

УДК 631.421

DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-5-18



Ссылки для цитирования:

Савин И.Ю. Пространственные аспекты прикладного почвоведения // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 5-18. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-5-18

Cite this article as:

Savin I.Yu., Spatial aspects of applied Soil Science, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 101, pp. 5-18, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-5-18

Благодарность:

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-016-00052) и гранта Минобрнауки России (соглашение № 05.607.21.0302).

Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) (grant No. 18-016-00052) and in the framework of the grant project of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (agreement No. 05.607.21.0302).

Пространственные аспекты прикладного почвоведения

© 2020 г. И. Ю. Савин

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжневский пер, 7, стр. 2.*

*Аграрно-технологический институт РУДН, Россия,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6,*

<http://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_ivu@esoil.ru.

*Поступила в редакцию 10.02.2020, после доработки 11.02.2020,
принята к публикации 04.03.2020*

Резюме: Проведен анализ особенностей прикладного использования почвенных данных. Показано, что для решения большинства практических задач требуется пространственная информация о почвах и их свойствах. В связи с этим почвенная карта является своеобразным интерфейсом между теоретическим и прикладным почвоведением. Выявлены недостатки и ограничения современных почвенных карт, которые существенно снижают возможности их практического использования. Проведен анализ возможных путей преодоления выявленных ограничений. Установлено, что повышение практической

значимости почвоведения в настоящее время невозможно как без технологической модернизации почвенного картографирования, так и без смысловой, методологической корректировки. Необходим и уже возможен полный переход от традиционных почвенных карт к пиксельным пространственным почвенным базам данных. Информационная нагрузка и точность почвенных карт может и должна быть увеличена за счет перехода от картографирования положения почвы в той или иной классификации на картографирование отдельных сельскохозяйственно значимых свойств почв. Для решения практических сельскохозяйственных задач важно дополнить информацию почвенных карт сведениями о современных процессах, протекающих в почвах, которые могут быть получены на основе пространственного цифрового моделирования.

Ключевые слова: картографирование почв, оценка почв, цифровая почвенная картография, классификация почв.

Spatial aspects of applied Soil Science

I. Yu. Savin

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 2119017, Russian Federation.*

*Agrarian and Technological Institute RUDN,
8/2 Miklukho-Maklaya Str., Moscow 117198, Russian Federation,
<http://orcid.org/0000-0002-8739-5441>, e-mail: savin_iyu@esoil.ru.*

Received 10.02.2020, Revised 11.02.2020, Accepted 04.03.2020

Abstract: The analysis of peculiarities of applied use of soil data has been carried out. It is shown that most of practical tasks require spatial information about soils and their properties. In this regard, a soil map is considered as a kind of interface between theoretical and applied soil science. The disadvantages and limitations of modern soil maps, which significantly reduce the possibility of their practical use, have been revealed. The analysis of possible ways of overcoming the revealed limitations has been carried out. It is established that increase of practical importance of soil science at present is impossible both without technological modernization of soil mapping and without semantic, methodological adjustments. The complete transition from traditional soil maps to pixel spatial soil databases is necessary and already possible. Information load and accuracy of soil maps can and should be increased due to transition from mapping of soil position in one or another classification to mapping of individual, agriculturally important soil properties. In order to solve practical agricultural problems it is important to

complete the information of soil maps with information about modern processes occurring in soils, which can be obtained from spatial digital modeling.

Keywords: soil mapping, soil evaluation, digital soil mapping, soil classification.

ВВЕДЕНИЕ

Почвоведение, как и любая другая естественная наука, имеет большое прикладное значение. Основным приложением почвенных знаний является сельское хозяйство и экология в широком смысле этого термина. Причем значимость достижений почвоведения для решения сельскохозяйственных задач в настоящее время в гораздо большей степени очевидна для общества.

Говоря о практической значимости знаний о почвах в сельском хозяйстве, многие (как обыватели, так и чиновники) под этим понимают агрохимию и мелиорацию земель, а не почвоведение в чисто научном понимании этого термина. Об этом свидетельствует, к примеру, содержание государственных программ повышения плодородия почв, которые проводились в течение десятилетий Минсельхозом России

(<http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102073335&rdk=&backlink=1>;

<http://static.government.ru/media/files/41d49957ae2064e53ee1.pdf>).

Несмотря на это, почвоведение, конечно же, тоже имеет большое прикладное значение в сельскохозяйственном производстве.

Эти три науки (почвоведение, агрохимия и мелиорация земель) имеют, по сути, один объект исследований – почвы, но направлены на получение новых знаний в несколько разных областях. Почвоведение как фундаментальная наука познает почву как особое природное образование, специфику ее образования и жизни (Шоба, 2015). Агрохимия пытается познать особенности поведения в почвах искусственно вносимых в нее химических веществ, включая их поведение в системе почва – растение (Ладонин, 2005). Мелиорация земель нацелена на получение фундаментальных знаний в области изучения реакции почв на направленное антропогенное (преимущественно физическое) воздействие (Кирейчева, 2011).

Прикладное значение почвоведения, агрохимии и мелиорации также в некоторой степени различно.

Почвоведение позволяет решать задачи, связанные с оптимизацией землепользования и повышением его эффективности с точки зрения минимизации процессов деградации и максимизации экономической эффективности. Без почвенных знаний невозможно решать вопросы оптимального размещения посевов и насаждений, вопросы оптимизации использования сельскохозяйственной техники, вопросы оптимизации территориального планирования землепользования, вопросы минимизации экологических рисков при сельскохозяйственном использовании земель, определения потенциальных возможностей использования земель в том или ином качестве ([Кирюшин, 2013](#)).

Основной прикладной задачей агрохимии является научное обоснование обеспечения сельскохозяйственных растений достаточным количеством питательных элементов в течение всего вегетационного периода при минимизации экологических рисков ([Минеев и др., 2017](#)).

Мелиорация почв и земель нацелена на научное обоснование направленного изменения неблагоприятных для сельского хозяйства свойств почв и земель с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур и естественных сельскохозяйственных угодий ([Дубенок и др., 2009](#)).

Анализ перечисленного списка решаемых фундаментальных и практических задач позволяет сделать вывод о том, что решение фундаментальных задач этими науками вполне возможно с использованием даже одного образца почвы, или даже одного педона, но для решения практических сельскохозяйственных задач обязательно необходим учет пространственного варьирования почв и их свойств.

ПРОБЛЕМЫ ТРАДИЦИОННЫХ ПОЧВЕННЫХ КАРТ И ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

Из-за того, что почвы и их свойства в большинстве случаев значительно изменяются в пространстве ([Фридланд, 1972](#)), результаты, полученные на примере одного образца или даже разреза почв, часто не могут быть экстраполированы на территорию

земельного участка, используемого в сельском хозяйстве.

Для решения этой проблемы условно принимается, что экстраполяция почвенных знаний, полученных на уровне образца или разреза почв, может быть осуществлена с использованием почвенной карты ([Савин и др., 2019](#)). То есть, в качестве основополагающей эксплуатируется идея о том, что почвы одного классификационного положения имеют близкие свойства, и в них протекают схожие процессы почвообразования. Поэтому экстраполяция данных, полученных на уровне образца и/или разреза почв с целью их практического использования, осуществляется на основе почвенной карты. Таким образом, почвенная карта (здесь и далее под этим термином имеется в виду традиционная почвенная карта, а не картограммы отдельных свойств почв) выступает в качестве своеобразного интерфейса между фундаментальным и прикладным почвоведением, и от ее качества и информативности зависит успешность практического использования достижений почвоведения в сельском хозяйстве.

Но традиционная почвенная карта не является оптимальным интерфейсом по нескольким причинам.

1. Классификационное положение почв и свойства почв.

На традиционных почвенных картах отображаются выделы почв в терминах определенной классификации почв. Известно, что существует достаточно много классификаций почв, в основе которых заложены разные принципы ([Soil Taxonomy, 1975](#); [Классификация и диагностика..., 1977, 2004](#); [IUSS, 2007](#)). Это означает, что, используя разные классификационные схемы, можно получить различные почвенные карты на одну и ту же территорию. Но гораздо более важное значение имеет то, какие свойства почв и протекающие в них процессы были использованы в той или иной классификации почв в качестве значимых для выделения почв. От этого зависит география каких свойств почв и процессов будет отражена на той или иной почвенной карте. При этом необходимо принимать во внимание, что для решения практических задач в подавляющем большинстве случаев требуется информация об отдельных конкретных свойствах почв. Причем для решения разных задач набор необходимых свойств почв различен и может достигать несколько десятков ([van Diepen et al., 1991](#); [Driessen, Konijn,](#)

[1992](#); [De la Rosa, van Diepen, 2002](#); [Costantini, 2017](#)).

Классификации почв, которые используются в России, позиционируются как “базовые” ([Классификация и диагностика..., 1977](#), [2004](#)). Они классифицируют почвы как естественно-исторические образования, то есть безотносительно целей и задач сельского хозяйства. И подавляющая часть крупномасштабных и среднемасштабных почвенных карт в стране построена на базе именно этих классификаций. Это приводит к тому, что большая часть свойств почв, важных для решения сельскохозяйственных задач, является классификационно незначимыми. Поэтому использование традиционных почвенных карт для экстраполяции значимых для сельского хозяйства свойств почв вряд ли может дать кондиционные результаты и приводит к большим ошибкам. На определенном этапе развития науки и практики, уровень этих ошибок был более-менее приемлем. Но в настоящее время уже очевидно, что необходим и возможен переход на использование более точных данных.

2. Генерализованность изображения почв на картах.

Схематичность отображения почв на картах связана как с их масштабом, так и с классификационным положением почв.

Даже те свойства, которые важны для сельского хозяйства, и которые значимы для классификации почв, можно “вывести” из классификационного названия почв лишь в виде неких градаций, которые иногда излишне широки для практического использования. Построение карт подобных свойств почв на основе традиционной почвенной карты в виде картограмм является широко используемым приемом, но позволяет получать информацию лишь в этих широких градациях ([Савин, 2016](#)).

Любая почвенная карта является обобщенной моделью почвенного покрова территории ([Савин и др., 2019](#)). Поэтому информация о неоднородностях почв даже на картах масштаба 1 : 10 000 достаточно генерализована. Карты же более мелкого масштаба, по сути, уже мало чем отличаются от районирований (то есть отражают некие районы с закономерным варьированием почв в пространстве). Использование подобной генерализованной информации для решения практических задач в сельском хозяйстве также сильно ограничено.

3. Принципы построения почвенных карт не предусматривают отражение на них тех процессов, которые реально протекают в почвах в текущий момент, и которые важны при практическом использовании почвенной информации в сельском хозяйстве. Речь при этом не идет о процессах, которые сформировали почвенный профиль (например, процессы оподзоливания, гумусонакопления, осолонцевания и т. п.). То, что эти процессы сформировали профиль почвы на протяжении ее существования в течение столетий и тысячелетий, не вызывает сомнения, но то, что они продолжают действовать и в данный момент, не очевидно. Однако именно эта информация и важна для практического использования почвенных данных, а не сведения о том, как формировался профиль почвы за время ее существования. Кроме того, эти сведения на традиционных почвенных картах также отсутствуют.

Преодолеть вышеупомянутые ограничения почвенных карт можно несколькими путями.

1. Необходимо решить проблему схематичности отражения почвенных свойств на картах. Так как основной причиной схематичности почвенной карты является то, что на ней отображаются классификационные выделы почв, то наиболее логичным является переход от традиционных почвенных карт (с показом почв в той или иной классификационной системе) к созданию серий карт конкретных свойств почв. Каждое свойство почв имеет свою географию, которая может быть отличной от географии классификационного выдела почв. Поэтому наиболее точно эта география может быть отражена, когда картографируется именно отдельное свойство, а не приписывается некое усредненное значение свойства классификационному выделу почвы. Таким образом, почвенная карта как таковая должна потерять свое значение для решения практических задач в сельском хозяйстве, а на смену ей должны прийти наборы карт отдельных, сельскохозяйственно значимых свойств почв. Но для этого должны быть разработаны надежные методы картографирования отдельных свойств почв. Наиболее перспективным является базирование этих методов на использовании данных бесконтактного зондирования, включая спутниковые данные ([Савин, Симакова, 2012](#)), данные, получаемые с БПЛА

([Huuskonen, Oksanen, 2018](#)), данные наземных бесконтактных сенсоров ([Viscarra Rossel et al., 2010](#)), данные георадарного зондирования ([De Benedetto et al., 2015](#)) и т. п. В сочетании с технологиями цифровой почвенной картографии ([McBratney et al., 2003](#); [Arrouays et al., 2018](#)) эти данные уже в ближайшей перспективе позволят решить задачу картографирования отдельных свойств почв, а не их классификационных выделов.

При движении в данном направлении в перспективе исчезает необходимость картографирования почв как обособленных природных тел или их комбинаций. Более того, после построения карт отдельных свойств почв может при необходимости решаться и задача установления по комплексу подобных карт обособленных почвенных тел на основе подходов, предлагаемых В.А. Рожковым для классификации почв ([Рожков, 2013](#)). Но эта задача имеет смысл лишь для дальнейшего развития фундаментального почвоведения, а не для решения практических задач.

2. При этом, конечно же, речь не идет о составлении карт отдельных свойств почв в традиционном, бумажном, виде. Речь, по сути, идет о создании геоинформационных многослойных растровых баз данных, где к каждому пикселю, помимо его географических координат и данных о его размерах, привязана информация о значении того или иного свойства почв.

При таком подходе важное значение при создании базы данных приобретает выбор размера пикселя. В идеале пиксель должен быть однородным по всем привязанным к нему свойствам почв. То есть в пределах пикселя свойство почв не должно меняться. Достичь этого на практике практически невозможно, так как большинство свойств почв сильно варьирует в пространстве. Поэтому точнее говорить о квазиоднородности свойства почв внутри пикселя. Другим подходом может быть привязка к пикселю атрибутивной информации о пространственном варьировании свойства почв в пикселе. В этом случае размер пикселя должен определяться спецификой решаемых на основе почвенной базы данных задач.

Другой важной проблемой является то, что разные свойства почв имеют разную специфику пространственного варьирования: одно свойство может сильно изменяться в пределах метра, а дру-

гое может быть практически неизменным на расстоянии в сотни метров ([Фридланд, 1972](#)). Следовательно, в идеальном случае для каждого свойства может быть выбран свой оптимальный размер пикселя, при котором география этого свойства может быть отражена практически без потери информации. Но в любом случае при совместном анализе карт отдельных свойств все они должны будут приведены к единому размеру пикселя (самому малому по площади).

Таким образом, традиционная почвенная карта должна быть заменена базой данных элементарных участков (пикселей), к которым привязана атрибутивная информация о географических координатах пикселя, его размере и значениях свойств почв в каждом конкретном пикселе. В настоящий момент считается, что оптимальной для пикселя является квадратная форма. Но в перспективе ничто не мешает создавать базы данных с пикселями иной формы (например, с вокселями или текселями).

Преимуществом подобных пиксельных баз данных, по сравнению с традиционными почвенными картами, является также и то, что подобное представление данных значительно облегчает и делает более качественным компьютерный анализ данных о почвах с данными о других свойствах земель.

3. Таким образом, переход к пиксельным базам данных открывает широкие возможности для пространственного моделирования современных почвенных процессов и внесения информации о них в базу данных. Подобное моделирование должно опираться на свойства почв, строение профиля почв, а также на информацию об их использовании, метеорологических условиях и рельефе. Подходы к подобному моделированию уже разрабатываются ([Gobin, 2000](#); [Bui et al., 2006](#)) и уже в ближайшее время смогут быть использованы для решения этой задачи.

ВЫВОДЫ

Вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы.

1. Повышение практической значимости почвоведения в настоящее время невозможно как без технологической модернизации почвенного картографирования, так и без смысловой, методологической.

2. Уже совершившийся переход к цифровым технологиям в картографии диктует необходимость перехода от традиционных почвенных карт к пиксельным пространственным почвенным базам данных.

3. Информационная нагрузка и точность почвенных карт может и должна быть увеличена за счет перехода от картографирования положения почвы в той или иной классификации на картографирование отдельных, сельскохозяйственно значимых свойств почв.

4. Для решения практических сельскохозяйственных задач важно дополнить информацию почвенных карт сведениями о современных процессах, протекающих в почвах, которые могут быть получены на основе пространственного цифрового моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дубенок Н.Н., Смартыгин С.Н., Ромашкин К.И.* Теоретические основы развития сельскохозяйственной мелиорации. М.: РГАУ – МСХА, 2009. 545 с.
2. *Кирейчева Л.В.* Мелиорация // Большая российская энциклопедия. Т. 19. М. 2011. С. 674–675.
3. *Кирюшин В.И.* Агрономическое почвоведение. СПб. 2013. 686 с.
4. *Классификация и диагностика почв России* / сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. *Классификация и диагностика почв СССР* / сост. В.В. Егоров, В.М. Фридланд, Е.Н. Иванова, Н.Н. Розов, В.А. Носин, Т.А. Фриев. М.: Колос, 1977. 220 с.
6. *Ладонин В.Ф.* Агрохимия // Большая российская энциклопедия. Т. 1. М. 2005. 200 с.
7. *Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П., Шейджен А.Х., Агафонов Е.В., Белоус Н.М., Егоров В.С., Подколзин А.И., Романенков В.А., Торшин С.П., Лапа В.В., Цыганов А.Р., Персикова Т.Ф., Елешев Р.Е., Сапаров А.С.* Агрохимия. М.: ВНИИА, 2017. 854 с.
8. *Рожков В.А.* Классификация почв – не место для дискуссий // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2013. Вып.72. С. 47–64. DOI: [10.19047/0136-1694-2013-72-47-64](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2013-72-47-64).
9. *Савин И.Ю.* Классификация почв и земледелие // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. Вып. 84. С. 3–9. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-84-3-9](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-3-9).

10. *Савин И.Ю., Симакова М.С.* Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв в России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. 9 (5). С. 104–115.
11. *Савин И.Ю., Столбовой В.С., Иванов А.Л., Прудникова Е.Ю., Жоголев А.В., Воронин А.Я.* Технологии составления и обновления почвенных карт. М.: Перо, 2019. 328 с.
12. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 336 с.
13. *Шоба С.А.* Почвоведение // Большая российская энциклопедия. Т. 27. М. 2015. С. 310–311.
14. *Arrouays D., Savin I., Leenaars J., McBratney A.B. (eds.)* GlobalSoilMap – Digital Soil Mapping from Country to Globe. Balkem: CRC Press, 2018. 174 p.
15. *Bui E.N., Henderson B.L., Viergever K.* Knowledge discovery from models of soil properties developed through data mining // Ecological Modelling. 2006. Issue 3–4. Vol. 191. P. 431–446. DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2005.05.021](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.05.021).
16. *Costantini E.A.C.* Manual of Methods for Soil and Land Evaluation. CRC Press, 2017. 564 p.
17. *De Benedetto D., Quarto R., Castrignanò A., Palumbo D.A.* Impact of Data Processing and Antenna Frequency on Spatial Structure Modelling of GPR Data // Sensors. 2015. Vol. 15. Issue 7. P. 16430–16447. DOI: [10.3390/s150716430](https://doi.org/10.3390/s150716430).
18. *De la Rosa D., van Diepen C.A.* Qualitative and Quantitative Land Evaluation, in 1.5. Land Use and Land Cover, in Encyclopedia of Life Support System (EOLSS-UNESCO). Oxford: Eolss Publishers, UK, 2002. URL: <http://www.eolss.net>.
19. *Driessen P.M., Konijn N.T.* Land use systems analysis. Wageningen Agric. Univ., The Netherlands, 1992. 230 p.
20. *Huuskonen J., Oksanen T.* Soil sampling with drones and augmented reality in precision agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 154. November 2018, P. 25–35. DOI: [10.1016/j.compag.2018.08.039](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.039).
21. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007 // World Soil Resources Reports. Rome: FAO, 2007. No. 103. 116 p.
22. *Gobin A.* Participatory and spatial-modeling methods for land resources analysis. PhD thesis. Katholik Universiteit. Leuven. 2000. 282 p.
23. *McBratney A., Mendonça Santos M., Minasny B.* On digital soil mapping // Geoderma. 2003. Vol. 117. Issue 1–2. P. 3–52. DOI: [10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4).

24. Soil Taxonomy. A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Washington DC. 1975.
25. Van Diepen C.A., van Keulen H, Wolf J., Berkhout J.A.A. Land Evaluation: From Intuition to Quantification. In: B.A. Stewart, ed, Advances in Soil Science. New York: Springer Verlag, 1991. P. 139–204.
26. Viscarra Rossel R.A., McBratney A.B., Minasny B. (eds.) Proximal Soil Sensing. Springer Netherlands, 2010. 448 p.

REFERENCES

1. Dubenok N.N., Smarygin S.N., Romashkin K.I., *Teoreticheskie osnovy razvitiya sel'skokhozyaistvennoi melioratsii* (Theoretical foundations of the development of agricultural reclamation), Moscow: RGAU – MSKhA, 2009. 545 p.
2. Kireicheva L.V., Melioratsiya (Reclamation), In: *Bol'shaya rossiiskaya entsiklopediya* (Big Russian Encyclopedia), Vol. 19, Moscow, 2011, pp. 674–675.
3. Kiryushin V.I., *Agronomicheskoe pochvovedenie* (Agronomic soil science), SaintPetersburg, 2013, 686 p.
4. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I. (eds.), *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and soil diagnostics of Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
5. Egorov V.V., Fridland V.M., Ivanova E.N., Rozov N.N., Nosin V.A., Friev T.A., *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and soil diagnostics of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 220 s.
6. Ladonin V.F., Agrokimiya (Agrochemistry), In: *Bol'shaya rossiiskaya entsiklopediya* (Big Russian Encyclopedia), Vol. 1, Moscow, 2005, 200 p.
7. Mineev V.G., Sychev V.G., Gamzikov G.P., Sheudzhen A.Kh., Agafonov E.V., Belous N.M., Egorov B.C., Podkolzin A.I., Romanenkov V.A., Torshin S.P., Lapa V.V., Tsyganov A.R., Persikova T.F., Eleshev R.E., Saparov A.S., *Agrokimiya* (Agrochemistry), Moscow: VNIIA, 2017, 854 p.
8. Rozhkov V.A., Soil classification is not quite in place for discussion, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2013, Vol. 72, pp. 47–64, DOI: [10.19047/0136-1694-2013-72-47-64](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2013-72-47-64).
9. Savin I.Yu., The Classification of Soils and Agriculture, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 84, pp. 3–9, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-84-3-9](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-84-3-9).
10. Savin I.Yu., Simakova M.S., Sputnikovye tekhnologii dlya inventari-zatsii i monitoringa pochv v Rossii (Satellite Technologies for Inventory and Soil Monitoring in Russia), *Sovremennye problemy distantsi-onnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* (Modern problems of remote sensing of the Earth from space), 2012, 9 (5), pp. 104–115.

11. Savin I.Yu., Stolbovoi V.S., Ivanov A.L., Prudnikova E.Yu., Zhogolev A.V., Voronin A.Ya., *Tekhnologii sostavleniya i obnovleniya pochvennykh kart* (Technologies for compiling and updating soil maps), Moscow: Pero, 2019, 328 p.
12. Fridland V.M., *Struktura pochvennogo pokrova* (The structure of the soil cover), Moscow: Mysl', 1972, 336 p.
13. Shoba S.A., Pochvovedenie (Soil Science), In: *Bol'shaya rossiiskaya entsiklopediya* (Big Russian Encyclopedia), Vol. 27, Moscow, 2015, pp. 310–311.
14. Arrouays D., Savin I., Leenaars J., McBratney A.B. (eds.), *GlobalSoilMap – Digital Soil Mapping from Country to Globe*, Balkem: CRC Press, 2018, 174 p.
15. Bui E.N., Henderson B.L., Viergever K., Knowledge discovery from models of soil properties developed through data mining, *Ecological Modelling*, 2006, Issue 3–4, Vol. 191, pp. 431–446, DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2005.05.021](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.05.021).
16. Costantini E.A.C., *Manual of Methods for Soil and Land Evaluation*, CRC Press, 2017, 564 p.
17. De Benedetto D., Quarto R., Castrignanò A., Palumbo D.A., Impact of Data Processing and Antenna Frequency on Spatial Structure Modelling of GPR Data, *Sensors*, 2015, Vol. 15, Issue 7, pp. 16430–16447, DOI: [10.3390/s150716430](https://doi.org/10.3390/s150716430).
18. De la Rosa D., van Diepen C.A., Qualitative and Quantitative Land Evaluation, in 1.5. Land Use and Land Cover, In: *Encyclopedia of Life Support System (EOLSS-UNESCO)*, Oxford: Eolss Publishers, UK, 2002, URL: <http://www.eolss.net>.
19. Driessen P.M., Konijn N.T., *Land use systems analysis*, Wageningen Agric. Univ., The Netherlands, 1992, 230 p.
20. Huuskonen J., Oksanen T., Soil sampling with drones and augmented reality in precision agriculture, *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, November 2018, pp. 25–35, DOI: [10.1016/j.compag.2018.08.039](https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.039).
21. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources* 2006, first update 2007, World Soil Resources Reports, Rome: FAO, 2007, No. 103, 116 p.
22. Gobin A., *Participatory and spatial-modeling methods for land resources analysis. PhD thesis*, Katholik Universiteit, Leuven, 2000, 282 p.
23. McBratney A., Mendonça Santos M., Minasny B., On digital soil mapping, *Geoderma*, 2003, Vol. 117, Issue 1–2, pp. 3–52, DOI: [10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4).
24. *Soil Taxonomy, A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, Washington DC, 1975.

25. Van Diepen C.A., van Keulen H, Wolf J., Berkhout J.A.A., Land Evaluation: From Intuition to Quantification, In: B.A. Stewart (ed.), *Advances in Soil Science*, New York: Springer Verlag, 1991, pp. 139–204.
26. Viscarra Rossel R.A., McBratney A.B., Minasny B. (eds.), *Proximal Soil Sensing*, Springer Netherlands, 2010, 448 p.