

СОКРАЩЕНИЕ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПАРНИКОВЫМ ЭФФЕКТОМ: ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Н.М. СВЕТЛОВ

(Всероссийский институт аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ)

Одна из возможностей снижения антропогенного воздействия на климат – ограничение внесения в почву азота с минеральными удобрениями. Это сократит поступление в атмосферу летучих соединений азота, обладающих сильным парниковым эффектом. При помощи сценарного анализа с использованием модели ВИАПИ – экономико-математической модели частичного равновесия на оптовых рынках сельскохозяйственной продукции субъектов Российской Федерации – дана оценка последствий для этих рынков и для сельского хозяйства страны в целом в случае сокращения внесения в почву азота с минеральными удобрениями. Изучены сценарии сокращения внесения в масштабах страны на 10% при фактическом уровне эффективности удобрений, и на 50% – при повышении эффективности до уровня лучших региональных практик. Показано, что в целом сельское хозяйство способно адаптироваться к таким сценариям, снизив валовое производство сельхозпродукции соответственно лишь на 2,09% либо на 2,85% в сравнении с базовым сценарием (который не предусматривает ограничений по внесению азота). Адаптация происходит за счет изменения отраслевой структуры в пользу овощеводства открытого грунта и скотоводства, территориальной структуры – в пользу отдельных регионов соответствующей специализации. Снижение внесения азота достигается за счет сравнительно немногих субъектов Федерации – в остальных оно остается прежним. Если сокращение внесения в почву азота с минеральными удобрениями сопровождать повышением эффективности их использования, то существует возможность обойтись без ущерба сельскохозяйственному производству как в отраслевом, так и в территориальном разрезе. Такой путь обусловлен инвестициями и, возможно, господдержкой, целесообразность которых подлежит изучению в рамках проектного подхода.

Ключевые слова: антропогенное воздействие на климат, минеральные удобрения, летучие соединения азота, сценарный анализ, частичное равновесие, модель ВИАПИ, рынки сельскохозяйственной продукции.

Введение

Втекущей сложной международной обстановке борьба с изменением климата сохраняет актуальность. И правительство, и научное сообщество России продолжают изучать возможность и целесообразность различных мер, направленных на снижение темпов роста парникового эффекта. Об этом свидетельствуют как научные исследования последних лет [4, 7], так и высказывания официальных лиц на 25 Петербургском Международном экономическом форуме 15–18 июня 2022 г. [1]. В частности, специальный представитель Президента Российской Федерации по вопросам климата Руслан Эдельгериев отметил, что приоритетом климатической повестки для Российской Федерации на данном этапе являются научно-исследовательские работы. Заместитель Председателя Правительства Российской Федерации Виктория Абрамченко напомнила о запуске 8 карбоновых полигонов в различных природно-климатических зонах России.

Антропогенный вклад в изменение климата все еще остается предметом научной полемики. Вместе с тем аргументы [3] не исключают ситуацию, когда, вопреки малому вкладу антропогенного фактора (в сравнении с естественными) в формирование парникового эффекта, чувствительность к нему динамики климата может быть очень высокой ввиду его включенности в геофизические процессы с положительной обратной связью. Это подтверждается имеющимися результатами модельных расчетов [6].

Одна из возможностей снижения антропогенного вклада в парниковый эффект связана с ограничением внесения в почву азота с минеральными удобрениями [16, 14] при одновременном повышении эффективности их использования на основе более тщательного мониторинга других факторов, лимитирующих урожайность сельскохозяйственных культур в соответствии с «законом минимума» Ю. фон Либиха. Потенциальная технологическая и экономическая осуществимость такого мониторинга связана с миниатюризацией и удешевлением соответствующих датчиков, с возможностью сбора фиксируемых ими данных при помощи технологий «интернета вещей» (IoT). Исследования в этом направлении ведутся, в частности, в Почвенном институте имени В.В. Докучаева [2]. Однако прежде чем вкладываться в дорогостоящие опытно-конструкторские работы, необходимо дать оценку вероятных последствий введения подобных ограничений в масштабах России, располагающей уникальным разнообразием природных (в том числе почвенных и климатических) условий сельскохозяйственной деятельности. Именно в такой оценке заключается цель изложения статьи. Ее выводы основаны на анализе изменений объемов производства и цен продукции сельского хозяйства при изменении объемов внесения азота в почву с минеральными удобрениями в масштабе страны. Эти изменения определены при помощи компьютерного эксперимента на модели ВИАПИ [13], который охватывает всю Россию и дает оценки в разрезе субъектов Федерации.

Материал и методика исследований

Модель ВИАПИ – это не имеющая аналогов в мировой науке пространственная национальная модель частичного равновесия на оптовых рынках сельхозпродукции. Она сочетает в себе ряд новаторских архитектурных решений [5, 10, 11].

В исследованиях использован 9-продуктовый вариант модели и версия 2.6a ее программного обеспечения. Для 8 продуктов (зерно, подсолнечник, сахарная свекла, картофель, овощи открытого грунта, молоко, скот, птица) моделируются продажи, перевозки, внешняя торговля и потребление; для 9 продукта – «остальная продукция сельского хозяйства» (только продажи) ¹.

Модель охватывает все субъекты Российской Федерации, за исключением входящих в состав других субъектов. Их рынки считаются частью «вышестоящего» субъекта. Предполагается, что в городах федерального значения сельскохозяйственное производство отсутствует.

Источники данных, используемые для построения модели, за исключением данных о внесении азота в почву с минеральными удобрениями, описаны в трех вышеуказанных публикациях. Источники данных об азоте описаны в статье [9].

При помощи модели получены равновесные решения для трех сценариев: базового (сценарий 0); сокращения внесения азота в почву с минеральными удобрениями

¹ Принято упрощающее предположение того, что вся сельскохозяйственная продукция перерабатывается в регионе ее потребления. По сути это предположение определяет принятое в модели ВИАПИ правило пересчета продукции переработки в продукцию сельского хозяйства. Нетоварная часть произведенной сельхозпродукции любого вида учитывается в составе остальной продукции сельского хозяйства по ценам региона-производителя.

на 10% (сценарий 1) ²; сокращения на 50% при росте эффективности использования азота до уровня лучших региональных практик (сценарий 2) ³.

Во всех трех сценариях границы производственных возможностей строятся по фактическим данным 2015...2019 г. (далее – базовый период), причем для каждого года в отдельности ⁴. Для их построения учитываются следующие ресурсы: площадь сельскохозяйственных угодий; площадь пашни; поголовье сельскохозяйственных животных, за исключением птицы (в пересчете на коров); поголовье птицы; численность работников; только по данным сельхозорганизаций: среднегодовая стоимость основных средств производства, используемых в сельском хозяйстве; стоимость оборотных средств на конец года (может быть пополнена краткосрочным кредитом); энергетические мощности; зернофураж (ресурс формируется за счет производства зерна); азот, вносимый в почву с минеральными удобрениями (объем ресурса задан для страны в целом; в сценарии 2 фактические данные о его использовании заменены расчетными, изложенными ниже).

При всех сценариях планирование производства в модели осуществляется так, чтобы план был сбалансирован (с учетом спроса по соответствующим равновесным ценам) при условиях любого из 5 лет, а средний за эти 5 лет маржинальный доход был максимальным по всем переменным, кроме цен, которыми сельхозпроизводители не управляют. Сценарии не предусматривают новых инвестиций, то есть объемы ресурсов, доступных каждому субъекту Федерации в каждом году, соответствуют фактическим данным базового периода.

Межрегиональная диффузия технологий ограничивается замещением не более 20% технологии каждого субъекта Федерации, зафиксированной данными базового периода, технологиями других субъектов той же или худшей природно-сельскохозяйственной группы регионов [12], в размере, не превосходящем фактического использования каждой из них в регионе происхождения ⁵. Населению каждого субъекта Федерации, учтенного в модели, гарантируются поставки 8 видов продукции (всех учтенных в модели, кроме «остальной»), в объемах, удовлетворяющих его потребности на уровне не менее 90% от актуальных норм потребления, рекомендованных Минздравсоцразвития России. Считается, что при достижении уровня потребления, на 20% превышающего рекомендованный, потребители достигают насыщения. В число сценарных условий входит также матрица эластичностей и кросс-эластичностей спроса по ценам (одна и та же для всех субъектов Федерации) ⁶; коэффициенты пересчета этой матрицы на импорт и экспорт;

² Предпринята попытка моделирования еще одного сценария, предусматривающего сокращение внесения азота на 20% при тех же условиях. Оказалось, что в ряде регионов такой сценарий не позволяет сохранить производство на уровне хотя бы 90% к существующему. Несмотря на то, что гарантии продовольственной безопасности, заложенные в модель, при этом могут быть выполнены за счет наращивания импорта, практической интерес такой сценарий, по мнению автора, не представляет: во-первых, его осуществление обесценивает значительную часть активов сельского хозяйства; во-вторых, модельные оценки при таких значительных отличиях от факта могут утратить достоверность.

³ Произведенные расчеты показали, что в целом по России за счет роста эффективности использования азота существует возможность сократить потребность в нем до 58,2% к фактическим уровням базового периода 2015...2019 гг. без каких бы то ни было изменений в объемах производства сельхозпродукции.

⁴ Этот прием улавливает (насколько это возможно в границах пятилетнего периода) факторы неопределенности сельскохозяйственного производства при вычислении планов производства и соответствующих им состояний конкурентного равновесия [5].

⁵ Это условие устанавливает равным примерно 5 годам время, требуемое для перехода к сценарному равновесию из начального состояния, определяемого данными базового периода.

⁶ Данные этих таблиц представляют собой авторские экспертные оценки. Они основаны на аналогичной матрице, использованной в варианте модели частичного равновесия EPACIS [8].

состояние частичного конкурентного равновесия на моделируемых рынках при сценарных условиях. Функции спроса откалиброваны индивидуально для каждого года базисного периода и каждого субъекта Федерации таким образом, чтобы при ценах данного года объемы спроса в данном субъекте совпадали с фактом того же года.

В сценарии 0 баланс азота, вносимого в почву с минеральными удобрениями, рассчитывается, но не лимитируется. В сценарии 1 установлено ограничение суммарного (по всей России) внесения азота в почву с минеральными удобрениями на уровне 90% к соответствующему году базисного периода. В сценарии 2 аналогичное ограничение установлено на уровне 50%, но внесение азота в почву в каждом субъекте Федерации, учтенное при построении границы производственных возможностей, снижено до уровня, соответствующего полному использованию резервов по-вышения эффективности использования этого действующего вещества.

Формулировке сценария 2 предшествовало исследование [9], направленное на оценку таких резервов. В нем проведена (по методу максимальной энтропии) параметрическая идентификация линейной границы производственных возможностей использования азота и учтена природно-сельскохозяйственная группировка регионов, принятая в модели ВИАПИ.

В сценарии 1 экономия денежных затрат, возникающая в связи с сокращением внесения азота, рассчитывается непосредственно в процессе моделирования. В сценарии 2 делается предположение того, что средства, сэкономленные сокращением внесения азота в почву в связи с ростом эффективности его использования, целиком расходуются сельхозорганизациями на покрытие части затрат, обеспечивающих рост эффективности. Оставшаяся часть этих затрат, согласно предположению, финансируется государством.

В качестве эффектов сокращения внесения азота в почву на 10% приняты различия между сценариями 1 и 0, сокращения внесения азота в почву на 50% при росте эффективности его использования – различия между сценариями 2 и 0.

Сценарий 2 умозрительен: он характеризует имеющийся потенциал сокращения внесения азота в почву за счет роста эффективности его использования при понимании практической невозможности полного использования этого потенциала. Поэтому ниже основное внимание уделяется сценарию 1, в котором эффективность использования азота соответствует фактическому состоянию дел в базовом периоде.

Для правильного понимания результатов, представленных ниже, необходимо учитывать, что решения, обнаруживаемые моделью ВИАПИ, – это состояния частичного равновесия, то есть такие состояния, при которых совершены все взаимовыгодные сделки по продуктам, учтенным в модели, и дальнейшее продолжение торговли невозможно вплоть до появления нового спроса или нового предложения. В реальности такое состояние никогда не наступает: моменты полного удовлетворения спроса и полного исчерпания предложения не совпадают у разных потребителей и поставщиков. Как следствие, использование равновесных решений в качестве прогнозов приемлемо лишь в отсутствие более надежных методов прогнозирования.

Интерес экономистов к состоянию равновесия обусловлен иной причиной: он связан с тем, что это состояние стало бы тупиковой точкой последовательности сделок в умозрительной ситуации, когда спрос и предложение в процессе заключения и исполнения сделок остаются неизменными и соответствуют заданным сценарным условиям. Это удобно для сценарного анализа: в равновесных решениях эффекты сценариев освобождены от помех, связанных с тем, что в реальной экономике едва ли можно заключить хотя бы две сделки при одних и тех же внешних условиях.

Когда равновесие для каждого сценария единственно, у различий между сценарными равновесиями нет других причин, кроме различий между самими

сценариями. Однако сценарный анализ при помощи моделей равновесия осложняется тем, что реальные рынки зачастую не обладают свойствами, при которых равновесие единственно [8]. Модель ВИАПИ описывает оптовые региональные рынки сельхозпродукции весьма детально и не предусматривает (в отличие от некоторых других вычислимых моделей равновесия – например, RATSIM [15]) внесения в процессе калибровки поправок в ее параметры с целью обеспечить выполнение теоретических предпосылок единственности равновесия, если в реальности они не выполняются. Вместо этого алгоритм модели ВИАПИ отдает предпочтение равновесию, которое менее других отличается от фактических данных базового периода. Когда множество равновесных решений не связно или не выпукло, такой подход не дает гарантии того, что найденное в результате решения равновесие непременно окажется ближайшим к факту. Поэтому с помощью модели ВИАПИ следует сравнивать сценарии, различающиеся настолько, чтобы различия между любыми равновесиями для разных сценариев значительно превосходили наибольшее возможное различие между альтернативными равновесиями для одного и того же сценария. Способы добиться полной уверенности в выполнении этого условия не существует, но отыскание равновесных решений с использованием разных начальных приближений и их содержательная оценка, основанная на анализе полученных результатов, позволяют свести риск получения ошибочных выводов к минимуму.

Результаты и их обсуждение

Осуществление сценария 1 приводит к следующим эффектам в сравнении со сценарием 0:

- снижение производства сельхозпродукции (измеренному в фактических ценах базового периода 2015...2019 гг.) на 2,09%, что соответствует эластичности производства по сокращению внесения азота в почву с минеральными удобрениями, равной 0,209;
- снижение стоимости продукции у ворот предприятия на 1,26%;
- сокращение выручки на внутренних рынках, измеренной в ценах по месту потребления, на 0,49%;
- рост импорта (учтенного в модели, то есть не включающего в себя продукты, вошедшие в состав агрегата «Остальная продукция сельского хозяйства») на 0,29%;
- снижение учтенного в модели экспорта на 6,93%;
- снижение производственных издержек на 1,72%;
- снижение транспортных издержек на 5,89%;
- снижение маржинального дохода на 12,62 млрд руб., обусловленное сокращением выручки на внутренних и внешних рынках, превосходящее сокращение издержек;
- рост индекса внутренних цен (у ворот производителя) на 0,16 процентного пункта.

Расчетное значение эластичности производства по сокращению внесения азота говорит о достаточно высокой устойчивости сельского хозяйства России как целого к стрессу от ограничения применения азотсодержащих минеральных удобрений. В горизонте времени около пятилетия оно обладает возможностью маневра ресурсами – перераспределения их между производством различных видов продукции (рис. 1), благодаря которому минимизируется падение производства сельхозпродукции в целом и наносится минимальный ущерб экономике сельского хозяйства страны. Именно существенно сокращаются объемы производства в отраслях растениеводства исключая овощеводство открытого грунта; растет производство овощей открытого грунта и скота; производство молока, птицы и остальной продукции сельского хозяйства сокращается в существенно меньшей степени, чем валовое

производство сельхозпродукции. Поскольку первые (слева) четыре продукта, представленные на рисунке 1, в сценарии 1 формируют лишь 20,86% стоимости валовой продукции сельского хозяйства, существенное сокращение их производства укладывается в вышеприведенную цифру сокращения валового производства на 2,09%.

Изменения в структуре сельскохозяйственной продукции в масштабах России, обусловленные снижением внесения азота в почву, согласуются с пространственными изменениями в ее объемах лишь отчасти (рис. 2, 3). Несмотря на то, что некоторые субъекты Федерации из числа крупнейших поставщиков продукции растениеводства на российские и зарубежные рынки при условиях сценария 1 подвержены существенному сокращению валового производства сельскохозяйственной продукции (в их числе – Краснодарский и Ставропольский края, а также Курская, Орловская, Липецкая, Курганская и Амурская области), другие (например, расположенные в Поволжье, а также Ростовская и Белгородская области) не реагируют на сценарные условия и вносят в почву столько же азота, сколько в базовом сценарии. Производство продукции растениеводства, а вслед за ним и валовой продукции сокращается в первую очередь там, где возможна наибольшая экономия азота, вносимого в почву, при безусловном выполнении гарантий продовольственного снабжения населения каждого субъекта Федерации, заложенных во все изученные сценарии.

Отдельные субъекты Федерации в условиях сценария 1 приобретают конкурентные преимущества и получают возможность несколько нарастить производство – преимущественно за счет животноводческой продукции. Тройку лидеров образуют Кировская, Кемеровская и Рязанская области.

Региональные эффекты в отличие от общероссийских неустойчивы в отношении как малых изменений сценарных условий, так и выбора одного из альтернативных равновесий. Однако регионы, занимающие верхние или нижние строчки рейтинга, как правило, сохраняют свои позиции ⁷.

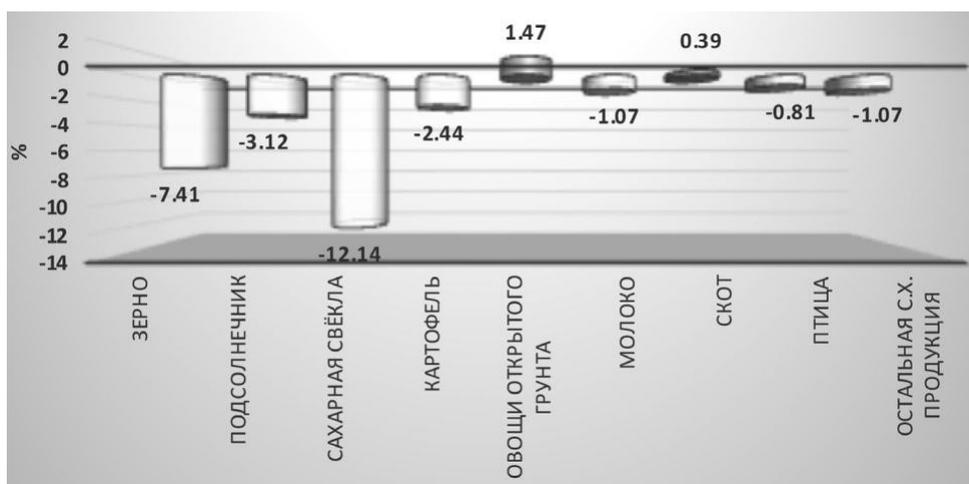


Рис. 1. Изменение производства отдельных видов продукции сельского хозяйства при сокращении внесения азота в почву с минеральными удобрениями на 10% и отсутствии прогресса в эффективности их использования

⁷ За исключением Архангельской области, где за высоким процентом спада в сценарии 1 кроется сокращение валового производства всего лишь на 479 млн руб. Для сравнения: в среднем в расчете на один субъект Федерации оно составляет 1,679 млрд руб., причем субъектов, где производство остается неизменным, 46 из 79.

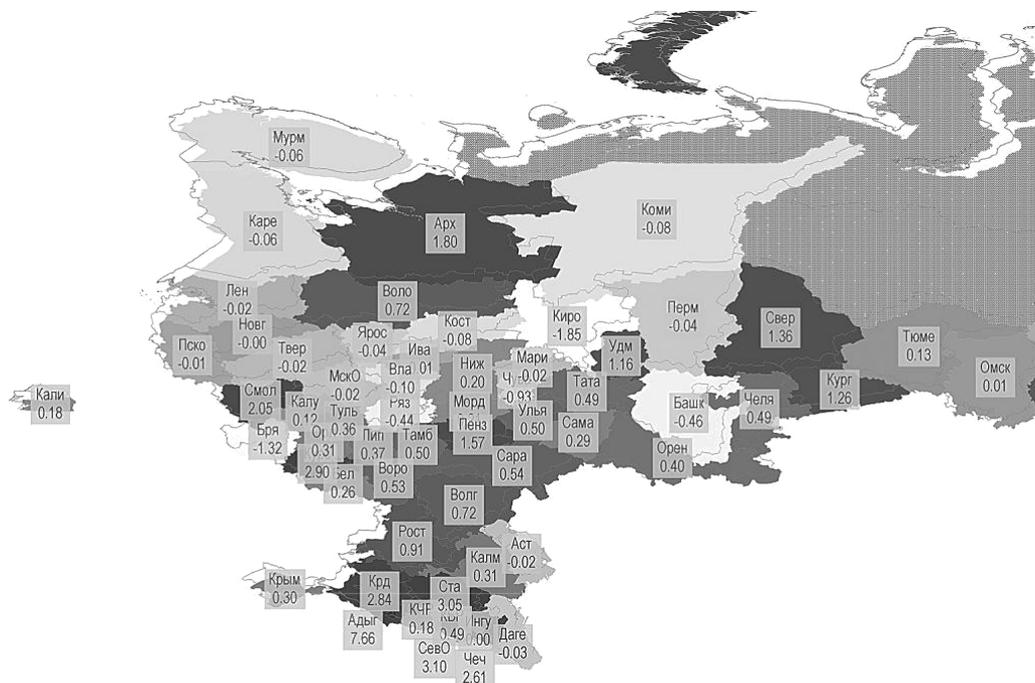


Рис. 4. Изменение индекса цен продукции сельского хозяйства (у ворот производителей, %) при сокращении внесения азота в почву с минеральными удобрениями на 10% и отсутствии прогресса в эффективности их использования (Европейская Россия и Урал): светлая тень соответствует снижению цен, темная – росту. Заштрихованы субъекты Федерации в составе других субъектов и города федерального значения

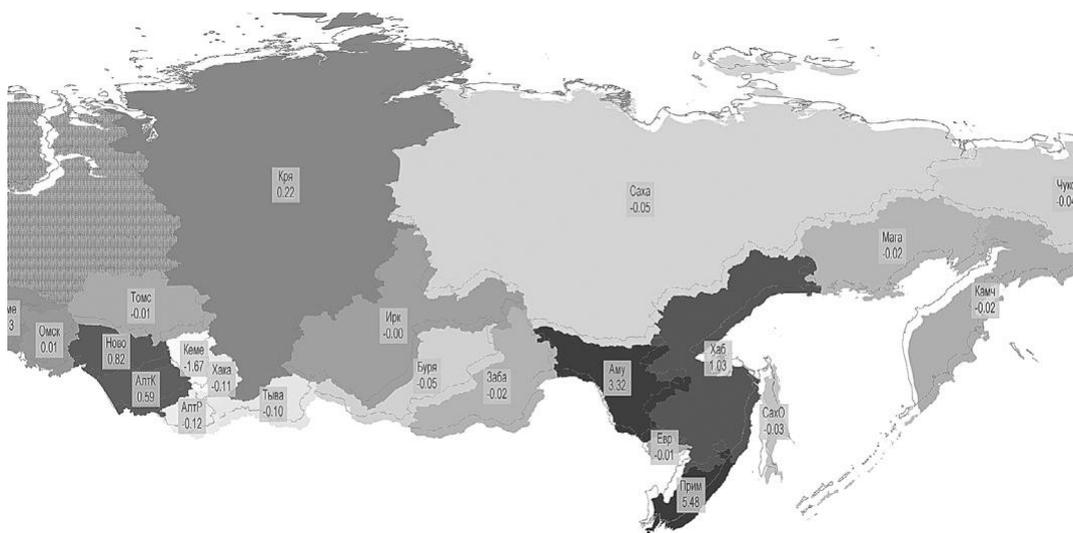


Рис. 5. Изменение индекса цен продукции сельского хозяйства (у ворот производителей, %) при сокращении внесения азота в почву с минеральными удобрениями на 10% и отсутствии прогресса в эффективности их использования (Сибирь и Дальний Восток): светлая тень соответствует снижению цен, темная – росту. Заштрихованы субъекты Федерации в составе других субъектов и города федерального значения

География изменений в объемах производства и география изменения цен на сельхозпродукцию взаимосвязаны (рис. 4, 5). Наибольший рост цен, как правило, отмечается там, где имеет место наибольшее снижение производства. Исключением из этого правила стали юг Поволжья и Ростовская область. Чувствительный для потребителей рост цен на сельхозпродукцию отмечается в Приморье, где он превышает 5%, а также в Амурской области, Ставропольском и Краснодарском краях. В большинстве регионов рост цен не превышает 1%. В ряде регионов вследствие происходящих территориальных сдвигов в производстве цены даже снижаются, но это снижение превосходит на 1% лишь в Кемеровской, Кировской и Брянской областях.

Результаты для сценария 2 доложены автором на научно-практической конференции «Аграрная политика России: устойчивость и конкурентоспособность» в ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ в рамках празднования 100-летия академика ВАСХНИЛ В.Р. Боева.

Ниже приведены значения ряда показателей, характеризующих этот сценарий, полученные после исправления замеченных неточностей в исходных данных и повторного прогона модели ВИАПИ. Согласно обновленным расчетам (результаты которых незначительно отличаются от доложенных на конференции) производство сельхозпродукции (в фактических ценах базового периода 2015...2019 гг.) на 2,85% меньше, чем в сценарии 0, и на 0,77% меньше, чем в сценарии 1. Стоимость продукции у ворот предприятия (в равновесных ценах) меньше, чем в сценарии 0, на 1,94%. Выручка на внутренних рынках сокращается по отношению к сценарию 0 на 0,98%, то есть меньше, чем в сценарии 1. Учетный импорт возрастает на 0,63%, экспорт падает на 11,04% – эти эффекты больше, чем при сценарии 1. Производственные издержки больше на 2,47%, а транспортные – на 8,57%, что также больше, чем в условиях сценария 1.

Снижение маржинального дохода также оказывается большим и составляет 55,57 млрд руб. Индекс цен при этом остается практически таким же, что и в базовом сценарии, чему содействуют заложенные в сценарий рост эффективности применения минеральных удобрений и компенсация сельскому хозяйству издержек на него, превосходящих стоимость сэкономленных удобрений. Изменения объемов производства отдельных видов продукции в масштабах России имеют те же знаки, что и в сценарии 1, а коэффициент корреляции рангов этих изменений составляет 0,950, то есть сценарий 2 не обладает ярко выраженными отличительными чертами в сравнении со сценарием 1. В частности, рост производства овощей открытого грунта в сравнении с базовым сценарием характерен для обоих изученных сценариев сокращения внесения азота (в сценарии 2 этот рост составляет 2,09%).

В пространственном срезе корреляция между сценариями 1 и 2 рангов отклонений объемов производства сельхозпродукции от базового сценария (измеренных в фактических ценах базового периода) составляет 0,617: как уже отмечалось выше, региональные эффекты оказываются более чувствительными к сценарным различиям, чем сводные эффекты по всей России.

В разрезе субъектов Российской Федерации данные о различиях между сценариями 1 и 0, 2 и 0 в производстве и ценах отдельных продуктов, учтенных в модели, могут быть предоставлены заинтересованным исследователям по запросу.

Выводы

Компьютерные эксперименты на модели ВИАПИ показали, что сокращение внесения азота в почву с минеральными удобрениями на 10% не повлечет за собой разрушительных последствий для сельского хозяйства страны и ее регионов, а также для отдельных отраслей сельского хозяйства.

Адаптационный механизм обеспечивается изменением отраслевой структуры производства в пользу овощеводства открытого грунта и выращивания скота на мясо, а территориальной – в пользу отдельных регионов, имеющих соответствующую специализацию. Экономия внесения азота обеспечивается главным образом за счет не-многочисленных регионов Черноземной зоны и Северного Кавказа, где и происходит наибольшее сокращение производства.

Повышение эффективности использования минеральных удобрений с использованием цифровых решений, внесение их только там, где именно их действующие вещества оказываются фактором, ограничивающим урожайность, либо в увязке с устранением иных ограничивающих факторов (дефицит микроэлементов, влаги) обладают, согласно полученным оценкам, потенциалом снижения ущерба сельскому хозяйству от сокращения внесения азотных удобрений на 10% (и даже до 40%) в сравнении с модельными оценками, основанными на сопоставлении сценариев 1 и 0.

В зависимости от того, насколько широко распространятся существующие сегодня лучшие практики, при указанных объемах сокращения внесения азота потери сельского хозяйства можно снизить вплоть до нуля. Как добиться этого на каждом поле, а не только на тех, где уже сегодня достигается наивысшая эффективность использования внесенного в почву азота, оцененная по конечному результату – стоимости проданной товарной продукции сельского хозяйства? Возможно ли при этом избежать роста себестоимости продукции? Существуют ли перспективы привлечения инвесторов для финансирования технологического перехода и кадров для эксплуатации новых технологий земледелия, решающих данную задачу? Возникнет ли при этом потребность в дополнительной целевой господдержке сельхозпроизводителей и в каком объеме? Ответы на эти вопросы требуют применения методологии, свойственной проектному подходу, – в частности, моделирования денежных потоков для конкретных проектно-технологических решений, дифференцированных по природно-сельскохозяйственным зонам, почвам, ландшафтам, биоценозам, условиям доступа к инфраструктуре.

Библиографический список

1. Адаптация к климатическим изменениям: вызовы и возможности. Ключевые выводы // Петербургский Международный экономический форум 15–18 июня 2022 г. – СПб., 2022. – URL: <https://forumspb.com/news/news/adaptatsija-k-klimaticheskim-izmenenijam-vyzovy-i-vozmozhnosti/> (дата обращения: 31 июля 2022).

2. *Кирюшин В.И.* Система научно-инновационного обеспечения технологий адаптивно-ландшафтного земледелия // Земледелие. – 2022. – № 2. – С. 3–7.

3. *Огневцев С.Б.* Глобальные климатические изменения, углеродные балансы и влияние на них сельского хозяйства // Актуальные вопросы современной экономики. – 2022. – № 7.

4. *Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю., Единак Е.А.* Возможности и риски политики климатического регулирования в России // Вопросы экономики. – 2022. – № 1. – С. 72–89.

5. Применение математических методов в управлении АПК Беларуси и России / Под ред. Н.М. Светлова, В.И. Буць. – М.: ЦЭМИ РАН, 2020. – 177 с.

6. *Розенберг Г.С.* Глобальные модели динамики биосферы // Биосфера. – 2017. – № 2. – С. 107–122.

7. *Романенко И.А., Сиптиц С.О., Евдокимова Н.Е.* Агропродовольственная стратегия регионов в условиях неопределенности будущего климата: Монография. – М., 2020. – 204 с.

8. Светлов Н.М. Альтернативные равновесия на аграрных рынках // Журнал экономической теории. – 2016. – № 3. – С. 188–201.
9. Светлов Н.М. Методический подход к оценке эффективности применения азотных удобрений в регионах России // Современная аграрная экономика – наука и практика: Материалы V Международной научно-практической конференции. – Горки, Беларусь: БГСХА, 2022. – С. 166–171
10. Светлов Н.М. Непараметрическая граница производственных возможностей в вычислимой модели частичного равновесия // Экономика и математические методы. – 2019. – № 4. – С. 104–116.
11. Светлов Н.М. Современный экономико-математический инструментарий анализа последствий изменения климата // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 6. – С. 20–25.
12. Светлов Н.М., Сипиц С.О., Романенко И.А. Как улучшить размещение отраслей сельского хозяйства России // АПК: экономика, управление. – 2018. – № 3. – С. 13–19.
13. Светлов Н.М., Шишкина Е.А. Инновационная модель частичного равновесия в приложении к анализу эффектов изменения климата // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 5. – С. 58–63.
14. Chai R., Ye X., Ma C. et al. Greenhouse gas emissions from synthetic nitrogen manufacture and fertilization for main upland crops in China // Carbon Balance Manage. – 2019. – № 14. – 10 p.
15. Fock A., Weingarten P., Wahl O., Prokopiev M. Russia's bilateral agricultural trade: first results of a partial equilibrium analysis // Russia's Agro-food Sector: Towards Truly Functioning Markets. Boston; Dordrecht; London: Kluwer Academic Publishers, 2000. – Pp. 271–301.
16. Zhang W.F., Dou Z.X., He P. et al. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China // Proceedings of National Academy of Sciences of the USA. – 2013. – Vol. 110. – P. 8375–8380.

REDUCING NITROGEN NUTRITION OF PLANTS TO WITHSTAND THE GREENHOUSE EFFECT: ASSESSING THE IMPACT ON AGRICULTURE

N.M. SVETLOV

(All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A.A. Nikonov – Branch of the FSBSIFRC AESDRA VNIIESH)

One way of reducing the anthropogenic impact on the climate is to limit the introduction of nitrogen into the soil with mineral fertilizers. This will reduce the release of volatile nitrogen compounds into the atmosphere, which have a strong greenhouse effect. A scenario analysis using the VIAPI model (an economic-mathematical model of a partial equilibrium of the wholesale agri-cultural markets of the constituent entities of the Russian Federation), is used to assess the changes in these markets and in the country's agriculture as a whole in the case of reduced introduction of nitrogen into the soil with mineral fertilizers. Scenarios were investigated for a 10% reduction in national application at actual fertilizer efficiency levels and a 50% increase in efficiency to the level of best regional practices. It is shown that, in general, agriculture is able to adapt to these scenarios, reducing the gross agricultural production by only 2.09% or 2.85%, respectively to the baseline scenario (which does not include nitrogen application restrictions). Adaptation takes place due to changing the sectoral structure in favor of open ground vegetable production and meet cattle breeding, changing territorial structure in favor of the regions of the corresponding

specialization. The decrease in nitrogen application is achieved by relatively few federal subjects, while in the rest it remains the same. If the reduction in the introduction of nitrogen into the soil with mineral fertilizers is accompanied by the efficiency growth, there is an opportunity to avoid any damage to agricultural production, both sectorally and territorially. This opportunity is conditioned by investments and, possibly, state support, the feasibility of which is to be studied within the framework of the project approach.

Key words: *anthropogenic impact on the climate, mineral fertilizers, volatile nitrogen compounds, scenario analysis, partial equilibrium, VIAPI model, markets of agricultural products.*

References

1. Adaptatsiya k klimaticheskim izmeneniyam: vyzovy i vozmozhnosti. Klyucheveye vyvody [Adapting to climate change: challenges and opportunities. Key findings]. Peterburgskiy mezhdunarodniy ekonomicheskiy forum 15–18 iyunya 2022 g. Saint Petersburg, 2022. URL: <https://forumspb.com/news/news/adaptatsiya-k-klimaticheskim-izmeneni-jam-vyzovy-i-vozmozhnosti/> (Access date: 31.07. 2022). (In Rus.)
2. Kiryushin V.I. Sistema nauchno-innovatsionnogo obespecheniya tekhnologiy adaptivno-landshaftnogo zemledeliya [System of scientific and innovative support for technologies of adaptive landscape agriculture]. Zemledelie. 2022; 2: 3–7. DOI: 10.24412/0044–3913–2022–2–3–7 (In Rus.)
3. Ognitsev S.B. Global'nye klimaticheskie izmeneniya, uglerodnye balansy i vliyaniya na nikh sel'skogo khozyaystva [Global climate change, carbon balances and the impact of agriculture on them]. Aktual'nye voprosy sovremennoy ekonomiki. 2022; 7. DOI: 10.34755/IROK.2022.83.55.067 (In Rus.)
4. Porfir'ev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu., Edinak E.A. Vozmozhnosti i riski politiki klimaticheskogo regulirovaniya v Rossii [Opportunities and risks of climate regulation policy in Russia]. Voprosy ekonomiki. 2022; 1: 72–89. DOI: 10.32609/0042–8736–2022–1–72–89 (In Rus.)
5. Primenenie matematicheskikh metodov v upravlenii APK Belarusi i Rossii [Application of mathematical methods in the management of the agro-industrial complex of Belarus and Russia]. Ed. by N.M. Svetlov, V.I. But's. Moscow: TsEMI RAN, 2020: 177. DOI: 10.33276/978–5–8211–0782–4 (In Rus.)
6. Rozenberg G.S. Global'nye modeli dinamiki biosfery [Global models of biosphere dynamics]. Biosfera. 2017; 2: 107–122. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V9I2.352 (In Rus.)
7. Romanenko I.A., Siptits S.O., Evdokimova N.E. Agropodovol'stvennaya strategiya regionov v usloviyakh neopredelennosti budushchego klimata [Agri-Food Strategy of the Regions under the Uncertainty of the Future Climate: Monograph]. Moscow, 2020: 204. (In Rus.)
8. Svetlov N.M. Al'ternativnye ravnovesiya na agrarnykh rynkakh [Alternative equilibria in agricultural markets]. Zhurnal ekonomicheskoy teorii. 2016; 3: 188–201. (In Rus.)
9. Svetlov N.M. Metodicheskiy podkhod k otsenke effektivnosti primeneniya azotnykh udobreniy v regionakh Rossii [Methodological approach to evaluating the effectiveness of nitrogen fertilizers in the regions of Russia]. Sovremennaya agrarnaya ekonomika – nauka i praktika: Materialy V mezhdunarodnoy nauchno–prakticheskoy konferentsii. Ed. by I.V. Shafranskaya. Gorki, Belarus: BGSKhA, 2022: 166–171. (In Rus.)
10. Svetlov N.M. Neparametricheskaya granitsa proizvodstvennykh vozmozhnostey v vychislimoy modeli chastichnogo ravnovesiya [Nonparametric production possibility frontier in a computable partial equilibrium model]. Ekonomika i matematicheskie metody. 2019; 4: 104–116. DOI: 10.31857/S042473880006779–5 (In Rus.)

11. *Svetlov N.M.* Sovremenniy ekonomiko-matematicheskii instrumentariy analiza posledstviy izmeneniya klimata [Modern economic and mathematical tools for analyzing the consequences of climate change]. *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaystvenniy zhurnal*. 2020; 6: 20–25. DOI: 10.24411/2587–6740–2020–16103 (In Rus.)
12. *Svetlov N.M., Siptits S.O., Romanenko I.A.* Kak uluchshit' razmeshchenie otrasley sel'skogo khozyaystva Rossii [How to improve the placement of Russian agricultural industries]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2018; 3: 13–19. (In Rus.)
13. *Svetlov N.M., Shishkina E.A.* Innovatsionnaya model' chastichnogo ravnovesiya v prilozhenii k analizu effektivov izmeneniya klimata [Innovative Partial Equilibrium Model Applied to the Analysis of Climate Change Effects]. *Mezhdunarodniy sel'skokhozyaystvenniy zhurnal*. 2019; 5: 58–63. DOI: 10.24411/2587–6740–2019–11587 (In Rus.)
14. *Chai R., Ye X., Ma C. et al.* Greenhouse gas emissions from synthetic nitrogen manufacture and fertilization for main upland crops in China. *Carbon Balance Manage.* 2019; 14: 10. DOI: 10.1186/s13021–019–0133–9
15. *Fock A., Weingarten P., Wahl O., Prokopiev M.* Russia's bilateral agricultural trade: first results of a partial equilibrium analysis. *Russia's Agro-food Sector: Towards Truly Functioning Markets*. Boston; Dordrecht; London: Kluwer Academic Publishers. 2000: 271–301.
16. *Zhang W.F., Dou Z.X., He P. et al.* New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proceedings of National Academy of Sciences of the USA*. 2013; 110: 8375–8380.

Светлов Николай Михайлович, д-р экон. наук, профессор, чл.- корр. РАН, главный научный сотрудник, Всероссийский институт аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ; Российская Федерация, г. Москва; тел.: (495) 624–29–09; e-mail: svetlov@viapi.ru

Nikolay M. Svetlov, DSc (Econ), Professor, RAS Corresponding Member, Chief Research Associate, All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics (VIAPI) named after A.A. Nikonov – Branch of the FSBSIFRC AESDRA VNIIESH (21–1 Bol'shoy Khariton'evskiy L., Moscow, 107078, Russian Federation; phone: (495) 624–29–09; E-mail: svetlov@viapi.ru)