глобальный размер данного сектора составит более 15% мирового ВВП [1]. Исходя из таких прогнозов, все острее встает проблема оценки эффективности использования такого нового ресурса, а также необходимости проведения исследований комплементарности развития его относительно прочих активов. В настоящее время еще не сформировано единого взгляда, соответственно, нет и методик комплексной оценки эффективности использования технологий цифровой экономики (ЦЭ), учитывающей все факторы эффективности. Например, в книге [2] приводятся основные эффекты внедрения ИКТ:

- эффект первого типа состоит из экономии производственных затрат (сокращение складских затрат, работников, простоя механизмов и т.д.);
- эффект второго типа состоит из повышения технологической дисциплины, качества труда;
- эффект третьего типа состоит в усилении когнитивных возможностей пользователей информационных технологий за счет накопленных знаний и информационных ресурсов (ИР), в частности искусственного интеллекта (ИИ), электронных библиотек, баз знаний, и т.д.

Относительно оценки эффекта первого типа с учетом ряда других экономических ресурсов еще в те времена были осуществлены серьезные исследования компанией Economist Intelligence Unit как раз по оценке их и опровержению слов лауреата Нобелевской премии Роберта Солоу об отсутствии такого эффекта на основе соотношений из теории комплементарности [3]. Взаимосвязь ресурсов представлена была в виде производственной функции:

$Y = Y^0 C^{\alpha^1} K^{\alpha^2} S^{\alpha^3} L^{\alpha^4}$, где Y означает выпуск в денежном выражении продукции, C означает оценку компьютерного капитала, K – остальной помимо трудового капитал, S – трудовой капитал, задействованный в использовании ИКТ, L означает весь прочий трудовой капитал, Y^0 и α^m означают параметры производственной функции, а $m = (1, 4)$ [4, 5].

Результатом исследований явились выводы с далеко идущими последствиями для всех государств, в том числе и для России об условиях положительного влияния компьютеризации на экономику [4]:

- положительный эффект скажется лишь при достижении некоторого минимального уровня инфраструктурного развития ИКТ;
- ощутимый эффект от ИКТ возможен лишь при тщательно продуманном проекте их разработки и внедрения в производство с необходимыми совершенствованиями смежных ресурсов, без чего инвестиции в ИКТ в большинстве случаев бесполезны;
- при инвестициях в ИКТ ниже порогового значения экономический эффект от ИКТ либо не наблюдается, либо вообще может быть отрицательным.

В настоящее время с прогрессом в цифровых технологиях эффективность ЦЭ помимо перечисленного существенно зависит также от степени учета и уровня интеграции резко растущего объема разнородных данных во многих сферах деятельности, а также эффективности выявления взаимовлияния их в деятельности бизнеса, в частности с помощью искусственного интеллекта. В

результате данных тенденций, зафиксированных в принципах ЦЭ производственной экономики, появились концепции цифровых платформ (ЦП), бизнес-экосистем (БЭС), цифровых двойников (ЦД), точного производства [6, 7].

Наибольший эффект от точного производства ожидают в растениеводстве, которое приобрело название точного земледелия (ТЗ) [8]. Это определяется возможностью мониторинга и учета значительно возросшего числа сельскохозяйственных операций с обратным воздействием на почву, оборудование, материалы за счет огромного ассортимента датчиков, исполнительных механизмов, инструментария дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и пр. Грамотная реализация ТЗ обещает большое поле эффективного применения технологий ИИ, но для этого должна быть проделана большая работа по формированию единого понятийного пространства на основе онтологического и когнитивного моделирования, поскольку одна из основных функций ИИ – обобщение, анализ и обработка ИР посредством применения различных мониторинговых механизмов с последующей выдачей рекомендаций и, при необходимости, управляющих воздействий. Кроме того, должна быть кардинально пересмотрена методология проведения полевых опытов в сторону их цифровизации, многофакторности для установления взаимовлияния почвы, растений, болезней, вредителей, средств питания и защиты культур, техники, ДЗЗ, погоды, технологий производства и еще ряда факторов, согласованных с цифровой трансформацией отрасли.

Минсельхоз же за все годы информатизации, а сейчас цифровизации, уповал на тезис, что рынок все сделает лучше, поэтому не начинал вырабатывать интеграционные и онтологические механизмы, цифровые стандарты, единые классификаторы и прочие единые для большинства хозяйств цифровые технологии. Отчасти, такое решение Минсельхоза было мотивировано с подачи директора института аграрных проблем и информатики Петрикова А.В., закрывшего по этим же идеологическим мотивам исследования ЦЭ АПК в собственном институте, не понимая тенденций информатизации (цифровизации), зафиксированных в настоящее время в принципах ЦЭ. Например, при выполнении программы «Электронизация сельского хозяйства» КП НТП стран-членов СЭВ институтом кибернетики АПК в 1980-х годах была предпринята попытка разработки когнитивной карты (КК) растениеводства, универсальной для всех сельскохозяйственных предприятий страны [9].

Поэтому в данной работе рассмотрим архитектуру цифровой платформы управления (ЦПУ) не только сельским хозяйством, но и всей экономикой страны на основе опыта формирования единой растениеводческой КК.

1. Эталонные объекты как исследовательский стенд цифровизации сельского хозяйства

Сельское хозяйство всегда представляло из себя очень сложную динамическую систему, отличающуюся пространственно-климатическими, почвенными условиями производства, наличием нескольких тысяч видов живых организмов, образовавших за миллиарды лет устойчивые экосистемы (ЭС) и активно влияющих на культурные растения. Достаточно сказать, что отрасль содержит свыше 25% биоразнообразия всей планеты. А ЦЭ, как уже отмечалось, позволила совместно с бурным развитием аграрной науки открыть множество других живых и неживых факторов, влияющих на эффективность отрасли, превращающейся из-за этого в индустриальное, прецизионное производство [10]. Влияние же этих факторов на конечный продукт, да и друг на друга предстоит еще выяснить в ходе многолетних полевых опытов, что позволяет отнести сельское хозяйство к классу слабоструктурированных систем.

Один из эффективных способов моделирования слабоструктурированных систем – применение когнитивного моделирования с формированием КК, который предложил американский ученый Р. Аксельрод [11]. Данное моделирование подразумевает под собой поиск управленческого решения, сочетающего применение формализованного математического аппарата и экспертных знаний (когнитивных возможностей) специалистов в исследуемой предметной области. Результатом этой процедуры является выделение предметной области в некую систему, исходя из целей исследования, с формализацией причинно-следственных связей между факторами (концептами), определяющими ее. Наиболее устоявшееся представление в настоящее время о КК состоит в том, что она описывается в виде ориентированного графа, вершины которой P_i и P_j , называемые порой концептами, соединены дугами a_{ij} . При этом вершины графа могут принимать как числовые, так и некие символные значения, которые описывают некие характеристики, например качество, вершин. Эти значения определяются термином величиной активации Z_i . Поскольку, как уже упоминалось выше, система формируется,

исходя из целей исследования, то через P_c обозначается искомый целевой концепт, для воздействия на который других концептов системы и осуществляется поиск оптимальных (рациональных) управленческих решений путем взаимосвязи влияния некоторого множества концептов, что и составляет суть когнитивной модели. В этом случае величина Z_c определяется суммарным воздействием моделируемых причинных событий в рамках некоторых ограничений, введенных заранее на P_c .

На степень влияния концептов a_{ij} обычно накладываются ограничения: $-1 \leq a_{ij} \leq 1$. Данные отношения можно представить в виде матрицы $\|a_{ij}\|$ с размерностью $N (i, j \in N)$, которая определяется как когнитивная матрица или матрица смежности когнитивного графа. При $0 < a_{ij}$ считается, что изменение значения P_i в большую сторону влечет за собой изменение значения P_j также в большую сторону, то есть влияние P_i на P_j оценивается положительно. При $a_{ij} < 0$ считается, что изменение значения P_i в большую сторону влечет за собой изменение значения концепта P_j в меньшую сторону, то есть влияние P_i на P_j оценивается отрицательно. А при $a_{ij} = 0$ влияние отсутствует. Дальнейшее развитие теории КК в такой трактовке привело к появлению понятия нечетких КК (НКК) [12].

При этом в последние годы математическое описание НКК значительно усовершенствовалось в сторону охвата все более сложных систем с динамическим характером. В качестве примера можно привести исследования [13-17] по адаптации механизмов накопления влияния концептами на базе сохраненных прошлых как самих значений, так и величин активации. Один из таких алгоритмов динамической активации $Z_i(t)$ показан зависимостью (1).

$$Z_i(t+1) = f\left(\sum_{j=1, i \neq j}^N a_{ij} Z_j(t) + Z_i(t)\right) \quad (1)$$

В нашей стране в сельском хозяйстве научные разработки по применению когнитивного моделирования получили развитие с приходом в отрасль квалифицированных специалистов соответствующего профиля. Так, благодаря усилиям двух великих ученых академиков Моисеева Н.Н. и Никонова А.А. с согласия Горбачева М.С. в 1986г. был организован НИИ кибернетики АПК (ВНИИК), в который ими же было привлечено 50 выпускников МФТИ факультета управления и прикладной математики. Данный факультет создавался академиком Глушковым В.М., в свою очередь, для реализации проекта Общегосударственной автоматизированной системы сбора и обработки информации для учета, планирования и управления народным хозяйством страны (ОГАС). Проект уже тогда предполагал необходимость интеграции разрозненных отраслевых данных в единую систему на основе некоторого комплекса цифровых стандартов. Поэтому неудивительно, что коллектив созданного института в качестве основной стратегии информатизации АПК определил концепцию ОГАС, которая наряду с идеями Моисеева Н.Н. о системном подходе к управлению сложными системами определила в преддверии появления большого числа персональных компьютеров к проектированию АСУ АПК наиболее рациональный подход – разработка функционально-полных, комплексных, типовых АСУ на так называемых эталонных объектах информатизации с последующим тиражированием отработанных, испытанных систем на остальные предприятия. В развитых странах Запада эталонные объекты в эпоху ЦЭ называют инновационными центрами.

Такие центры необходимо создавать во всех отраслях для становления цифровизации их на научную основу с массовым внедрением типовых решений, для чего должен быть создан орган главного конструктора с соответствующим штатом, а к разработкам должны быть привлечены ряд НИИ, машиностроительных и приборостроительных компаний, семеноводческих, селекционных центров и еще ряд организаций смежников, поскольку технологии ЦЭ и ИИ, активно занимающие значительную нишу в ЦЭ, требуют модификации техники и изменения методик проведения натуральных экспериментов. Кроме того, должна быть проделана большая работа по согласованию межотраслевых цифровых стандартов на основе онтологического моделирования.

При разработке подпрограммы «Электронизация сельского хозяйства» Госкомитет по науке и технике страны рассматривал создание эталонных объектов как раз для этих целей, а также для подготовки технико-экономических решений по модификации техники с целью цифровизации ее, требований по приведению методик полевых опытов к некоторым цифровым стандартам, подготовки согласованных решений в части цифровых технологий с сельхозмашиностроением, электронной

промышленностью, приборостроением, селекционными и семеноводческими организациями и т.п. (рис. 1).

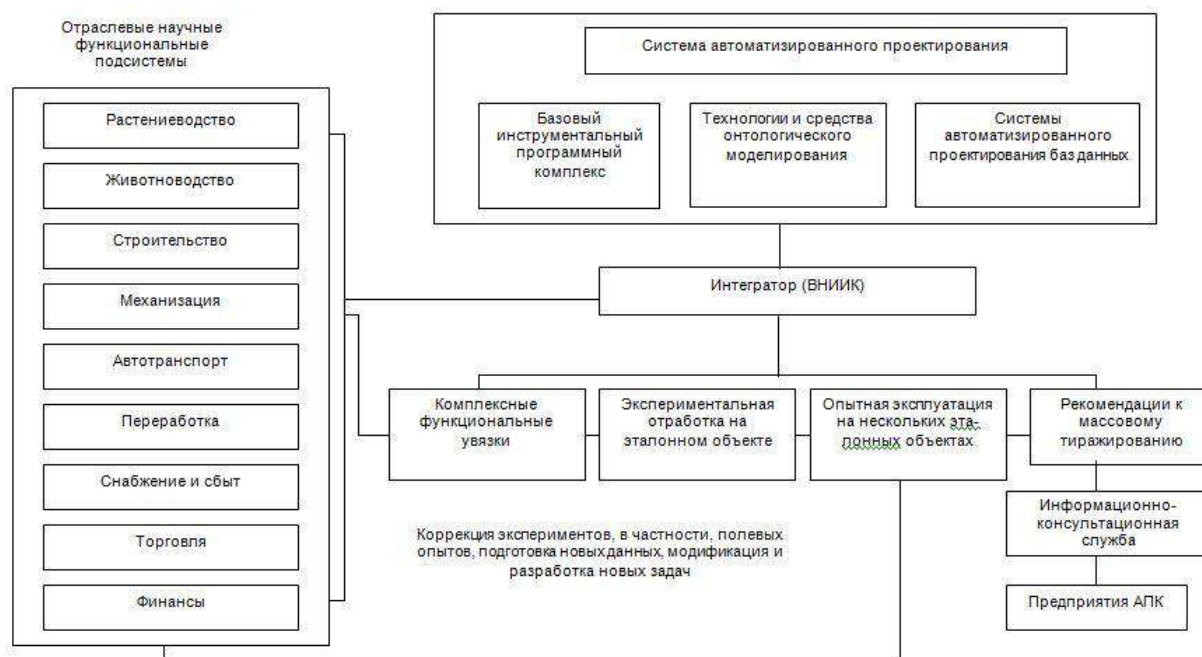


Рис. 1. Роль эталонных объектов в цифровизации АПК при комплексном подходе

Поскольку на тот момент в АПК было очень мало реально работающих АСУ, руководство отраслью не озаботилось подготовкой некоторых пособий при их создании в части разрешения онтологических проблем относительно данных и алгоритмов принятия решений. Поэтому оставался единственный вариант при тиражировании АСУ – кастомизация их. Однако при внедрении подсистем на большое число предприятий (всего около 1000) настройка программного обеспечения оказалась очень трудозатратной. Особенно это касалось растениеводства, самой сложной подотрасли, для которой уже было автоматизировано 40 задач, объединенных в АРМ агронома. А как отмечено в [18], сложность разработки и сопровождения информационных систем (ИС) растет экспоненциально в зависимости от числа как подсистем, так и типов объектов в системе. Для разрешения данной проблемы в растениеводстве было принято решение на основе онтологического моделирования о разработке универсальной для большинства предприятий КК, для чего на основе разработанной экспертной системы ведущие специалисты: почвоведы, агрохимики, фитопатологи, агрономы, механизаторы и еще ряд других направлений выделили значимые факторы, онтологически единые, характеризующие всю подотрасль растениеводства. В помощь экспертам были предоставлены экспериментальные данные сети географических опытов за многие годы, а также открыта лаборатория математической статистики для построения математическими методами причинно-следственных связей между факторами КК [19].

2. Анализ когнитивного моделирования подотрасли растениеводства

В результате большой проделанной работы группы экспертов указанных выше направлений деятельности и математиков было выделено в подотрасли растениеводства большое число факторов – 946, что даже сами эксперты были удивлены. Из-за невозможности в статье их все представить на рис. 2 в качестве примера приведены факторы КК блока «Посевы». При этом КК растениеводства оказалась незначительно заполненной. Здесь можно указать несколько причин. Главная – эксперты разошлись во взглядах на веса и направления связей факторов-концептов, что можно выразить поговоркой «каждый кулик свое болото хвалит». Вторая – материалы сети географических опытов показали, что эксперименты отличаются фрагментарностью, однофакторностью и в большинстве случаев носят качественный, а не оцифрованный характер. Третья – не удалось установить также зависимость весов и направлений связей факторов-концептов от вида культур и природно-климатических условий их возделывания, от географического места проведения опытов, от характеристик почв и еще ряда других условий. Данный анализ нашел подтверждение в работах [20-22].

<p>Посевы (приход от схемы «Культура») Код культуры Код участка Код партии семян Предшественник: -код предшественника (код культуры); -наименование предшественника; -номер предшественника по порядку. Количество предшественников. Тип посева: -основной: чистый, подпокровный; -повторный. Вид посева: -посев; -пересев; -подсев. Период посева: -озимый; -летний;</p>	<p>-яровой; -поукосный; -пожнивный; -текущего года; -2-го года; -3-го года; -прошлых лет. Номер очередности засева участка Инвентаризация посевов (га) на дату: -план посева; -фактически посеяно: хорошо, удовлетворительно, нет всходов, погибло, из них пересеяно: код культуры, площадь, срок пересева. Состояние растений (переход к полной схеме) Продукция (урожай) (переход к полной схеме)</p>
--	---

Рис. 2. Концепты блока «Посевы» когнитивной карты растениеводства

Кроме того, выявились и значительные ограничения на применение когнитивного моделирования в подотрасли, что свидетельствует о необходимости перед этим большой аналитической работы. Приведем ряд основных ограничений:

- Для сельскохозяйственного производства ещё в 1840г. немецким исследователем Ю. Либихом был открыт закон ограничивающего фактора, согласно которому световая и тепловая энергии, питательные вещества, вода должны находиться в неких, зависящих от огромного числа условий, комплементарных зависимостях, в частности для любого организма критически важен тот ресурс, который находится в минимальном значении. Так, для удобрений этот закон определяет, что нехватка некоторого элемента питания не компенсируется избыточным содержанием других. А это означает, что влияние одного концепта на другой характеризуется нелинейностью, в когнитивном же моделировании принята их линейность. Отсюда следует, что выражение (1) в отрасли неприменимо.
- Элементы a_{ij} КК в растениеводстве не отличаются постоянным состоянием, о чем гласит понимание когнитивного моделирования в литературе, а характеризуется значительной динамикой как внутри годового производственного цикла, так и в многолетнем севооборотном процессе. Например, потребление питательных веществ зерновыми культурами максимально в периоды кущения и колошения (40-50%). А с переходом в фазу молочной спелости их потребление резко снижается до 10-30%. На многолетнем же временном цикле подобные явления определяются различной реакцией культур на применяемую систему севооборотов.
- Как уже отмечалось выше, когнитивное моделирование осуществляется, исходя из теории системного анализа, применительно выделенной некоторой предметной области, рассматриваемой как система, исходя из целей исследования в виде определенных критериев. То есть целевые установки являются решающим фактором в этом случае. И чем глобальнее намеченная цель, тем более многокритериальной становится проблема ее достижения. Это относится и к разработке КК, универсальной для всей подотрасли растениеводства страны. Для такой КК можно определить следующие цели: валовый объем продукции, ее качество, рентабельность подотрасли, продовольственная безопасность и т.д. В этом случае для каждой цели должна быть определена уникальная КК со свойственным только ей набором концептов и отношений. Результаты успешной реализации КК со значительно меньшими целями, в которых вышеприведенные ограничения удачно были обойдены, демонстрируют применение небольшого числа концептов еще и для преодоления закона сложения ошибок, иначе, как диктует математическая статистика, итоговая ошибка будет слишком большой. Так, в исследовании [22] поддержка принятия решений на основе КК влияния агротехнологий на урожайность и качество пшеницы показывает, что для ее

успешности соответствующая КК состоит только из семи концептов. Еще один положительный пример. Проецирование рассмотренной выше универсальной КК из 946 концептов на проблему формирования севооборотов со специалистами Кубанского НИИ сельского хозяйства, владевшего огромной БД по экспериментам в этой сфере, позволил выделить КК в составе 15 концептов для задачи формирования новых севооборотов с ростом урожайности зерновых и зернобобовых до 4 ц/га без привлечения дополнительных затрат. Данный эффект был удостоверен соответствующим актом Госкомитета по науке и технике страны.

При формировании КК в растениеводстве, как уже упоминалось, совместной группой ведущих отраслевых экспертов и специалистов по математической статистике были выделены 946 значимых отраслевых концептов. Полученная КК была значительно недоопределённой. Назовем ее обобщенной КК (ОКК). Поэтому для увеличения степени наполнения ее был применен аппарат построения баз знаний. Построение баз знаний является достаточно сложным процессом и требует привлечения специалистов в области онтологии, инженерии знаний и экспертов в исследуемой предметной области, для чего опять же была создана еще одна лаборатория онтологического моделирования с разработкой соответствующей системы автоматизированного проектирования (САПР) БД [23]. Для облегчения этой проблемы применяются разнообразные методы представления знаний.

В нашем случае группой экспертов, сформировавших концепты КК растениеводства, с помощью уже работников лаборатории онтологического моделирования были сформированы единые алгоритмы управленческих решений в подотрасли России в количестве 240. Здесь опять проявились различные взгляды на управленческие подходы экспертов смежных специальностей. Тогда в качестве элементов a_{ij} ОКК были использованы уже определенные 946 концептов, представленные в виде так называемой матрицы семантической смежности [24], а сами значения элементов матрицы рассчитываются числом пересечений элемента i с элементом j во всех 240 алгоритмах. Дальнейшее развитие матрицы семантической смежности, исходя из теории автоматической классификации, предполагало с ростом опыта внедрения АРМ агронома применять и ряд других дополнительных показателей, например частоту, важность и сезонность решения задач и пр.

Поскольку матрицы семантической смежности в большинстве случаев применяются при разработке логических структур БД, то полученная ОКК легла также в основу проектирования единой логической информационной модели растениеводства (рис. 3).

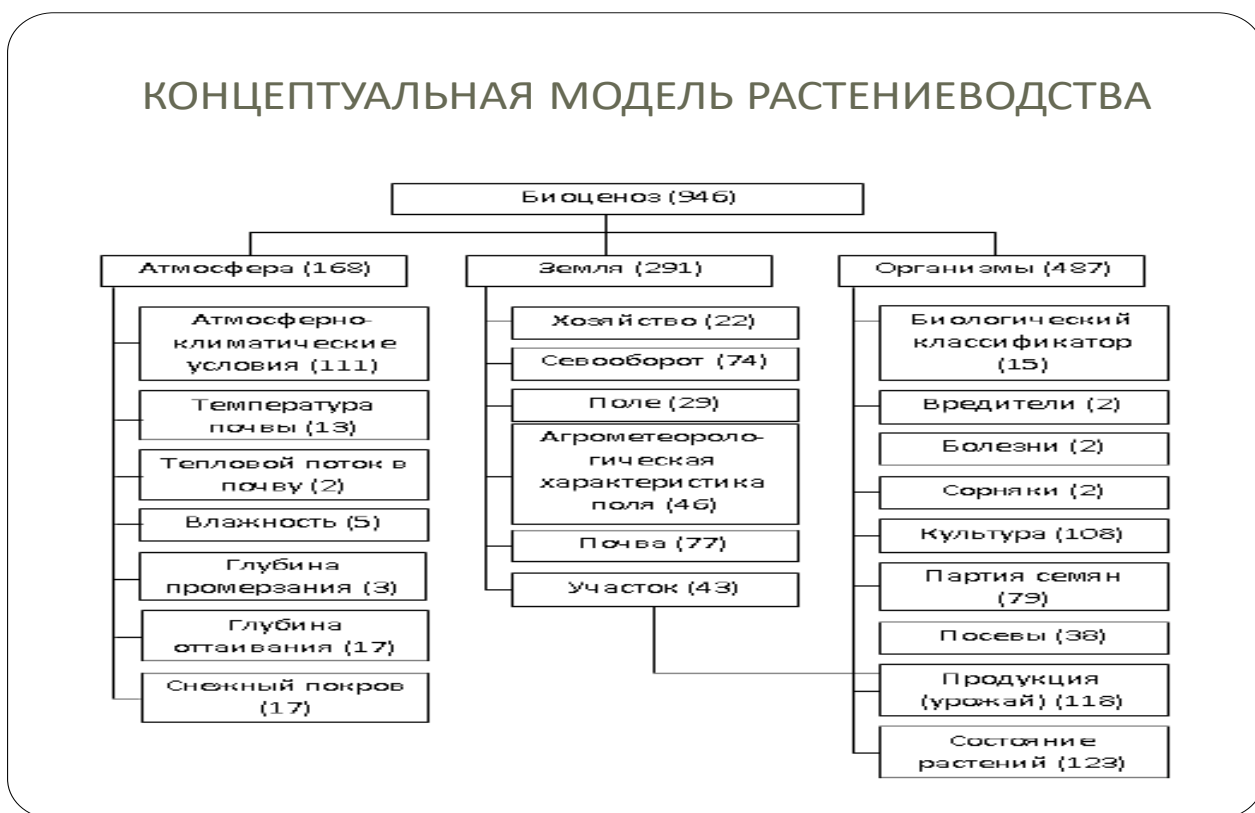


Рис. 3. Обобщенная когнитивная карта растениеводства в виде агрегированной логической информационной модели

Поскольку, как уже отмечалось, для комплексной цифровизации отрасли ощущается недостаток экспериментальных данных как полевых опытов, так и результатов массового внедрения модулей АРМ агронома, то эти обстоятельства создают неразрешимые проблемы по внедрению технологий ТЗ в стране. Для ее разрешения предлагаются следующие мероприятия.

Первое, для наполнения ОКК необходимыми данными требуется проведение обследования с помощью технологий дистанционного зондирования земли, агрохимслужбы и других специальных организаций всех земель с учетом 946 концептов. В ведомственном же проекте Минсельхоза «Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий (ЕФИС ЗСН)» предусмотрена лишь небольшая часть этих работ.

Второе, нужно на практике возобновить с жестким технологическим контролем аналог постановления Совета министров РСФСР от 6 мая 1961 года N 511 «О ведении в колхозах и совхозах шнуровой книги истории полей севооборотов и агротехнического паспорта полей севооборотов», когда агрономы обязаны были заполнять карты истории полей, в которых отображалась очень важная для ЦЭ, в частности для ИИ информация. На рис.4 представлена схема сбора первичной информации о совершенных технологических операциях, подогнанная под требования цифровой экономики. Заметим, что подобная структура истории полей за многие десятки лет хранится в фермерских хозяйствах Германии, а в США в последние 2-3 года данный цифровой стандарт начал активно внедряться уже в цифровом виде. Тогда необходимо организовать запись в БД ОКК информации о совершенных технологических операциях по представленному на рис. 4 единому формату, а также все плановые показатели.

Третье, нужно восстановить разработанные в свое время ВНИИК, а в настоящее время выброшенные на свалку упомянутым Петриковым А.В., единые для всего АПК классификаторы, справочники и словари. Это необходимое условие и для эффективности применения ИИ, технологии которого помогут на основе собираемых данных, предложенных выше, экспертам разработать различные КК, привязанные уже географически к культурам, к агротехнологиям, к агроэкологическим группам земли, целевым установкам в каждом хозяйстве за счет накопления и анализа информации о поведении этого объекта при воздействии на него различных сочетаний факторов.

Четвертое, учитывая вышеизложенные предложения, научные полевые эксперименты должны быть пересмотрены и носить многофакторный, комплексный характер, направленные на требования ТЗ, в частности КК.

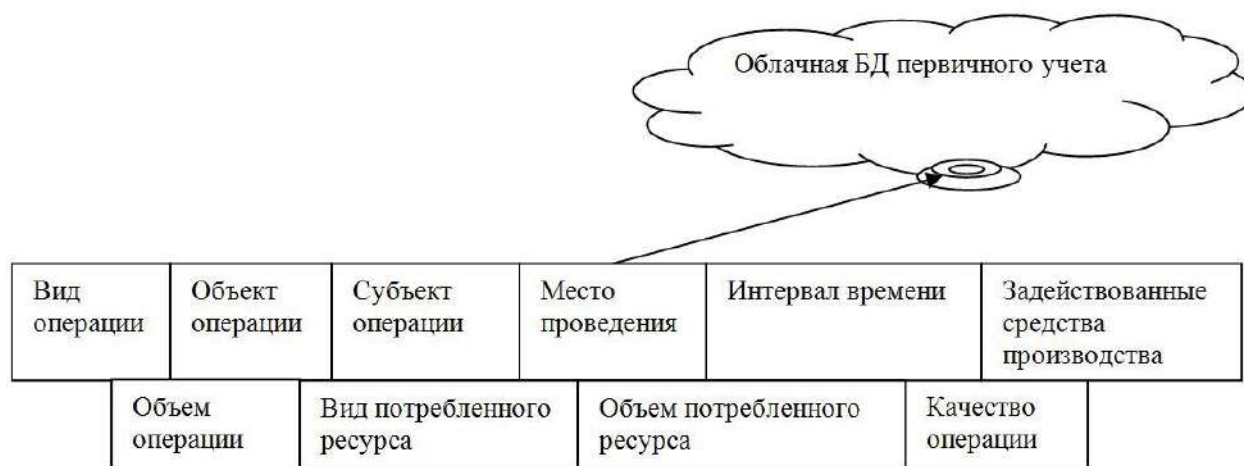


Рис. 4. Единый формат для всех отраслей сбора и хранения совершенных технологических операций

В работе [24] проведено обобщение всех трех подсистем растениеводства на всю производственную экономику в виде цифровых стандартов: ОКК рассматривается в качестве технологических отраслевых БД; стандарт сбора первичной информации о совершенных технологических операциях в качестве единого формата для всех отраслей сбора и хранения совершенных технологических операций; единые алгоритмы управленческих решений в качестве баз знаний. В совокупности все три цифровые стандарты введены как ЦПУ производством.

3. Заключение

В работе рассмотрен научно-системный, комплексный подход к цифровой трансформации сельского хозяйства, для чего был создан инновационный центр в виде ВНИИК, в частности опыт формирования единой КК растениеводства, в результате чего была разработана единая ЦПУ производством с расширением ее применения и на другие производственные отрасли. Показано, что ЦПУ сельским хозяйством в наибольшей степени обеспечивает функции ТЗ за счет необходимого инструмента сбора, хранения и эффективного использования в управлении производством данных о текущем состоянии и его динамике почвы и растений, о структуре и нужном объеме химических средств для выращивания культур, о состоянии пашни и всей линейки используемой сельхозтехники, оборудования и материалов и т.д.

Для эффективного внедрения ЦПУ сельским хозяйством в работе рассмотрен ряд требований к КК растениеводства, являющегося основой деятельности всего АПК, особенно в части комплементарности планирования научных полевых экспериментов и целей цифровой трансформации отрасли. На основе современного анализа работ по когнитивному моделированию в мире и обобщения опыта применения данной методологии выделено два основных направления дальнейшего совершенствования КК в растениеводстве (рис. 5).

- Если принять постулат, что элементы КК являются константами, тогда единая КК растениеводства должна содержать целый комплекс частных карт, характеризующих специфику предприятий и зависимость ее элементов от вида культурного растения, географии размещения, применяемых агротехнологий и севооборотов, структуры почвы, природно-климатических условий и еще других, которые еще предстоит выяснить.
- Если же элементы КК носят функциональный оттенок, который учитывает приведенную выше специфику, то после установления этих зависимостей в результате длительных опытов, применения ИИ, сбора информации по структуре ЦПУ может быть сформирована единая КК.



Рис. 5. Направления дальнейших исследований по совершенствованию КК в растениеводстве

Данная схема иллюстрирует лишь общий концептуальный взгляд на дальнейшие исследования по формированию КК с учетом различных подходов к цифровизации экономики. Отметим, что среди множества проблем в этом направлении имеются те, которые Минсельхоз мог бы решить, например до сих пор отсутствует единая база данных с описанием проведенных полевых экспериментов. Ситуацию можно существенно улучшить при переходе отрасли на единую ЦПУ сельским хозяйством.

Литература

1. Ленчук Е.Б., Власкин Г.А. Формирование цифровой экономики в России: проблемы, риски, перспективы // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2018. – № 5. – С. 9–21.
2. Меденников В.И. Методика оценки эффективности использования информационных научно-образовательных ресурсов / Меденников В.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г. – М.: Аналитик, 2017. – 250 с.
3. *Milgrom P., Roberts J.* The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy and Organization // *American Economic Review.* – 1990. – Vol. 80, № 3. – P. 511–528.
4. Акаев А.А., Рудской А.И. Конвергентные ИКТ как ключевой фактор технического прогресса на ближайшие десятилетия и их влияние на мировое экономическое развитие. *International Journal of Open Information Technologies* ISSN: 2307–8162. – 2017. – Vol. 5, № 1. – С. 1–18.
5. *Erik Brynjolfsson, Lorin Hitt, Shinkyu Yang.* Intangible Assets: Computers and Organizational Capital // *Brookings Papers on Economic Activity.* – 2002. – Vol.2, № 1.
6. Меденников В.И., Флеров Ю.А. Цифровая экосистема АПК: перспективная структура ИТ-ландшафта // Пятнадцатая международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2022) (Москва, ИПУ РАН, 26–28 сентября 2022г.). – М.: ИПУ РАН, 2022. – С. 408–419.
7. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В. [и др.]. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // *Оборонная техника.* – 2018. – № 1. – С. 6–23.
8. Кульба В.В., Меденников В.И. Научная региональная цифровая экосистема на основе предметной идентификации экосистем // *Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2023): Труды Шестнадцатой международной конференции, Москва, 26–28 сентября 2023 года.* – М.: ИПУ РАН, 2023. – С. 68–78.
9. Меденников В.И. Математическая модель формирования цифровых платформ управления экономикой страны // *Цифровая экономика.* – 2019. – № 1(5). – С. 25–35.
10. *Walter A., Finger R., Huber R., Buchmann N.* Smart farming is key to developing sustainable agriculture // *Proc Nat Acad Sci USA.* – 2017. – Vol. 114(24). – P. 6148–6150. DOI:10.1073/pnas.1707462114.
11. *Axelrod R.* The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton // University Press, 1976.
12. *Kosko B.* Fuzzy cognitive maps, *Int. J. Man-Mach. Stud.* – 1986, 24 (1). – P. 65–75.
13. *Miao Y., Goh A., Yang Z.* A Dynamic Inference Model For Intelligent Agent // *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering.* – 2001. – Vol. 11, № 5. – P. 509–528.
14. *Stylios C., Groumpos P.* Modeling complex systems using fuzzy cognitive maps // *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 2004. Part A: Syst. Humans 34 (1). – P. 155–162.
15. *Papageorgiou E.* Learning algorithms for fuzzy cognitive maps—a review study // *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 2012. Part C (Appl. Rev.) 42 (2). – P. 150–163.
16. *Reichardt M., Jurgens C.* Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups // *Precis Agric.* – 2009. – Vol. 10(1). – P. 73–94.
17. *Verburg P., Schulp C.* Opportunities for sustainable intensification in European agriculture // *Global Environ Chang.* – 2018. – Vol. 48. – P. 43–55.
18. Брыль В.Н. Информационно сложные задачи и пути их решения. URL: <https://sapr.ru/article/18728>.
19. Романенков В. Агрохимические опыты в системе исследований геосети: прошлое, настоящее и будущее // *Известия ТСХА.* – 2012. – № 3. – С. 54–61.
20. *Al-Gunaid M., Salygina I., Shcherbakov M.* Forecasting potential yield under uncertainty using fuzzy cognitive maps // *Agric & Food Security.* 2021, 10, 32. DOI:10.1186/s40066-021-00314-9.
21. Авдеева З., Коврига С. Формирование стратегии развития социально-экономических объектов на основе когнитивных карт // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011.
22. Луценко Е., Печурин Е. Системно-когнитивное моделирование влияния агротехнологий на урожайность и качество пшеницы и решение задач прогнозирования, поддержки принятия решений и исследования предметной области // *Научный журнал КубГАУ.* – 2019. – 147(03).
23. Меденников В.И., Мингалев Н.И. Реализация САПР распределенных БД // *Модели и инструментальные средства электронизации в АПК* – М.: ВНИИЭСХ, 1989. – С. 99–108.
24. Ерешко Ф.И., Меденников В.И., Богатырева Л.В. Кластеризация цифровых платформ для управления экономикой страны // *Материалы двенадцатой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2019, М.: ИПУ РАН, 2019.* – С. 307–309.