

## ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТЬ ТЕСТОВЫХ ПОЛЕЙ ОПЫТОВ С УДОБРЕНИЯМИ

**И.Ю. Савин, ак. РАН,**  
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,  
Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 7, 8(495) 5392587; e-mail: savin\_iyu@esoil.ru



*Результаты полевых опытов с удобрениями являются основой для разработки рекомендаций по их применению. Подходы к экстраполяции результатов опытов на конкретных участках в России до сих пор базируются на принципах зональных систем земледелия, что нуждается в модернизации. Для оценки репрезентативности результатов, получаемых на опытных полях, предложен новый подход, основанный на пространственном (геоинформационном) моделировании с учетом агрономически важных свойств почв, рельефа и климата. Апробация предложенного подхода на примере опытных полей ВНИИМЗ (Эммаус, Тверская обл.) показала его перспективность. Использование предложенного подхода для других опытов и культур позволит полностью модернизировать традиционные подходы и повысить эффективность практических рекомендаций, предлагаемых на основе полевых опытов с удобрениями.*

*Ключевые слова:* опыты с удобрениями, экстраполяция результатов опытов, геоинформационное моделирование.

### **Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ №20-67-46017**

Для цитирования: Савин И.Ю. Представительность тестовых полей опытов с удобрениями // Плодородие. – 2021. – №3. – С. 28-33. DOI: 10.25680/S19948603.2021.120.04.

В решении проблемы обеспечения населения Земли продовольствием, агрохимическая наука занимает особое место, обеспечивая научное обоснование повышения плодородия почв посредством использования удобрений. Так, например, по данным [5], в России при внесении на поля около 200 кг/га минеральных удобрений валовой сбор зерна может достичь 270 млн т, что значительно превышает уровень урожая на текущий момент.

Подобные потенциальные возможности использования удобрений известны давно. Научные опыты с удобрениями были начаты уже более 100 лет назад [13, 23, 24]. В России бурное развитие научных исследований в этом направлении произошло после революции. Отдельные опыты научных и учебных учреждений в начале 40-х годов прошлого века привели к идее создания в стране Географической сети опытов с удобрениями Геосети. Создание подобной уникальной сети было основано на понимании того, что в разных почвенно-климатических условиях воздействие удобрений на сельскохозяйственные растения и их эффективность будет неодинаковым.

В 2021 г. исполняется 80 лет с момента создания Геосети. В советское время, на пике своего развития, она включала более 300 опытов, проводимых научными

учреждениями многих республик СССР [14, 17]. В настоящее время в исследованиях Геосети более 300 полевых опытов свыше 100 учреждений России [13]. Геосеть проводит исследования по использованию удобрений при возделывании основных сельскохозяйственных культур, а также опыты по испытанию новых типов удобрений. Научно-методическое руководство функционирования сети осуществляет Всероссийский НИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (ВНИИ агрохимии).

За 80 лет существования Геосети накоплен огромный научный опыт в области агрохимии. Параллельно в это время шли развитие и становление таких наук как почвоведение и агрометеорология. Развивалась приборная и методическая база этих наук. Последние годы характеризуются широким внедрением в практику цифровых и дистанционных технологий [6]. Все это, наряду с изменившимися после распада СССР условиями хозяйствования, диктует необходимость адаптации Геосети к новым реалиям и ее модернизации.

Все сказанное в равной мере относится и к агрохимическим опытам, которые осуществляются вне Геосети частными компаниями – производителями и дистрибьютерами удобрений, а также опытам, осуществляемым научными и учебными учреждениями России в научных целях и при подготовке научных кадров.

**Методика.** Опыты с удобрениями проводят на тестовых участках, расположение которых хорошо известно. Во многих случаях расположение тестовых участков обусловлено территориальной близостью к организации, осуществляющей опыты. Так, например, опытные поля РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева расположены поблизости к кампусу университета, опытные поля других университетов также находятся обычно недалеко от их кампусов или в пределах их опытных хозяйств.

Пространственное размещение опытных участков Геосети было осуществлено с разработкой специально созданной Д.Н. Прянишниковым в 1924 г. почвенно-агрономической карты [12, 13].

В качестве примера использовали тестовые поля ВНИИМЗ (филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»), расположенные в районе поселка Эммаус Тверской области. Поля расположены на дерново-средне- и сильноподзолистых почвах в различной степени оглеенных, преимущественно супесчаных на песках, подстилаемых моренными отложениями.

В анализе за основу приняли данные Единого государственного реестра почвенных ресурсов России (ЕГРПР) [4], который был создан в 2013 г. и утвержден Минсельхозом России в качестве базовой информации о состоянии почвенных ресурсов на уровне страны. Информация об использовании почв, внесенных в

ЕГРПР в распашку, была получена с карты распашанности почв России [16].

Использовался архив ежедневных метеорологических данных с 2010 по 2020 г., созданный специалистами NASA (США). Данные представляют собой результаты глобального моделирования метеопараметров и представлены в виде сетки с шагом 10 км (<https://www.nasa.gov/langley>).

Также использовали цифровую карту рельефа России, которая является сопутствующей картой ЕГРПР и создана в едином с ним ключе [4]. Каждый выдел карты охарактеризован наименованием класса рельефа, преобладающими уклонами и экспозицией склонов, а также выраженностью специфических форм мезорельефа. На основе данной карты в ГИС были определены регионы с преобладанием разных уклонов местности и экспозиции склонов.

Дополнительно в ГИС создана карта административных выделов Нечерноземной зоны России, на примере которой демонстрировались излагаемые в статье идеи.

Геоинформационный анализ проведен с использованием пакета прикладных программ ГИС ILWIS v.3.31 (<https://www.itc.nl/ilwis/download/ilwis33/>).

Последовательность анализа данных представлена на рисунке 1.

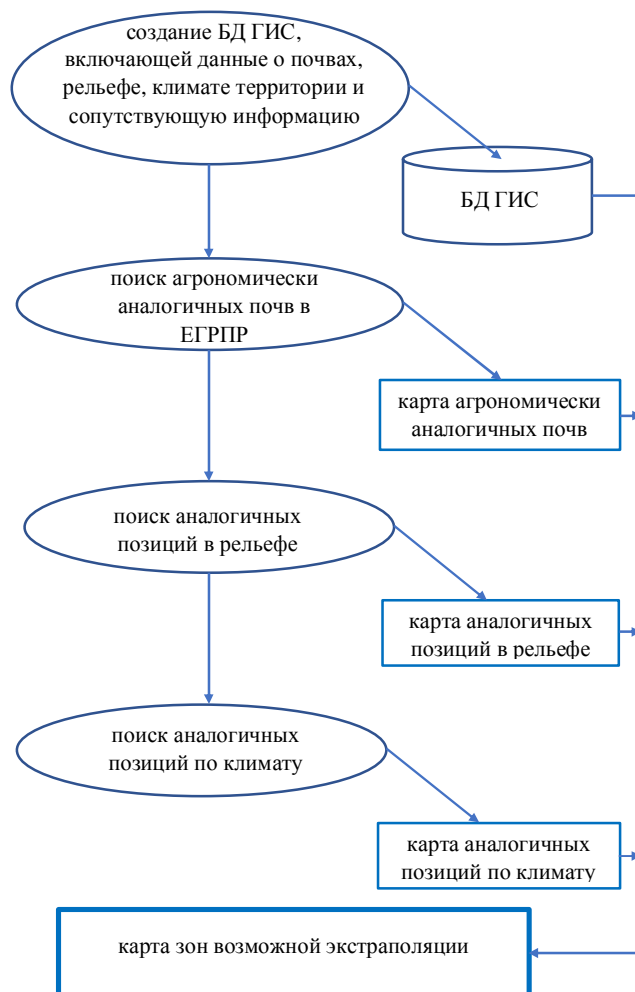


Рис. 1. Последовательность анализа данных

На первом этапе создается база данных ГИС, включающая всю информацию, необходимую для анализа. После этого в геометрической части БД ЕГРП выделяют почвы, аналогичные по своим агрономически важным свойствам, почвам, которые преобладают на тестовых полях опытов с удобрениями. На следующем этапе ведут поиск положений в рельефе, аналогичных тем, на которых проводится опыт с учетом уклона местности и экспозиции склона. Затем то же самое делают и для климатических данных: осуществляют поиск территорий, которые по агроклиматическим параметрам аналогичны территории проведения опыта. Набор агроклиматических параметров определяют исходя из перечня анализируемых культур. Анализ проводят по средним данным за последние 10 лет.

После этого в ГИС картах аналогов почв, рельефа и климата выделяются зоны, которые по почвам, рельефу и климату аналогичны территории расположения опытных участков.

Именно эти зоны и рассматривают в качестве территорий, на которые можно распространять результаты испытания удобрений, полученные в конкретных опытах.

**Результаты и их обсуждение.** Практическая значимость любого опыта (в том числе с удобрениями) зависит в первую очередь от того, где его результаты можно использовать, т.е., от возможности экстраполяции результатов на другие территории. Анализ научной литературы и защищаемых диссертаций в области агрохимии показывает, что в большинстве случаев авторы указывают на возможность экстраполяции установленных закономерностей на тот регион, где расположены тестовые участки (см. например, [3]) или на природную зону, или провинцию [1], или на конкретную почву [20].

Зональный принцип экстраполяции результатов опытов с удобрениями заложен и в Геосети [14], что связано с ориентацией этой сети на удовлетворение потребностей бывших колхозов и совхозов, которые вели хозяйство в рамках зональных систем земледелия и агротехнологий [11].

Бурное развитие во второй половине 20 в. почвоведения, агрометеорологии, агрономии привело к пониманию того, что рекомендации зональных систем земледелия могут быть существенно детализированы и конкретизированы на базе учения о структуре почвенного покрова [19], а также достижений в области изучения микроклимата полей [15]. Впоследствии эти достижения привели к заложению основ адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) [9]. Внедрение АЛСЗ позволило учитывать более детально местные условия, а не только особенности на уровне природных зон.

В рамках АЛСЗ с учетом специфики ландшафтных неоднородностей разрабатываются рекомендации по оптимальному использованию земельных участков. При типизации участков учитывают и структуру почвенного покрова и микронеднородности рельефа и климата [7].

Потребность в учете микронеднородностей полей отразилась в конце 20 в. на появлении и внедрении систем точного земледелия [21].

Таким образом, в настоящее время очевидно, что агротехнологии, в том числе системы удобрения, должны быть локально адаптированными. А это означает, что

должны быть локально адаптированы и опыты с удобрениями.

Рост растений обусловлен такими факторами как почвенные условия (включая доступность питательных элементов), климат и рельеф, как вторичный фактор, предопределяющий микроклимат и почвенные условия и процессы, а также особенности агротехнологий [10]. Поэтому специфика поведения удобрений и их эффективность также предопределяются почвенными условиями, климатом и типом возделываемых растений.

Исходя из этого следует, что результаты любого полевого опыта с удобрениями и разработанные на его основе рекомендации могут быть экстраполированы лишь на территории со схожими условиями по почвам, рельефу и климату. Причем эта «схожесть» должна опираться не на названия почв в каких-либо классификациях или на общеклиматические показатели, а учитывать экологические требования анализируемой сельскохозяйственной культуры.

Так, например, согласно данным специалистов ФАО, перечень свойств земель (почв, климата и рельефа), которые оказывают влияние на рост картофеля выглядит следующим образом [22]:

1. Уклон местности.
  2. Экспозиция склона.
  3. Дренажность почв.
  4. Присутствие паводков и их продолжительность.
  5. Гранулометрический состав пахотного горизонта почв.
  6. Содержание включений в пахотном горизонте.
  7. Содержание включений в подпахотном горизонте.
  8. Мощность мелкоземистой толщи почвы.
  9. Содержание карбонатов кальция в корнеобитаемом слое почвы.
  10. Содержание гипса в корнеобитаемом слое почвы.
  11. Емкость катионного обмена в корнеобитаемом слое почвы.
  12. Насыщенность основаниями в корнеобитаемом слое почвы.
  13. Величина pH в корнеобитаемом слое почвы.
  14. Содержание гумуса в корнеобитаемом слое почвы.
  15. Содержание водорастворимых солей в корнеобитаемом слое почвы.
  16. Содержание поглощенного натрия в корнеобитаемом слое почвы.
  17. Уровень залегания грунтовых вод.
  18. Количество атмосферных осадков за первый месяц роста культуры.
  19. Количество атмосферных осадков за второй месяц роста культуры.
  20. Количество атмосферных осадков за третий месяц роста культуры.
  21. Средняя температура воздуха за сезон вегетации.
  22. Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за первый месяц роста культуры.
  23. Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за 2- и 3-й месяцы роста.
  24. Средняя разница температуры воздуха день-ночь за весь сезон роста.
  25. Средняя длина светового дня за сезон вегетации.
- Аналогичный список для ярового ячменя включает такие же параметры.

Из этого следует, что для каждой культуры поиск территорий, куда можно было бы экстраполировать результаты полевых опытов с удобрениями, должен проводиться отдельно. Также это означает, что, например, опытные поля Геосети для разных культур могут быть репрезентативны на разных территориях.

Этот подход предлагаем использовать в качестве основы для определения территорий, на которые могут быть экстраполированы рекомендации, полученные по результатам полевых опытов с удобрениями.

Таким образом, для того, чтобы понять насколько тестовые поля представительны для какой-то территории, надо провести геоинформационный анализ, последовательность которого была показана на рисунке 1.

В качестве примера приведем результаты подобного анализа для тестовых полей ВНИИМЗ. Проведен анализ возможностей экстраполяции опытов для картофеля и ярового ячменя. Результаты представлены на рисунке 2.

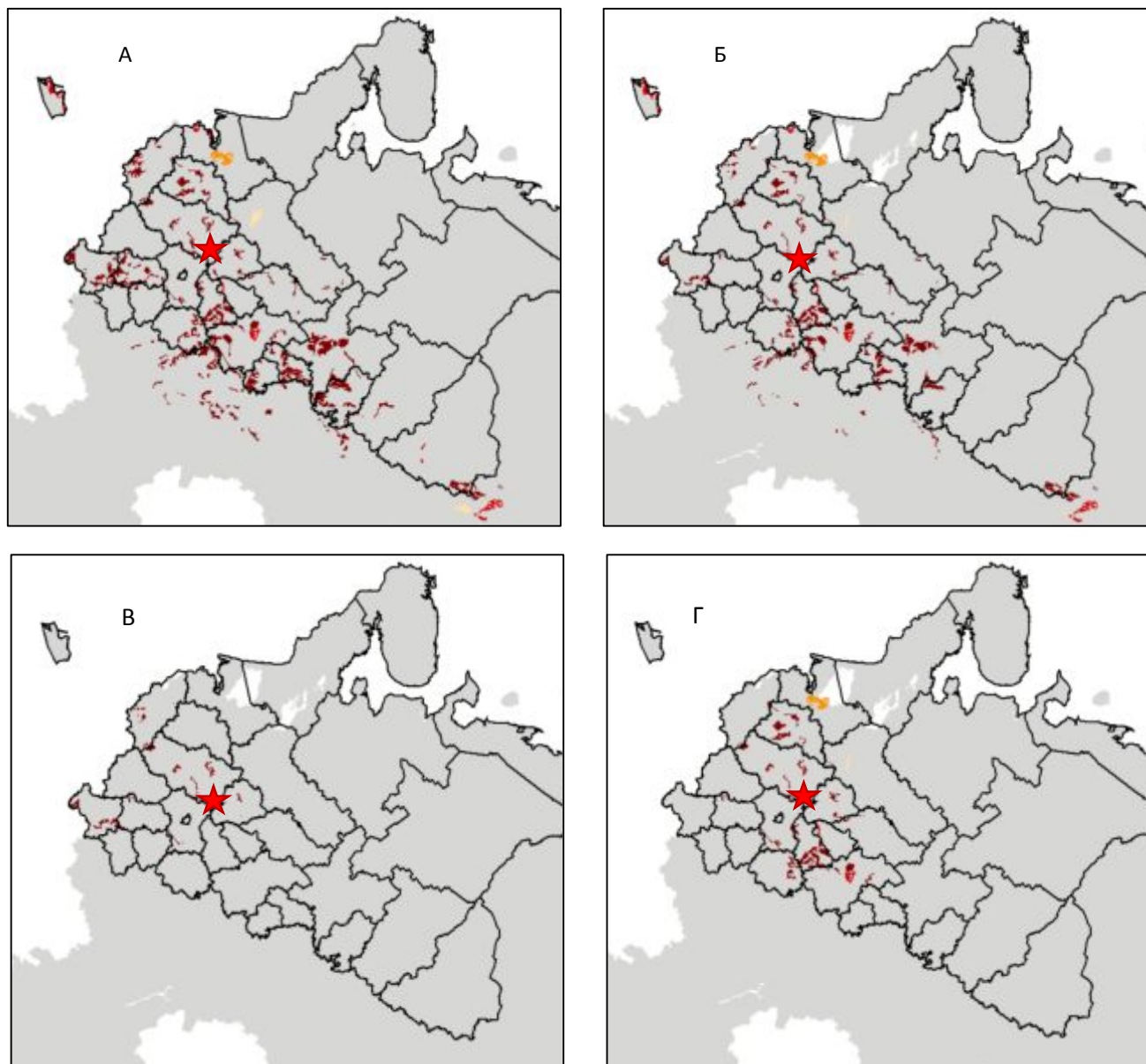


Рис. 2. Результаты моделирования зон экстраполяции:

А – только с учетом почв; Б – с учетом почв и рельефа; В – с учетом почв, рельефа и климата для картофеля; Г – с учетом почв, рельефа и климата для ярового ячменя; красной звездочкой отмечено место расположения опытных полей

Полученные результаты свидетельствуют о том, что, согласно данным ЕГРПР, аналогичные опытным полям почвы в Нечерноземной зоне России занимают лишь около 20% пахотного участка (рис. 2А). Из них около половины нерепрезентативны по условиям рельефа (рис. 2Б) и только около 10% – репрезентативны по климату для картофеля и около 30% – для ячменя.

Таким образом, данные, получаемые на рассматриваемых опытных полях, репрезентативны в Нечерноземной зоне лишь для 360 тыс. га для картофеля, и для

1,1 млн га для ярового ячменя, что составляет очень небольшую долю от общей площади пашни в Нечерноземье. Всего сельскохозяйственных земель в Нечерноземье по данным [8] около 37 млн га.

Из этого следует, что результаты, полученные на опытных полях ВНИИМЗ, не могут быть распространены на всю территорию Нечерноземья, а только на отдельные участки, показанные в виде карты на рисунке 2 В и Г.



Теоретически подобные исследования должны сопровождать все опыты с удобрениями, проводимые в стране (включая опыты НИИ и ВУЗов). Это может существенно повысить практическую значимость получаемых результатов и рекомендаций.

Именно набор подобных пространственных экстраполяционных моделей в перспективе может заменить

до сих пор используемые для этих целей карты почвенно-географические и почвенно-сельскохозяйственного районирования [2,18], что давно морально устарело и нуждается в модернизации.

На рисунке 3 представлено распространение пахотных почв на территории исследований [16].

На рисунке 4 показаны опытные делянки в Эммаусе.

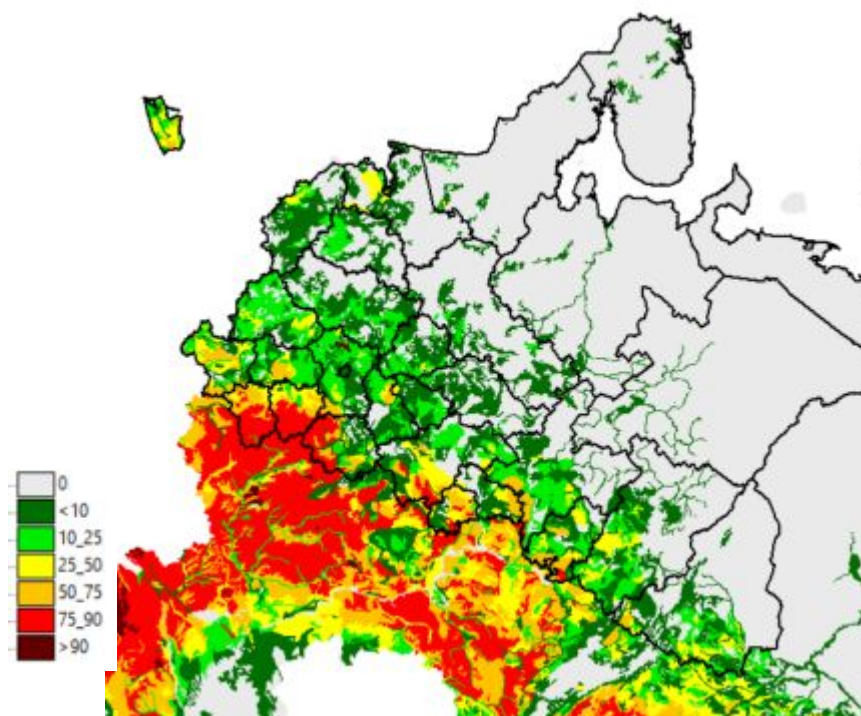


Рис. 3. Доля пахотных почв (%) в выделах ЕГРПР (включая заброшенные) (черные линии – границы областей Нечерноземной зоны России, красной звездочкой отмечено место расположения опытных полей)



Рис. 4. Опытные делянки в Эммаусе



Рис. 5. Опытное поле в Эммаусе весной, снятое с БПЛА

**Выводы.** Предложен подход к пространственному моделированию зон экстраполяции результатов поле-

вых опытов с удобрениями и рекомендациями по применению удобрений.

Апробация подхода на примере тестовых полей ВНИИМЗ показала, что результаты опытов на этих полях могут считаться представительными лишь для небольшой территории Нечерноземной зоны России. Причем площадь, на которую результаты могут быть экстраполированы, зависит от типа сельскохозяйственной культуры, для которой проводятся опыты.

Подобные исследования необходимо проводить для всех полевых опытов с удобрениями с целью определения возможности их использования на других полях.

#### Литература

1. Бортник Т.Ю. Агрохимические основы воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв и повышения продуктивности агроценозов в Вятско-Камской земледельческой провинции. Автореф. д.с.-х.н., 2019. – 49с.
2. Гайдамака Е.И., Розов Н.Н., Шашко Д.И., Бондарчук Н.П., Булгаков Д.С., Вадковская Н.Н., Важов В.И., Газизов Ю.А., Глушкова М.И., Добровольский Г. В., Жуков В.М., Каменецкая Ф.Н., Карманов И.И., Колосовская В.Н., Лойко П.Ф., Назирова Б.Т., Норкина Т.Е., Носов С.И., Покровская Н.Д., Сенин А.И., Сотников В.П., Урусевская И.С., Федорин Ю.В., Фриев Т.А., Шувалов С.А., Ямпольская Е.М. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР. – М.: Колос, 1983. – 336 с.
3. Гречишкина Ю.И. Сохранение и воспроизводство плодородия чернозёмных почв для повышения продуктивности агроценозов Центрального Предкавказья. Автореф. д.с.-х.н., 2020. – 48с.
4. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. – 768 с.
5. Иванов А.Л., Кирюшин В.И., Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Столбовой В.С. Анализ земельной реформы и агропромышленного производства за четверть века. Почвенно-экологические, технологические институциональные и инфраструктурные аспекты модернизации. Земельная служба (доклад). – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2016. – 93 с.
6. Иванов А.Л., Козубенко И.С., Савин И.Ю., Кирюшин В.И. Цифровое земледелие // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 5. – С. 4-9.
7. Кауричев И.С., Романова Т.А., Сорокина Н.П. Структура почвенного покрова и типизация земель. – М., 1992. – 152 с.
8. Кирейчева Л.В., Шевченко В.А. Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления по-

вышения плодородия почв // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2020. – №2. – С. 12-16.

9. Кирюшин В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия – М., 1993. – 64 с.
10. Кирюшин В.И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов. – Санкт-Петербург: Квадро, 2018. – 567с.
11. Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство/ Под ред. В.С. Никляева. – М.: Былина, 2000. – 555 с.
12. Прянишников Д.Н. К вопросу о химизации нашего земледелия. Избр. соч. Т.4. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 503 с.
13. Романенков В.А. Агрохимические опыты в системе исследований Геосети: прошлое, настоящее и будущее // Известия ТСХА. – 2012. – Вып. 3. – С.54-61.
14. Романенков В.А., Шевцова Л.К. Длительные опыты Геосети в современных и перспективных агрохимических и агроландшафтных исследованиях // Агрохимия. – 2014. – № 11. – С. 3-14.
15. Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 280 с.
16. Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконова Е.А. Карта распаханности почв России// Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2018. – (94). – С. 38-56. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56>.
17. Сычёв В.Г., Романенков В.А., Шевцова Л.К., Рухович О.В. Современные направления исследований и результаты длительных полевых опытов Геосети // Плодородие. – 2014. – №5. – С.2-5.
18. Урусевская И.С., Алябина И.О., Шоба С.А. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации масштаба 1:8 000 000, 2019.
19. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова мира. – М.: Мысль, 1984. – 235 с.
20. Хисматуллин М.М. Оптимизация фонов питания райграсовых агроценозов на серых лесных почвах Среднего Поволжья. Автореф. д.с.-х.н. 2019. – 50 с.
21. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.
22. Framework for Land Evaluation. – FAO, 1976. – 28p.
23. Macholdt J., Styczen M. E., Macdonald A. J., Piepho H-P., Honermeier B. Long-term analysis from a cropping system perspective. Yield stability, environmental adaptability, and production risk of winter barley. European Journal of Agronomy. 2020. 117, p. 126056. doi:10.1016/j.eja.2020.126056
24. Rothamsted Long-term Experiments (2018 – reprinted 2019) Guide To The Classical And Other Long-Term Experiments, Datasets And Sample Archive, pp -1 – 58 – DOI: <https://doi.org/10.23637/ROTHAMSTED-LONG-TERM-EXPERIMENTS-GUIDE-2018>.

## REPRESENTATIVENESS OF TEST FIELDS FOR EXPERIMENTS WITH FERTILIZERS

I.Yu. Savin

Federal research center "V.V. Dokuchaev Soil Institute", Pyzhevsky per. 7 bldg. 2, 119017 Moscow, Russia,  
e-mail: [savin\\_iyu@esoil.ru](mailto:savin_iyu@esoil.ru)

The results of field experiments with fertilizers are the basis for the development of recommendations on their use. Approaches to extrapolation of the results of experiments on specific plots are still based in Russia on the principles of zonal farming systems, which needs to be modernized. A new approach based on spatial (geoinformation) modeling, taking into account agronomically important properties of soils, topography, and climate, is proposed to assess the representativeness of the results obtained on the experimental fields. Testing the proposed approach on the example of experimental fields of VNIIMZ (Emmaus, Tver region, Russia) showed its prospects. Using the proposed approach for other experiments and crops will completely modernize the traditional approaches and increase the effectiveness of practical recommendations proposed on the basis of field experiments with fertilizers.

Key words: experiments with fertilizers, extrapolation of experiment results, geoinformation modeling.