



Общее земледелие Land management

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-4-362-369
УДК 633:631.4

Обзорная статья / Review article

Пространственная адаптация систем земледелия к пестроте полей

И.Ю. Савин 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация,
ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация,
Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
г. Белгород, Российская Федерация
✉ savin_iyu@esoil.ru

Аннотация. Проведен анализ проблемы полноты эксплуатации ресурсного потенциала земель при их использовании в качестве пахотных угодий. Рассмотрена полнота использования ресурсного потенциала в разных системах земледелия. Установлено, что на современном этапе развития систем земледелия наиболее успешно пестрота почв и земель и, соответственно, их ресурсный потенциал, учитываются в адаптивно-ландшафтных системах земледелия и системах точного земледелия. В будущем, без сомнения, стоимость внедрения систем точного земледелия будет уменьшаться за счет удешевления технических средств. Но без внедрения в идеологию систем точного земледелия научно-методического обоснования учета пестроты почв и земель участков (как это делается в адаптивно-ландшафтных системах земледелия), а не только неоднородностей самих посевов, повышение полноты использования ресурсного потенциала земель вряд ли может быть достигнуто. Другим важным направлением повышения полноты использования ресурсного потенциала земель являются развитие нового научного направления — эконики и разработка технологий выравнивания пестроты полей. Но развитие этих направлений находится в самом начале.

Ключевые слова: структура почвенного покрова, точное земледелие, адаптивно-ландшафтное земледелие, ресурсный потенциал земель

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 20-67-46017.

© Савин И.Ю., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

История статьи: поступила в редакцию 11 марта 2021 г.; принята к публикации 24 мая 2021 г.

Для цитирования: Савин И.Ю. Пространственная адаптация систем земледелия к пестроте полей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 4. С. 362—369. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-362-369

The spatial adaptation of farming systems to the heterogeneity of plots

Igor Yu. Savin 

RUDN University, *Moscow, Russian Federation*
Dokuchaev Soil Science Institute, *Moscow, Russian Federation*
Belgorod State University, *Belgorod, Russian Federation*

✉ savin_iyu@esoil.ru

Abstract. The full exploitation of the resource potential of arable lands was analyzed in the research. The problem of completeness of the use in different farming systems was considered. It was found that at the current stage of development of farming systems, the diversity of soils and lands and, accordingly, their resource potential were most successfully incorporated in adaptive-landscape farming systems and precision farming systems. Undoubtedly, the cost of precision farming systems will decrease in the future due to the cheapening of technical means. But without introducing scientific and methodological justification for accounting of diversity of soils and land plots (as in adaptive-landscape farming systems) and heterogeneity of crops into precision farming systems, increasing the completeness of land resource potential cannot be achieved. Another important direction to improve the full use of the land resource potential is the development of a new scientific direction — Econics, and the development of technologies for leveling the heterogeneity of fields. But these directions are at the very beginning of their development.

Key words: soil patterns, precise agriculture, landscape-adaptive farming systems, land resource potential

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 11 March 2021. Accepted: 24 May 2021.

Acknowledgments. The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 20-67-46017.

For citation: Savin IY. The spatial adaptation of farming systems to the heterogeneity of plots. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(4)362—369. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-362-369

Введение

Под системой земледелия понимают комплекс связанных друг с другом мероприятий для производства растениеводческой продукции. Причем этот комплекс должен быть направлен не только на максимизацию выхода продукции, но также и на рационализацию использования земель и производительных сил [1].

В идеале чем более полно и рационально система земледелия использует ресурсный потенциал земель, тем она более экономически эффективна и экологически безопасна.

Под ресурсным потенциалом земель понимаются потенциальные возможности их использования в том или ином качестве [2]. Он определяется свойствами (с учетом пространственного варьирования) рельефа, почв и климатических условий земельного участка или какой-либо территории. В большинстве случаев рельеф, почвы и климат земельных участков, используемых для возделывания растениеводческой продукции, пространственно неоднородны. Так, например, агрономически важные свойства почв могут изменяться в пространстве на расстоянии в метры и десятки сантиметров [3]. Практически все поля обладают микрорельефом с неоднородностями в метры и десятки метров [4, 5]. Это, наряду с другими факторами (например, близость лесополос или водных объектов), часто обуславливает присутствие на полях микроклиматических зон, пространственный размер которых также может иметь десятки метров [6].

В результате землепользователь сталкивается с ситуацией, когда на его земельных участках существует достаточно большая пестрота свойств почв, климата и рельефа (далее — пестрота полей). Теоретически, мероприятия для каждого из однородных (точнее, псевдооднородных) выделов этой пестроты в идеале должны быть разными. Только в этом случае ресурсный потенциал земельного участка будет использоваться максимально полно. Но на практике реализовать это невозможно по разным причинам.

Ретроспективный анализ и сравнение полноты использования ресурсного потенциала земель в современных системах земледелия

Во времена до возникновения почвоведения как науки землепользователи практически не имели точной информации о пространственном варьировании потенциального плодородия земель их участков и достаточных знаний о влиянии разных факторов на урожайность сельскохозяйственных культур. Поэтому пестрота земельных участков при возделывании сельскохозяйственных культур очень редко принималась во внимание, и культура возделывалась без ее учета. Основным критерием была практика. Если на каком-то участке культура не давала урожая, то она на нем больше не возделывалась.

После земельно-оценочных работ В.В. Докучаева в конце девятнадцатого века [7] при планировании систем земледелия стали учитывать и неоднородности почвенного покрова, но в основном на уровне почвенных зон и провинций, без учета микронеоднородностей земель конкретных участков.

В начале XX в., при переходе к административно-централизованной системе хозяйствования и появлении крупной сельскохозяйственной техники в стране, неоднородности свойств земель стали учитываться более полно, но все еще не на микроуровне. В это время разрабатывались системы земледелия, ориентированные на крупные земельные участки, но по сути они оставались зональными.

Лишь со второй половины XX в. все большее внимание стали обращать на пестроту полей. Появилось учение о структуре почвенного покрова [3], а также работы по изучению микроклимата полей [8]. В результате этих исследований

было установлено, что без учета микронеоднородностей рельефа, почв и климата полностью использовать ресурсный потенциал земель не удастся.

Именно эти научные достижения во многом послужили основой для создания теории адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ) [9], которая подразумевала более полный по сравнению с зональными системами, учет пестроты полей. Внедрение АЛСЗ явилось революционным шагом в повышении полноты использования ресурсного потенциала земель в сельском хозяйстве, но так и не позволило эксплуатировать его целиком.

В рамках АЛСЗ на основе информации о рельефе и почвах выделяются квазиоднородные участки, которые типизируются по тем неоднородностям, которые в них встречаются. И с учетом специфики этих неоднородностей для каждого типа участка разрабатываются рекомендации по их оптимальному использованию. При типизации участков опираются на информацию о структуре почвенного покрова [10]. Рекомендации разрабатываются под использование конкретных технических средств, которые не работают на микроуровне. Таким образом, фактически микронеоднородности полей определенным образом классифицируются и каждому классу разрабатывается свой набор рекомендаций по использованию земель. При этом учитывается практически весь набор свойств почв, который может оказывать влияние на возделывание сельскохозяйственных культур (включая свойства всего профиля почв, уровня и химического состава грунтовых вод). По полноте учета свойств почв и микрорельефа АЛСЗ не имеет конкурентов в мире. Но при этом работа в рамках АЛСЗ не ведется на уровне элементарных почвенных выделов, а на уровне их ассоциаций, т.е. структуры почвенного покрова.

Следующим шагом в направлении повышения полноты использования ресурсного потенциала земель при возделывании сельскохозяйственных культур послужили разработки в области научного обоснования систем точного земледелия [11]. Их возникновение в конце XX в. было обусловлено появлением технических возможностей точного, оперативного и дешевого определения географических координат на местности, а также созданием сельскохозяйственной техники, способной выполнять агротехнические операции по заданным координатам с точностью в несколько метров. Это позволило учитывать микронеоднородности почв на уровне элементарных почвенных ареалов, что в рамках АЛСЗ в большинстве случаев не делается.

Но практика показала, что внедрение систем точного земледелия также не позволяет полностью эксплуатировать ресурсный потенциал земель. Связано это со следующим.

В рамках систем точного земледелия в большинстве случаев речь идет лишь о точном внесении удобрений (реже о точном орошении). В офлайн системах перед внесением удобрений оценивается содержание питательных веществ в почвах традиционными способами или на основе дистанционной оценки состояния посевов. По полученным данным в ГИС составляется карта потребности во внесении удобрений. Эта карта подгружается в бортовой компьютер сельхозтехники, и удобрения вносятся локально на основе этой карты. В онлайн системах точного

земледелия речь идет лишь о том, что с использованием дистанционных датчиков, определяющих состояние посевов, определяются участки, где состояние хуже, чем должно быть в конкретную фазу развития растений, и сразу же на эти участки вносятся дополнительные удобрения. Аналогично работают системы и при регулировании орошения.

Таким образом, в системах точного земледелия речь идет лишь о регулировании отдельных свойств почв. В большинстве случаев о содержании доступного азота и о содержании влаги в почвах. Поэтому основные датчики, используемые в системах точного земледелия, — это N-тестеры, функционирующие на анализе светоотражения посевов, а также датчики, измеряющие электропроводность пахотного горизонта почв [12]. Экспериментально используются также датчики плотности пахотного горизонта почв [13].

Следовательно, в системах точного земледелия упор сделан не на учет пестроты почв рабочих участков и адаптации к ним, а на попытки выровнять эту пестроту, полностью удалить ее влияние. Причем иногда для этого прибегают даже к полной планировке участков с целью удаления микрорельефа¹. Но таким образом нельзя удалить пестроту почвенного покрова, можно лишь еще больше ее контрастировать.

В отдельных случаях декларируются планы при накоплении многолетних данных при использовании систем точного земледелия обобщить их и выделить зоны на полях, где неоднородности рельефа, почв и микроклимата влияют всегда, чтобы впоследствии учитывать присутствие подобных зон на постоянной основе [14]. Но эту идею вряд ли можно считать выполнимой на практике. Неоднородности посевов могут быть обусловлены очень многими факторами, которые по-разному влияют для разных культур в разные фазы развития в разных метеорологических условиях на разном почвенном фоне. Попытки накопления подобных данных в течение длительного времени приведут к тому, что за это время уже произойдет смена сортов возделываемых культур и севооборотов и ранее накопленные данные станут неприменимы к этим новым сортам и севооборотам. В результате поставленная задача окажется невыполнимой.

Таким образом, если в АЛСЗ учитывается весь набор свойств почв и земель, предопределяющих рост растений и их возделывание, то в системах точного земледелия учитываются лишь некоторые из них. АЛСЗ опираются на весь багаж накопленных знаний в области почвоведения и земледелия, в то время как системы точного земледелия этот научный опыт практически не принимают во внимание. Адаптация к ландшафтным условиям в системах точного земледелия отсутствует, так как опора делается на анализ тех пространственных неоднородностей, которые проявляются по ходу конкретного вегетационного сезона.

АЛСЗ и системы точного земледелия отличаются также ориентацией на определенный масштаб. Если АЛСЗ оптимальны для внедрения на относительно больших площадях (порядка нескольких тысяч гектар), то для систем точного земледелия оптимальными для внедрения являются отдельные поля. Соответственно,

¹ Даренских С. Планировка полей с системой Trimble Field Level II // ГлавПахарь. Режим доступа: <https://glavpahar.ru/articles/planirovka-poley-s-sistemoy-trimble-field-level-ii>

сельскохозяйственная техника для АЛСЗ не предназначена для учета локальных внутривосходов неоднородностей, а техника для систем точного земледелия, наоборот, наиболее эффективна для их учета. Одновременно она гораздо дороже, и эти вложения часто значительно превышают получаемые преимущества учета неоднородностей отдельных полей на многие годы вперед.

Выводы

Следовательно, на современном этапе развития систем земледелия пестроты почв и земель и, соответственно, их ресурсный потенциал, наиболее полно учитываются в АЛСЗ и системах точного земледелия. В будущем, без сомнения, стоимость внедрения систем точного земледелия будет уменьшаться за счет удешевления технических средств. Но без внедрения в идеологию систем точного земледелия научно-методического обоснования учета пестроты почв и земель участков (как это делается в АЛСЗ), а не только неоднородностей самих посевов, повышение полноты использования ресурсного потенциала земель вряд ли может быть достигнуто.

Другим важным направлением повышения полноты использования ресурсного потенциала земель является развитие нового научного направления — эконики, в рамках которого планируется создание новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, которые могут быть адаптированы к отдельным пространственным компонентам пестроты полей (локально лимитирующим рост сельскохозяйственных растений).

Также теоретически можно рассуждать о полной нивелировке пестроты полей. Кроме выравнивания микрорельефа могут быть выравнены и агрономически значимые свойства почв путем создания на больших площадях искусственных плодородных грунтов, как это делается, например, в настоящее время в теплицах и на отдельных дачных участках населения. Но подобные изменения вряд ли можно ожидать на больших территориях в ближайшие десятилетия.

Библиографический список

1. *Афанасьев Р.А.* Системы земледелия // Большая российская энциклопедия. Т. 30. М., 2015. С. 302—303.
2. *Савин И.Ю.* Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий: автореф. дисс. ... д-ра сельскохозяйственных наук. М.: Почвенный институт, 2004. 47 с.
3. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984. 235 с.
4. *Eltner A., Maasa H.-G., Faus D.* Soil micro-topography change detection at hillslopes in fragile Mediterranean landscapes // *Geoderma*. 2018. Vol. 313. Pp. 217—232. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.10.034
5. *Минаев Н.В., Никитин А.А., Козлов Д.Н.* Идентификация масштабных уровней организации рельефа пашни // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. № 96. С. 3—21. doi: 10.19047/0136-1694-2019-96-3-21
6. *Gillingham P.* The relative importance of microclimate and land use to biodiversity. University of York, Department of Biology, September, 2010. 168 p.
7. *Докучаев В.В., Никитин С.Н., Костычев П.А.* Обсуждение вопроса об организации почвенного исследования в России. СПб.: тип. А. Якобсона, 1887. 53 с.

8. Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 280 с.
9. Кирюшин В.И. Концепция адаптивно-ландшафтного земледелия. М., 1993. 64 с.
10. Кауричев И.С., Романова Т.А., Сорокина Н.П. Структура почвенного покрова и типизация земель. М., 1992. 152 с.
11. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.
12. Sophocleous M., Georgiou J. Precision agriculture: Challenges in sensors and electronics for real-time soil and plant monitoring // 2017 IEEE Biomed. Circuits Syst. Conf. 2017. Pp. 1—4. doi: 10.1109/BIOCAS.2017.8325180
13. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Буклагин Д.С., Гольтяпин В.Я., Голубев И.Г. Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 316 с.
14. Рухович А.Д., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Петухов Д.А., Рухович Д.И. Сравнительный анализ информативности вегетационных индексов и измерений урожайности сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия // XIX Междунар. науч.-междисциплинар. конф. SGEM Geo & Экспо 2019 (28 июня — 7 июля). Болгария, Албена: SGEM Organizing Team, 2019. С. 501—508.

References

1. Afanasyev RA. Farming systems. In: *Bol'shaya rossiiskaya entsiklopediya*. Т. 30. Moscow; 2015. p.302—303. (In Russ.).
2. Savin IY. *Analiz pochvennykh resursov na osnove geoinformatsionnykh tekhnologii* [Analysis of soil resources based on geoinformation technologies] [Dissertation]. Moscow; 2004. (In Russ.).
3. Fridland VM. *Struktura pochvennogo pokrova mira* [Structure of soil cover of the world]. Moscow: Mysl publ.; 1984. (In Russ.).
4. Eltnera A, Maasa HG, Faus D. Soil micro-topography change detection at hillslopes in fragile Mediterranean landscapes. *Geoderma*. 2018; 313:217—232. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.10.034
5. Minaev NV, Nikitin AA, Kozlov DN. The scale levels identification for the plowland topography organization. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2019;(96):3—21. (In Russ.). doi: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-3-21>
6. Gillingham P. *The relative importance of microclimate and land use to biodiversity* [Dissertation]. University of York; 2010.
7. Dokuchaev VV, Nikitin SN, Kostychev PA. *Obsuzhdenie voprosa ob organizatsii pochvennogo issledovaniya v Rossii* [Discussion of the issue of organizing soil research in Russia]. Saint Petersburg: Yakobson publ.; 1887. (In Russ.).
8. Romanova EN. *Mikroklimaticheskaya izmenchivost' osnovnykh elementov klimata* [Microclimatic variability of the main elements of the climate]. Leningrad: Gidrometeoizdat publ.; 1977. (In Russ.).
9. Kiryushin VI. *Kontseptsiya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya* [The concept of adaptive landscape farming]. Moscow; 1993. (In Russ.).
10. Kaurichev IS, Romanova TA, Sorokina NP. *Struktura pochvennogo pokrova i ti-pizatsiya zemel'* [Soil cover structure and land typification]. Moskva; 1992. (In Russ.).
11. Yakushev VV. *Tochnoe zemledelie: teoriya i praktika* [Precision farming: theory and practice]. Saint Petersburg: FGBNU AFI publ.; 2016. (In Russ.).
12. Sophocleous M, Georgiou J. Precision agriculture: Challenges in sensors and electronics for real-time soil and plant monitoring. In: *2017 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*. 2017. p.1—4. doi: <https://doi.org/10.1109/BIOCAS.2017.8325180>
13. Fedorenko VF, Mishurov NP, Buklagin DS, Golytshin VY, Golubev IG. *Tsifrovoe sel'skoe khozyaistvo: sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Digital agriculture: state and development prospects]. Moscow: Rosinformagrotekh publ.; 2019. (In Russ.).
14. Rukhovich AD, Vilchevskaya EV, Kalinina NV, Petukhov DA, Rukhovich DI. Comparative analysis of the information content of vegetation indices and measurements of crop yields in the system of precision agriculture. In: *SGEM Geo & Ekspo 2019 conference proceedings*. Bulgaria, Albena: SGEM Organizing Team publ.; 2019. p.501—508. (In Russ.).

Об авторе:

Савин Игорь Юрьевич — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор, Экологический факультет, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; заместитель директора ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Российская Федерация, 109017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2; профессор, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Российская Федерация, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85; e-mail: savin_iyu@esoil.ru
ORCID 0000-0002-8739-5441
SPIN-код: 5132-0631

About the author:

Savin Igor Yurievich — Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Faculty of Ecology, Peoples' Friendship University of Russia, Russian Federation, 8 Miklukho-Maklaya st. Moscow, 117198, Russian Federation; Deputy Director, Federal Research Center — Dokuchaev Soil Science Institute, 7/2 Pyzhevsky line, Moscow, 109017, Russian Federation; Professor, Belgorod State University, 85 Pobedy st., Belgorod, 308015, Russian Federation; e-mail: sav-in_iyu@esoil.ru
ORCID 0000-0002-8739-5441
SPIN: 5132-0631