

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ
ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ

Шкуркин Сергей Иванович¹, Рухович Ольга Владимировна²,
Романенков Владимир Аркадьевич³, Беличенко Майя Валериевна⁴

Всероссийский научно-исследовательский ин-т агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
127434 Москва, ул. Прянишникова, д. 31а
Московский государственный ун-т имени М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, ф-т почвоведения

¹ – к. ю. н., директор ВНИИА им. Д.Н.Прянишникова

² – д. б. н., зам. дир. ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова; e-mail: o_rukhovich@mail.ru

³ – д. б. н., проф., зав. каф. агрохимии и биохимии растений МГУ имени М.В.Ломоносова;
e-mail: viuageoset@gmail.com

⁴ – к. б. н. вед.н.с.; e-mail: mvbelichenko@gmail.com

Географическая сеть опытов с удобрениями, организованная по инициативе акад. Д.Н. Прянишникова в 1941 году является уникальной научной базой исследований почвенных процессов и экологических проблем в земледелии. Современные вызовы, обусловленные насущной необходимостью обеспечения продовольственной безопасности страны, возрастанием антропогенной нагрузки на агроэкосистемы, внедрением информационных технологий в сельское хозяйство, изменением климата требуют совершенствования научных исследований в длительных опытах. В статье представлено видение авторами стратегии дальнейшего развития Географической сети опытов с удобрениями.

Ключевые слова: длительные опыты, удобрения, стратегия, развитие.

С 1941 года в Советском Союзе, а теперь в Российской Федерации действует Географическая сеть длительных опытов с удобрениями, основанная Д. Н. Прянишниковым. Эта сеть включает в себя полевые опыты, которые проводятся по единой методике в основных сельскохозяйственных регионах страны. Она представляет собой систему длительных стационарных наблюдений, которая собирает информацию на протяжении десятилетий.

В Геосети в настоящее время участвуют 43 института, где проводят 59 многолетних полевых опытов с удобрениями, продолжительность которых составляет от 20 до 70 лет. Методическое руководство, формирование, хранение, анализ и обобщение данных длительных стационарных опытов осуществляет ФГБНУ «ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова».

Основой организации работы Геосети всегда являлись несколько положений:

- Методическая оценка вновь закладываемых либо ведущихся опытов, представляющих единую экспериментальную базу по изучению минеральных удобрений.

- Использование опытов как научной базы фундаментальных исследований в агрохимии и смежных науках - растениеводстве, защите растений, агрометеорологии, почвоведении, микробиологии, науках об окружающей среде.

- Использование опытов в качестве объектов мониторинга сельскохозяйственных земель, позволяющее учитывать сопряженные материалы роста и продуктивности растений, агрохимические, почвенные, погодные и ландшафтные наблюдения.

В этой связи внимание уделялось репрезентативности длительных полевых опытов для почвенно-климатических регионов, типичности изучаемого набора культур и агротехнологических приемов. Такой подход позволял проводить экстраполяцию получаемых в опытах результатов, включающих оптимизацию форм, доз, сроков и способов применения удобрений, даже в условиях отсутствия принципов сбора и обработки больших данных и отсутствия либо ограниченности компьютерных возможностей. Нужно заметить, что краткосрочные полевые опыты такой возможностью не обладают – для них характерен рост ошибки при попытке экстраполяции данных.

Именно методическая выдержанность полевых опытов Геосети в период с 90-х гг. прошлого века, когда обострились противоречия между интенсификацией и экологизацией сельского хозяйства, позволила быстро расширить объем исследований, с использованием опытов как полигонов агроэкологического мониторинга, с рассмотрением экологических аспектов применения удобрений,

разработкой принципов ведения агроландшафтных исследований, использования моделирования и ГИС-технологий.

Еще одним преимуществом опытов являются длительные временные ряды наблюдений, позволяющие оценивать системы удобрения как элемент направленного управления агроэкосистемами: устойчивым ведением хозяйства, расширенным воспроизводством почвенного плодородия, учетом последствий изменения техногенной нагрузки и глобальных климатических изменений.

К слову, именно массовая организация опытов Геосети по сравнимым схемам опередила аналогичные европейские научные исследования примерно на 50 лет несмотря на то, что в Европе имелся более длительный опыт закладки и ведения агрохимических стационаров.

Разнообразие и важность задач, решаемых с помощью длительных и краткосрочных опытов трудно переоценить. Поддержание опытов связано с их дальнейшим совершенствованием.

Каждый опыт, входящий в Геосеть, представляет самостоятельную ценность, но рассматриваемый в отдельности, теряет свои особенности, которые отличают его как объект длительных исследований в единой системе наблюдений. Ведь поддержание длительного опыта требует гораздо больших затрат и оправдано только в случае методической выдержанности и обеспечения востребованности его результатов. Любые изменения в условиях и объемах финансирования, приоритетов исследований, а также социальные проблемы и отсутствие заинтересованных исследователей – серьезные факторы, мешающие их продолжению. Опыты Геосети, начиная с 90-х гг. прошлого века, не избежали этих проблем.

Важным направлением координации работы Геосети может стать реализация междисциплинарных научных исследований в аграрной отрасли. Например, использование территории опытов Геосети для применения цифровых технологий, в том числе технологий ИИ, для калибровки данных ДЗЗ, беспилотных наземных и летательных систем, проведения мониторинга и отработки высокоточных операций, внедрения новых сортов и гибридов, устойчивых к вспышкам вредителей и болезней, более приспособленных к неблагоприятным климатическим условиям, а также возможностям использования преимуществ изменения климата. Оценки возможной величины урожайности могут использоваться для сопоставления опытных данных с биоклиматическим потенциалом территории. Если в опыте имеются лучшие варианты, обеспечивающие сохранение либо расширенное воспроизводство плодородия почв и соблюдается регламент агротехнологий, он представляет возможность выявить, насколько реали-

зованы возможности оптимизации агротехнологий в реализации биоклиматического потенциала и длительность их действия. Междисциплинарные исследования в Геосети могут стать приоритетной территорией для привлечения научных исследований молодых ученых в области сельского хозяйства, в т.ч. в сфере цифровых решений.

Для обеспечения воспроизводимости исследований важна унифицированная программа и методология их проведения в опытах Геосети, обязательная для всех учреждений и исполнителей, независимо от места расположения опытов и их ведомственной принадлежности. Это обеспечивает необходимый минимум экспериментальных данных – погодные условия, характеристика и сроки основных технологических операций, ежегодные урожайные данные, динамика почвенных показателей, характеристика наиболее неурожайных лет. Критическим является также и минимальное число опытов, которые могут предоставить подобные данные. Методическую основу такой работы должна составлять программно-методическая комиссия Геосети, отражающая участие представителей различных ведомств и направлений исследований, но ставящая главной задачей единство программ и схем опытов в изучении систем удобрения как важнейшего элемента агротехнологий для реализации продуктивности растений, управления плодородием, оценки эффективности использования и потерь внесенных питательных элементов, а также устойчивости агроценоза при различных внешних воздействиях. Методическая комиссия ответственна за создание, обновление и корректировку списка полевых опытов, включенных в Геосеть.

На основании ее решений могут создаваться отдельные списки опытов, участвующих в целевых научных программах. Примером могут быть тестовые полигоны единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ. Организация полигонов интенсивного уровня типа I по данной системе предусматривают детальные исследования растительности и почв на 30 постоянных пробных площадях согласно единым методикам и их сопряжение с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого и сверхвысокого разрешения: 1–30 м и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с разрешением от 5 до 20 см. Если размеры территории проведения опыта, возможности ответственных исполнителей и лабораторная база позволяют проводить подобные исследования, опыт Геосети может рассматриваться в качестве подобного полигона мониторинга.

Немаловажную роль играет организация сбора и хранения архивных образцов почв, растений и удобрений, которые можно использовать для

углубленного анализа по согласованным единым методикам при исследованиях в единой серии опытов. Такими, например, в сравнительно-географическом аспекте для опытов Геосети могут являться изучение устойчивости интенсивных систем применения удобрений, эффективности органических удобрений и мелиорантов, влияния зеленых удобрений, заправки соломы, способов обработки почвы, уровня окультуренности, технологий применения средств защиты растений (СЗР). Изучение перечисленных факторов управления почвенным плодородием проводится в каждой природно-климатической зоне и, следовательно, серия опытов может быть выстроена под конкретные исследовательские задачи. роль играет организация сбора и хранения архивных образцов почв, растений и удобрений, которые можно использовать для углубленного анализа по согласованным единым методикам при исследованиях в единой серии опытов. Такими, например, в сравнительно-географическом аспекте для опытов Геосети могут являться изучение устойчивости интенсивных систем применения удобрений, эффективности органических удобрений и мелиорантов, влияния зеленых удобрений, заправки соломы, способов обработки почвы, уровня окультуренности, технологий применения СЗР. Изучение перечисленных факторов управления почвенным плодородием проводится в каждой природно-климатической зоне и, следовательно, серия опытов может быть выстроена под конкретные исследовательские задачи.

Это может быть проверка уникального оборудования с использованием возможно более широкой выборки образцов с единого варианта опыта и в определенном поле севооборота. Например, в период парования, приеме, реализованном в 28% длительных опытов Геосети.

Опыты могут быть основой для оценки скорости обновления органического углерода в почве при возделывании С4 растений, например, кукурузы. Относительная разница в величинах $\delta^{13}\text{C}$ углерода, происходящего от растений С3 и С4 типа фотосинтеза, сохраняется в процессе гумификации растительного материала и превращения его в органическое вещество почвы, но может быть выявлена с помощью масс-спектрометрии только в длительных полевых исследованиях.

В длительных опытах можно проводить очень тонкие оценки изменений структуры микробного сообщества, например, на основе анализа 16S-rPHK бактерий и ферментативной активности, накопления балластных токсических элементов (в том числе тяжелых металлов в почве при длительном применении удобрений и других агрохимических средств) и их транслокации в растения, условий получения экологически безопасной

продукции, временной эволюции устойчивости возбудителей болезней к средствам защиты.

Направления исследований в серии опытов могут стать составляющей отдельной задачи программы междисциплинарных исследований, либо целью работы научных коллективов при получении гранта, предоставляющего территорию опыта в качестве объекта расширенных изысканий на основе сотрудничества с учеными смежных направлений. Таким примером явилось недавно проведенное исследование биологической активности почвы на основе метода чайных пакетиков в рамках мирового научного проекта, в выполнение которого были вовлечены 111 научных учреждений из 31 страны мира, в том числе 10 участников Геосети. В рамках этого проекта была проведена работа по изучению процесса разложения органических веществ растительного происхождения в различных почвенно-климатических условиях. Благодаря совместным усилиям научного сообщества было собрано более 36 000 измерений разложения чайных пакетиков на почти 2000 экспериментальных площадках площадью 1 км², расположенных в различных наземных биомах по всему миру, включая длительные опыты. Эта база данных позволила провести масштабный эмпирический анализ начальной динамики потери массы органических остатков в глобальном масштабе.* Создание электронных баз данных, имеющих свободный либо ограниченный доступ для группы исследователей, позволяет значительно увеличить востребованность результатов опытов, повысить ценность публикаций по их обсуждению и уровень цитирования таких работ. Именно по данным показателям оценивается возможность продолжения финансирования ведущихся мировых длительных полевых опытов. Опыт создания электронных баз данных Геосети оказался особенно трудным. Проблема усугублялась возможными пропусками при отсутствии отчетных материалов и смене ответственных исполнителей, что потребовало запуска процедуры восстановления данных. Оценка опыта должна основываться на базах данных, отражающих историю наблюдений за комплексом агрохимических показателей, а также возмож-

* *Sarneel Ju.M., Hefting M.M., Sandén T., van den Hoogen J., Routh D., Adhikari B.S., Alatalo Ju.M., Aleksanyan A., Althuisen I.H.J., Alsafran M.H.S.A., Atkins J.W., Augusto L., Aurela M., Azarov A.V., Barrio I.C., Beier C., Bejarano M.D., Benham S.E., Berg B., Bezler N.V. et al. Reading tea leaves worldwide: decoupled drivers of initial litter decomposition mass-loss rate and stabilization // Ecology Letters. 2024. V. 27. № 5. С. 14415.*

ности создания специализированных баз данных под конкретную задачу исследований. Проблемой здесь является научная собственность получаемых данных. Зачастую сам руководитель опыта не может создать либо периодически обновлять полноценную базу данных, но отказывается передавать данные для ее создания специалистами. Решением может быть получение свидетельства о регистрации, подтверждающие интеллектуальную собственность автора базы данных как законченный результат работы и публикации с его участием в рейтинговых журналах, что возможно при обобщении данных разных опытов, собранных и обработанных по единой методике. Такие материалы являются чрезвычайно востребованными. Обычно приходится ограничиваться метаданными – условно однородными выборками, собранными по литературным данным. Реально же полученные и сопоставленные однородные ряды многолетних данных – большая редкость и их ценность огромна.

В настоящее время во ВНИИ агрохимии создано около 30 электронных баз данных, зарегистрированных в ФИПС и содержащих информацию о полевых опытах с удобрениями **на различных сельскохозяйственных культурах**, проведенных Агрохимслужбой и Геосетью и **географически привязанных с применением технологии ГЛОНАСС**. В них содержится информация об опытах, проведенных с 1966 по 2024 год.

Объем источников информации является уникальным. Например, только на одной культуре – яровой пшенице, было проведено более 7000 опытов, и это данные только по России. На основе сформированных баз данных в рамках новых исследований в Геосети создана методология оптимизации параметров прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на конкретных полях. С ее помощью проводится работа по совершенствованию систем земледелия с использованием координатного земледелия и ГИС-технологий, создаются модели урожайности основных сельскохозяйственных культур для различных типов почв. Также разрабатывается информационно-аналитическая система для поддержки агротехнологий.

Эта система помогает эффективно использовать земли сельскохозяйственного назначения, определять оптимальное размещение культур, рассчитывать необходимые дозы удобрений, прогнозировать урожайность на данных территориях и возможность их оптимизации.

Новым типом полевого опыта является верификационный, когда варианты опыта используются для разработки динамических моделей с возможным разделением различных уровней продуктивности по преобладающему типу лимитирования,

в том числе на основе использования технологий координатного земледелия. Разработка схем проведения подобных опытов рассматривалась в институте с 1990-х гг. в программе агроэкологического мониторинга при закладке опытов нового типа, но до сих пор не была практически реализована.

Сеть опытов не может существовать без системы правил и ограничений. Регистрация опытов в системе Геосети **налагает на руководителей учреждений-участников Геосети обязанность** обеспечить их сохранность, содействие в проведении наблюдений и исследований исполнителям, своевременность выполнения технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур. Закрытие, изменение схем опыта и программ исследований осуществляется только после рассмотрения и одобрения программно-методической комиссией Геосети. Существенно более эффективной может являться система определения ценности длительных опытов Геосети, учитывающая научную значимость проводимых исследований, их организацию и выполнение программ научных исследований, наличие электронных баз данных, архивных образцов, интеграцию с ДДЗ и другие необходимые критерии, на основе которых производится ранжирование опытов. На основании такой системы могут приниматься решения о возможности участия опытов в программах НИР и использовании их результатов в качестве данных мониторинга. Так, в перспективных планах НИР, разрабатываемых отделением сельскохозяйственных наук РАН, должны быть предусмотрены задачи, где необходимым условием участия учреждения является статус зарегистрированного в системе Геосети опыта. Это могут быть вопросы, относящиеся к контролю за длительными изменениями медленно меняющихся показателей, например, касающиеся оценки влияния климатических изменений и разработка стратегий адаптации сельского хозяйства, длительные тренды урожая и качества продукции, устойчивость почв и длительное изменение почвенного плодородия, включая мониторинг почвенного углерода, длительные изменения в циклах, пулах, фракциях биогенных элементов; длительные тренды в аккумуляции, перемещении, трансформации различных загрязнителей в пахотных почвах и многие другие. Другим вопросом могут стать материалы диссертаций, использующие длительные полевые опыты в качестве объектов исследований. Методическая выдержанность и достоверность длительного опыта с удобрениями не может быть доказана, если он не имеет внешней независимой оценки полученных результатов.

Если мы ориентируемся на активное исследование ресурсосберегающих экологически сба-

лансированных, биологизированных технологий, почвозащитных систем обработки почвы, рациональной системы удобрения и интегрированной системы защиты растений в длительных опытах, нужно предусматривать их своевременные модификации, как это произошло со старейшими мировыми длительными опытами. Без них невозможно обеспечить внедрение полученных результатов в сельскохозяйственное производство, а, следовательно, необходимой поддержки

опытов Геосети. Все планируемые шаги могут быть закреплены в специальной программе поддержки длительных исследований Геосети с координацией работ со стороны ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, гарантирующей возможность их планирования и осуществления с соблюдением всех отборочных требований, регулярной проверки методической выдержанности, актуальности и достоверности получаемых результатов.

Shkurkin S. I., Rukhovich O. V., Romanenkov V. A., Belichenko M. V.

STRATEGY OF THE GEOGRAPHICAL NETWORK OF FERTILIZER EXPERIMENTS DEVELOPMENT

The Geographic Network of Fertilizer Experiments, organized on the initiative of Academician D.N. Pryanishnikov in 1941, is a unique scientific base for research into soil processes and environmental problems in agriculture. Modern challenges caused by the requirements of ensuring the country's food security, increasing anthropogenic load on agroecosystems, the introduction of information technologies in agriculture, and climate change require the improvement of scientific research in long-term experiments. The article presents the authors' vision of the strategy for further development of the Geographic Network of Fertilizer Experiments.

Keywords: *long-term experiments, fertilizers, strategy, development*