

## Использование спутниковых данных для составления почвенных карт: современные тенденции и проблемы

И.Ю. Савин

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, 117019, Россия  
Аграрно-технологический институт РУДН, Москва, 117198, Россия  
E-mail: savin\_iyu@esoil.ru*

Рассмотрены особенности использования спутниковых данных для картографирования почв на современном этапе. Несмотря на длительный период развития дистанционных (в том числе и спутниковых) методов в почвоведении в настоящий момент спутниковые данные все еще достаточно редко используются при составлении почвенных карт. Часть исследователей используют спутниковые композиты в качестве подложки, а также в качестве источника данных о рельефе территории при картографировании почв. Другие пытаются развивать методы автоматизированного анализа спутниковых изображений. Использование тех или иных методов в значительной степени предопределяется масштабом работ и географическими особенностями территории исследований. В большинстве случаев используются многоканальные спутниковые данные высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Единично используются данные радарной спутниковой съемки и гиперспектральные данные. В отличие от прошлых десятилетий в настоящее время больше исследований направлено на картографирование отдельных свойств почв поверхностного горизонта почв, а не на составление почвенных карт. Это связано с тем, что свойства верхнего горизонта почв не всегда связаны с их классификационным положением, которое является объектом отображения на почвенных картах всех масштабов.

**Ключевые слова:** картографирование почв, классификация почв, бесконтактное изучение почв, генерализация

*Одобрена к печати: 10.11.2016  
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-29-39*

### Введение

Почвенная карта является с одной стороны обобщением знаний почвоведов о почвенном покрове той или иной территории, а с другой – основным средством практического применения знаний о почвах в сельском хозяйстве, в экологии, в градостроительстве и кадастровой оценке земель и в других областях (Савин и др., 2015).

Спецификой картографирования почв является то, что на почвенных картах отображаются классификационные единицы почв; то есть почвенная карта неразрывно связана с той или иной классификацией почв (Составление..., 1990). Кроме чисто почвенных карт существуют карты отдельных, наиболее важных для производства, свойств почв, которые обычно называют картограммами (Общесоюзная..., 1973). Это связано с тем, что в подавляющем большинстве случаев картограммы являются атрибутивными картами по отношению к обычной почвенной карте (т.е. выделам почвенной карты приписывают значения свойства почв и визуализируют эти выделы в терминах значений свойства, а не в названиях почвы). Лишь в последнее время делаются попытки построения карт отдельных свойств почв независимо от почвенной карты (McBratney et al., 2003).

Еще одной спецификой почвенных карт является то, что они создаются на разных уровнях обобщения, в разных масштабах. Как и во всех географических науках, объекты традиционно картографируются на следующих уровнях обобщения:

- глобальный (обзорный), обычно в масштабе мельче чем 1:5 млн;
- на уровне страны (федеральный), в масштабе 1:1 млн – 1:5 млн;

- на региональном уровне, в масштабе от 1:200000 до 1:1 млн;
- на районном уровне, в масштабе от 1:50000 до 1:200000;
- на уровне хозяйства, в масштабе от 1:10000 до 1:50000;
- на уровне отдельных полей и земельных участков, в масштабе от 1:500 до 1:10000.

При этом картографирование на уровне полей является достаточно редким, а карты на районном уровне, как правило, являются продуктом генерализации карт хозяйств. Карты регионального уровня составляются как с использованием генерализации районных карт, так и путем прямого картосоставления на основе генерализованной информации о факторах почвообразования (растительность, рельеф, геологическое строение, четвертичные отложения, использование земель). Карты же на уровне страны и глобальном уровне создаются преимущественно на основе генерализованной информации о факторах почвообразования с использованием региональных почвенных карт (при их наличии) (Евдокимова, 1987; Герасимова и др., 2010).

После распада сети институтов Росземпроект в начале 90-х годов новые почвенные карты в стране почти не составлялись. Лишь на отдельные хозяйства и регионы было проведено обновление почвенных карт. В настоящее время потребность в актуальной информации о состоянии почвенного покрова постоянно возрастает в связи с необходимостью кадастровой оценки земель, решения экологических проблем и необходимостью оптимизации землепользования агрохолдингов.

Составление новых почвенных карт является достаточно затратным, и поэтому наиболее перспективным выглядит развертывание работ по обновлению имеющихся почвенных карт (Савин, Овечкин, 2014). Наиболее перспективным для этого является использование данных дистанционного зондирования (ДДЗ).

ДДЗ используются при составлении почвенных карт достаточно давно. В первой половине 20 века активно использовались данные аэросъемки (Симакова, Савин, 1998). После появления спутниковых данных они также стали использоваться по аналогии с аэроснимками (Савин, Симакова, 2012). В настоящее время широко используются как спутниковые данные, так и данные аэросъемки (преимущественно данные с БПЛА).

Но если в прошлом веке ДДЗ использовались как основа для визуального дешифрирования почв, то в настоящее время делаются попытки автоматизации процесса дешифрирования и использования ДДЗ как одного из источников информации в технологиях цифрового картографирования почв (McBratney et al., 2003; Цифровая..., 2012; Minasny, McBratney, 2015).

### **Использование ДДЗ при визуальном дешифрировании**

Дешифрирование почв по ДДЗ в прошлом веке проводилось визуально по бумажному фотоотпечатку спутникового или аэро- изображения на основе чисто экспертных

подходов. Схема дешифрирования почв оптически трансформировалась в проекцию создаваемой карты и использовалась как один из слоев информации. В качестве отпечатка в большинстве случаев использовались панхроматические изображения, реже – синтез в цветах, близких к натуральным, или еще реже – синтез в псевдоцветах (Андроников, 1979; Аэрокосмические методы..., 1990). Для дешифрирования почв были разработаны так называемые «дешифровочные признаки почв», которые были привязаны к физико-географическим условиям и учитывали сроки съемки (Симакова, 1984). Использовались прямые (по характеру изображения (тону, цвету, текстуре) открытой поверхности почв) и косвенные (по характеру изображения растительности, наземного покрова и рельефа) дешифровочные признаки. Прямые дешифровочные признаки использовались в основном при работе в крупном масштабе (на уровне полей и хозяйств), а для составления среднemasштабных и мелкомасштабных почвенных карт дешифрирование велось преимущественно на основе косвенных дешифровочных признаков (Аэрокосмические методы..., 1990). В последнем случае результат получался более надежным, так как чем мельче масштаб, тем почвенные выделы в большей степени определяются особенностями общих физико-географических условий территории, которые надежно дешифрируются по характеру изображения растительности и рельефа. При использовании прямых дешифровочных признаков в крупном масштабе часто возникали проблемы, связанные с влиянием на характер изображения отдельных свойств почв, которые не связаны с их классификационным положением, например, влажности поверхности почв, ее шероховатости и т.п.. Влажность поверхности является сильно динамичным свойством, что приводит к тому, что цвет поверхности может быстро и неравномерно изменяться при ее подсыхании (Савин, 2013). И дешифрирование неоднородностей изображения поверхности почв по снимкам двух соседних дней съемки может привести к различающимся результатам, которые будут отражать лишь реальное состояние влажности поверхности почв, а не их различие с позиции классификационного положения.

Необходимо отметить также и то, что точность ручного наведения границ при дешифрировании также была не высока и сильно зависела от квалификации и физиологических особенностей почвовед-дешифровщика.

С появлением в конце 20 века возможностей перехода на цифровую обработку ДДЗ стало возможным использовать наработки визуального дешифрирования на новом качественном уровне. Изображения импортировались в компьютерные программы, предназначенные для анализа изображений. В них создавался синтез необходимых каналов, и полученное изображение использовалось в качестве подложки для визуального дешифрирования почв по экрану монитора компьютера (Королюк, 2012). Учитывая, что одновременно сильно возросло разнообразие ДДЗ и значительно повысилась их доступность, подобные подходы получили значительное преимущество перед дешифрированием бумажных фотопечатков. При этом сохранилась возможность использования всех методических наработок визуального дешифрирования почв. Подобные подходы до сих пор успешно используются для обновления почвенных карт разных масштабов (Савин, Овечкин, 2014).

## Использование ДДЗ с автоматизацией дешифрирования

В научных публикациях можно найти примеры попыток автоматизированного дешифрирования по ДДЗ непосредственно почв, а не их отдельных свойств (Конюшкова, Козлов, 2010). Чаще всего для этого используют методы неконтролируемой классификации многоканальных изображений (например, на основе алгоритма ISODATA) на заданное число классов с их последующей тематической интерпретацией (Saunders, Boettinger, 2007; Browning, Duniway, 2011). То есть каждому классу приписывают экспертно соответствующее ему название почвы в принятой классификации. При этом редко проверяется точность подобного соответствия. Как правило точность этих подходов не очень высока. При этом чем крупнее масштаб – тем больше вероятность неточностей. Это связано с тем, что характер изображения поверхности почв или растительности не всегда связан с классификационным положением почв, а предопределяется классификационно незначимыми свойствами поверхности почв или особенностями растительности, которые не являются индикационными по отношению к почвам.

Очень большое количество работ посвящено разработке методов автоматизированного дешифрирования по ДДЗ отдельных свойств поверхностного горизонта почв, таких как содержание гумуса (Bartholomeus et al., 2008; Ben-Dor et al., 2009; Tiwari et al., 2015; Прудникова, Савин, 2015а), влажность почв (Wang, Qu, 2009; Brocca et al., 2012; Jeu, Dorigo, 2016), засоленность почв (Metternichet, Zinck, 2003; Douaoui et al., 2006; Lhissou et al., 2014; Мохамед и др., 2016), гранулометрический состав почв (Zhai et al., 2006; Maselli et al., 2008; Прудникова, Савин, 2015б; Wang et al., 2015), каменистость поверхности почв (Прудникова, 2013), карбонатность почв (Mulder et al., 2011). В большинстве случаев речь идет о дешифрировании свойств по характеру изображения их открытой поверхности и по многоканальным изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. Методически работы базируются преимущественно на регрессионном анализе, реже на использовании нейронных сетей или более сложных подходах.

Получаемые на основе этих подходов карты отдельных свойств почв теоретически могут быть использованы в качестве дополнительной информации при построении почвенных карт. Но для этого требуются дополнительные исследования по установлению связей между дешифрируемыми свойствами поверхностного горизонта почв и их классификационным положением. В большинстве случаев такие связи с одним свойством установить невозможно, так как классификационно значимыми являются обычно несколько свойств, причем не только поверхностного горизонта почв. Возможности же дешифрирования по ДДЗ свойств подповерхностных горизонтов почв в настоящее время практически не исследованы, несмотря на большое разнообразие ДДЗ (включая радарные и гиперспектральные данные).

В последние годы бурное развитие получили методы цифрового картографирования почв (McBratney et al., 2003; Цифровая..., 2012). В основе технологий цифрового картографирования почв лежит установление статистических связей почв с факторами почвообра-

зования, которые используются для автоматизированного картографирования почв на основе карт отдельных факторов почвообразования (растительность, рельеф, геологическое строение территории и др.). Одним из направлений развития подобных подходов является использование ДДЗ как источника информации о факторах почвообразования или как одного из параметров, который используется наравне с факторами почвообразования. Так, например, в технологиях цифрового картографирования почв широко используются спутниковые данные SRTM и ASTER как источник информации о рельефе территории (Hengl, Reuter, 2008). Также часто используются карты растительности и наземного покрова, построенные путем дешифрирования спутниковых данных (Mulder et al., 2011).

В некоторых подходах спутниковые данные в виде отдельных спектральных каналов или спектральных индексов используются в качестве предикторов почв при обновлении старых почвенных карт (Кренке, 2012). Авторы используют ДДЗ в подходах, построенных на методе главных компонент, и в качестве входных параметров используют все доступные для территории исследований спутниковые данные.

### Проблемы использования ДДЗ для картографирования почв

Все описанные выше подходы имеют свои преимущества и недостатки (табл. 1).

Таблица 1. Специфика подходов к использованию ДДЗ для составления почвенных карт

<i>подход</i>	<i>преимущества</i>	<i>недостатки</i>
1. Визуальное дешифрирование почв по ДДЗ	Максимальное задействование экспертных знаний почвовед-дешифровщика; возможность визуальной «фильтрации» неоднородностей изображения, не связанных с почвенным покровом.	Высокая трудоемкость и неоперативность; субъективность и неточность наведения границ почвенно-географических выделов.
2. Автоматизированное дешифрирование почв по ДДЗ	Оперативность, воспроизводимость.	Не все почвы могут быть отдешифрированы; проблемы с автоматической фильтрацией неоднородностей изображения, не связанных с почвами, влияние на результат свойств почв и растительности, не важных для составления почвенных карт.
3. Дешифрирование отдельных свойств почв и использование этих данных при составлении почвенной карты	Возможность получения данных о реальной географии отдельных свойств почв; оперативность, воспроизводимость.	Не все необходимые свойства почв могут быть отдешифрированы; слабая изученность связи свойств поверхности почв со свойствами их профиля; короткие периоды открытости поверхности почв для съемки.
4. ДДЗ как часть технологии цифрового картографирования почв	Более объективная и актуальная информация о свойствах поверхности почв и о факторах почвообразования; оперативность; возможность получения статистической оценки точности создаваемых карт	Невозможность переноса установленных связей «ДДЗ–почва» на другие регионы и другие сцены; ограниченность выбора ДДЗ необходимого пространственного разрешения и срока съемки.

В приведенной таблице не отражены чисто технические особенности, связанные с получением безоблачных изображений, с предварительной обработкой ДДЗ, со спецификой используемого программного обеспечения и т.п.

Кроме того, необходимо отметить, что во всех подходах подразумевается наличие полевых данных о почвах и/или априорных знаний о специфике географии почв региона исследований. Ни один из подходов не подразумевает составление почвенной карты только по результатам анализа ДДЗ. Это связано с тем, что лишь в редких случаях возможно дешифрирование по ДДЗ всех почв региона исследований. Доля дешифрируемых почв максимальна в подходах, базирующихся на визуальном дешифрировании, и минимальна в подходах, основанных на дешифрировании отдельных свойств почв.

Использование подходов, основанных на прямых дешифровочных признаках (анализе открытой поверхности почв), с одной стороны, ограничивается закрытостью большую часть года поверхности почв растительностью, а с другой слабой – изученностью связи спектральной отражательной способности поверхности почв с их свойствами и связей свойств поверхности почв со свойствами нижележащих генетических горизонтов.

Сама отражательная способность почв также недостаточно изучена. Имеющиеся библиотеки спектров отражения почв (Shepherd, Walsh, 2002; Bellinaso et al., 2010) как правило характеризуют предварительно обработанные образцы почв (высушенные, измельченные до заданного размера, выровненная поверхность). Но в естественных условиях на светоотражение почв оказывают влияние такие факторы как влажность почв, шероховатость ее поверхности, а также особенности трансформации поверхности почв под воздействием атмосферных условий (Савин, 1995, 2013). Эти факторы могут значительно изменять специфику отражения волн поверхностью почв, но эти процессы также в настоящее время недостаточно изучены.

Дополнительные проблемы связаны с особенностями используемой в России классификации почв, которая является генетической (Классификация..., 1977). Это означает, что для определения положения почвы в классификации принимается во внимание генезис почв, который, конечно же, не всегда отражается в свойствах поверхностного горизонта почвы.

Важно отметить, что эффективность перечисленных групп подходов зависит и от уровня обобщения (масштаба составляемой карты). Подходы, базирующиеся на дешифрировании отдельных свойств почв, используются лишь при составлении крупномасштабных и детальных почвенных карт, а подходы визуального дешифрирования наиболее эффективны и точны при картографировании почв в мелком масштабе при использовании косвенных дешифровочных признаков.

Использование характера изображения растительности на ДДЗ как дешифровочного признака почв ограничивается недостаточной изученностью ее индикаторной роли по отношению к почвам, а также ее динамичностью, связанной как с антропогенным воздействием, так и с естественными процессами. В некоторых случаях естественная растительность может достаточно уверенно индицировать почвы (Кравцова, 1995; Serteser

et al., 2008). Контрастные компоненты почвенного покрова как правило индицируются даже культурной растительностью, но возможности индикации ограничиваются фазой развития посевов, наличием засоренности и регионом работ (Кириянова, Савин, 2013).

Необходимо также упомянуть о том, что в последние десятилетия значительно увеличилась доступность спутниковых данных, а также их типы. К примеру, если раньше данные радарной съемки для изучения почв и их свойств практически не использовались, то в настоящее время уже существует достаточно много публикаций на эту тему (Digital..., 2008). То же относится и к гиперспектральной съемке (Lagacherie et al., 2010; Hively et al., 2011).

## Выводы

Несмотря на достаточно длительную историю использования спутниковых данных для составления почвенных карт, их использование до сих пор ограничено недостаточной проработанностью методов.

Наиболее важной проблемой является то, что на почвенных картах отображаются классификационные выделы почв, в то время как на характер изображения почв на спутниковых данных в большей степени влияют свойства поверхностного горизонта, которые не важны для определения положения почв в той или иной классификации.

Слабо изучена спектральная отражательная способность поверхности почв, специфика ее формирования, динамики во времени и ее связь со свойствами почв.

Также недостаточно исследованы связи свойств поверхности почв и свойств нижележащих генетических горизонтов. Эти связи региональны. Без установления этих связей прямое дешифрирование классификационного положения почв по ДДЗ невозможно.

Возможности дешифрирования классификационного положения почв по характеру изображения растительности также ограничены и мало изучены.

На фоне бурного развития спутниковых технологий и появления все новых типов данных наблюдается заметное отставание в изучении чисто почвенных связей и особенностей, а также спектральной отражательной способности почв. Это приводит к тому, что потенциальные возможности новых типов ДДЗ для картографирования почв до сих пор остаются мало исследованными.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 15-16-30007 (в части результатов использования данных спектрометрирования для картографирования почв)) и РФФИ (проект 15-04-04717).

## Литература

1. Андроников В.Л. Аэрокосмические методы изучения почв. М.: Колос, 1979. 280 с.
2. Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. М.: Наука, 1990. 247 с.

3. Герасимова М.И., Гаврилова И.П., Богданова М.Д. Мелкомасштабное почвенное картографирование. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. 119 с.
4. Евдокимова Т.И. Почвенная съемка. М.: МГУ, 1987. 271 с.
5. Кирьянова Е.Ю., Савин И.Ю. Неоднородность посевов, определяемая по спутниковым данным MODIS, как индикатор контрастности почвенного покрова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 3. С. 36–39.
6. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 218 с.
7. Конюшкова М.В., Козлов Д.Н. Автоматизированный анализ распространения темноцветных черноземовидных почв в северном Прикаспии по данным космической съемки (на примере Джаныбекского стационара) // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16, № 5. С. 46–56.
8. Королюк Т.В. Почвенная интерпретация космических изображений в системе методов ЦПК // Цифровая картография почв: теоретические и экспериментальные исследования. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2012. С. 124–139.
9. Кравцова В.И. Космические методы картографирования. М.: Изд-во МГУ, 1995. 240 с.
10. Кренке А.Н. Коррекция почвенных карт на основе данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. С. 284–302.
11. Мохамед Е.С., Али А.М., Ширбени М.А.Э., Разек А.А.А.Э., Савин И.Ю. Использование ближнего инфракрасного диапазона для спектрометрической оценки загрязнения почв дельты Нила // Почвоведение. 2016. № 6. С. 690–696.
12. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Колос, 1973. 95 с.
13. Прудникова Е.Ю. Автоматизированное картографирование почв по спутниковым данным для проектирования АЛСЗ: автореферат дисс. канд. биол. наук. М., 2013. 30 с.
14. Прудникова Е.Ю., Савин И.Ю. Спутниковая оценка дегумификации пахотных почв в Саратовском Поволжье // Почвоведение. 2015а. № 5. С. 597–604.
15. Прудникова Е.Ю., Савин И.Ю. Автоматизированное картографирование гранулометрического состава почв по спутниковым данным среднего и высокого разрешения // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. Материалы Первой Всероссийской открытой конференции. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2015б. С. 251–256.
16. Савин И.Ю. Влияние ливневого дождя на интегральную отражательную способность поверхности черноземных почв // Почвоведение. 1995. № 8. С. 976–980.
17. Савин И.Ю. О тоне изображения открытой поверхности почв как прямом дешифровочном признаке // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2013. № 71. С. 52–64.
18. Савин И.Ю., Овечкин С.В. Об обновлении среднemasштабных почвенных карт // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1184–1192.
19. Савин И.Ю., Симакова М.С. Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв в России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 104–115.
20. Савин И.Ю., Симакова М.С., Овечкин С.В. Перспективы развития картографии почв в России // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. Материалы Первой Всероссийской открытой конференции. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2015. С. 274–279.
21. Симакова М.С. Картографирование почвенного покрова с использованием материалов аэро- и космической фотосъемки: автореф. дисс. докт. с-х. наук. М., 1984. 43 с.
22. Симакова М.С., Савин И.Ю. Использование материалов аэро- и космической съемки в картографировании почв: (пути развития, состояние, задачи) // Почвоведение. 1998. № 11. С. 1339–1347.
23. Составление областных среднemasштабных почвенных карт Нечерноземья с показом структуры почвенного покрова (рекомендации). М.: Агропромиздат, 1990. 80 с.
24. Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. 350 с.
25. Bartholomeus H.M., Schaepman E.M., Kooistra L., Stevens A., Hoogmoed B.W., Spaargaren O.S.P. Spectral Reflectance Based Indices for Soil Organic Carbon Quantification // Geoderma. 2008. Vol. 145. P. 28–36.
26. Bellinaso H., Demattê J.A.M., Romeiro S.A. Soil Spectral Library and Its Use in Soil Classification // R. Bras. Ci. Solo. 2010. No. 34. P. 861–870.
27. Ben-Dor E., Chabrillat S., Demattê J.A.M., Taylor G.R., Hill J., Whiting M.L., Sommer S. Using Imaging Spectroscopy to Study Soil Properties // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol. 113. P. 38–55.
28. Brocca L., Tullio T., Melone F., Moramarco T., Morbidelli R. Catchment scale soil moisture spatial-temporal variability // Journal of Hydrology. 2012. Vol. 422. P. 63–75.
29. Browning D.M., Duniway M.C. Digital Soil Mapping in the Absence of Field Training Data: A Case Study Using Terrain Attributes and Semiautomated Soil Signature Derivation to Distinguish Ecological Potential // Applied and Environmental Soil Science. 2011. Vol. 2011. Article ID 421904. P. 1–12.
30. De Jeu R., Dorigo W. On the importance of satellite observed soil moisture // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2016. Vol. 45. Part B. P. 107–109.
31. Digital Soil Mapping with Limited Data. Netherlands: Springer, 2008. 446 p.
32. Douaoui A.K., Herve' N., Walter C. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote sensing data // Geoderma. 2006. Vol. 134. P. 217–230.
33. Hively W., McCarty G.W., Reeves III J.B., Lang M.W., Oesterling R.A., Delwiche S.R. Use of Airborne Hyperspectral Imagery to Map Soil Properties in Tilled Agricultural Fields // Applied and Environmental Soil Science. 2011. Article ID 358193. P. 1–13.
34. Hengl T., Reuter H.I. (eds). Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science. Netherlands: Elsevier, 2008. Vol. 33. 772 p.
35. Lagacherie P., Gomez C., Bailly J.S., Baret F., Coulouma G. The Use of Hyperspectral Imagery for Digital Soil Mapping in Mediterranean Areas // Digital Soil mapping. 2010. P. 93–102.

36. *Lhissou R., El Harti A., Chokmani K.* Mapping soil salinity in irrigated land using optical remote sensing data // Eurasian Journal of Soil Science. 2014. No. 3. P. 82–88.
37. *Maselli F., Gardin L., Bottai L.* Automatic mapping of soil texture through the integration of ground, satellite and ancillary data // Int. J. Remote Sens. 2008. No. 29. P. 5555–5569.
38. *McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B.* On digital soil mapping // Geoderma. 2003. Vol. 117. No. 1–2. P. 3–52.
39. *Metternich G.J., Zinck J.A.* Remote sensing of soil salinity: potential and constraints // Remote Sensing of Environment. 2003. Vol. 85. P. 1–20.
40. *Minasny B., McBratney A.B.* Digital soil mapping: A brief history and some lessons // Geoderma. 2015. Vol. 184. P. 301–311.
41. *Mulder V.L., de Bruin S., Schaepman M.E., Mayr T.R.* The use of remote sensing in soil and terrain mapping. A review // Geoderma. 2011. Vol. 162. P. 1–19.
42. *Saunders A.M., Boettinger J.L.* Incorporating classification trees into a pedogenic understanding raster classification methodology, Green River Basin, Wyoming, USA // Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 389–399.
43. *Serteser A., Kargioğlu M., İçağa Y., Konuk M.* Vegetation as an Indicator of Soil Properties and Water Quality in the Akarçay Stream (Turkey) // Environmental Management. 2008. Vol. 42. P. 764.
44. *Shepherd K.D., Walsh M.G.* Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. Vol. 66. P. 988.
45. *Tiwari S., Saha S., Kumar S.* Prediction Modeling and Mapping of Soil Carbon Content Using Artificial Neural Network, Hyperspectral Satellite Data and Field Spectroscopy // Advances in Remote Sensing. 2015. No. 4. P. 63–72.
46. *Wang D.-C., Zhang G.-L., Zhao M.-S.* Retrieval and Mapping of Soil Texture Based on Land Surface Diurnal Temperature Range Data from MODIS // PLoS ONE. 2015. Vol. 10. No. 6. e0129977.
47. *Wang L., Qu J.J.* Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review // Frontiers of Earth Science in China. 2009. Vol. 3. No. 2. P. 23–247.
48. *Zhai Y.S., Thomasson J.A., Boggess J.E., Sui R.X.* Soil texture classification with artificial neural networks operating on remote sensing data // Computers and Electronics in Agriculture. 2006. Vol. 54. P. 53–68.

## Usage of satellite data for soil mapping: modern tendencies and problems

I.Yu. Savin

*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow 117019, Russia  
Agrarian-Technological Institute PFUR, Moscow 117198, Russia  
E-mail: savigory@gmail.com*

The modern specifics of the use of satellite data for soil mapping was analyzed. At present, despite that remote sensing methods have long been developed, the satellite data is still quite rarely used in soil science for compilation of soil maps. Some researchers use satellite color composites as the background as well as a data source for analysis of relief conditions of a territory for soil mapping. Others try to develop methods for automated analysis of satellite images. The use of different methods to a large extent is determined by the scale of maps and geographical features of the research area. In most cases, multispectral data of high and very high spatial resolution are used. Radar satellite imagery and hyperspectral data are used for soil mapping only in some cases. In contrast to previous decades, now more research is aimed on mapping of the individual properties of the surface soil horizon, rather than for compilation of soil maps. This is due to the fact that the properties of the upper soil horizon are not always related to their classification status, which have to be shown on soil maps.

**Keywords:** soil mapping, soil classification, remote and proximal soil sensing, generalization

*Accepted: 10.11.2016  
DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-29-39*

## References

1. Andronikov V.L., *Aerokosmicheskie metody izucheniya pochv* (Aero-space methods for investigation of soils), Moscow: Kolos, 1979, 280 p.
2. *Aerokosmicheskie metody v pochvovedenii i ikh ispol'zovanie v sel'skom khozyaistve* (Aero-space methods in soil science and their use in agriculture), Moscow: Nauka, 1990, 247 p.
3. Gerasimova M.I., Gavrilova I.P., Bogdanova M.D., *Melkomasshtabnoe pochvennoe kartografirovanie* (Small-scale soil mapping), Moscow: MGU, 2010, 119 p.
4. Eydokimova T.I., *Pochvennaya s'emka* (Soil survey), Moscow: MGU, 1987, 271 p.
5. Kir'yanova E.Yu., Savin I.Yu., Neodnorodnost' posevov, opredelyaemaya po sputnikovym dannym MODIS, kak indikator kontrastnosti pochvennogo pokrova (Crop heterogeneity, detecting by satellite MODIS data as an indicator of soil patterns contrast), *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*, 2013, No. 3, pp. 36–39.
6. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils of USSR), Moscow: Kolos, 1977, 218 p.
7. Konyushkova M.V., Kozlov D.N., Avtomatizirovanni analiz rasprostraneniya temnotsvetnykh chernozemovidnykh pochv v severnom Prikaspii po dannym kosmicheskoi s'emki (na primere Dzhanybekskogo statsionara) (Automated analysis of spatial distribution of dark-colored chernozem-like soils in northern Caspian based on space remote sensing (using Dzanybek experimental station as an example), *Aridnye ekosistemy*, 2010, Vol. 16, No. 5, pp. 46–56.
8. Korolyuk T.V., Pochvennaya interpretatsiya kosmicheskikh izobrazhenii v sisteme metodov TsPK (Interpretation of space images from point of view of soils in DSM methodology), In: *Tsifrovaya kartografiya pochv: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya* (Digital Soil Mapping: theoretical and experimental investigations), Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchaeva, 2012, pp. 124–139 (350 p.).
9. Kravtsova V.I., *Kosmicheskie metody kartografirovaniya* (Space methods of mapping), Moscow: MGU, 1995, 240 p.
10. Krenke A.N., Korrektsiya pochvennykh kart na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya i tsifrovoy modeli rel'efa (Soil maps correction based on remote sensing data and digital terrain models), In: *Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya* (Digital Soil Mapping: theoretical and experimental investigations), Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchaeva, 2012, pp. 284–302.
11. Mokhamed E.S., Ali A.M., Shirbeni M.A.E., Razek A.A.A.E., Savin I.Yu., Ispol'zovanie blizhnego infrakrasnogo diapazona dlya spektrometricheskoi otsenki zagryazneniya pochv del'ty Nila (Use of near-infrared band for spectrometric assessment of soil pollution in Nile delta), *Pochvovedenie*, 2016, No. 6, pp. 690–696.
12. *Obshcheyuznaya instruktziya po pochvennym obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepol'zovaniya* (All-USSR instruction for soil survey and large-scale soil mapping of land usage), Moscow: Kolos, 1973, 95 p.
13. Prudnikova E.Yu., *Avtomatizirovannoe kartografirovanie pochv po sputnikovym dannym dlya proektirovaniya ALSZ: avtoreferat dis. kan. boil. nauk* (Automated soil mapping based on satellite data for ALSZ: syn. doct. biol. sci. thesis), Moscow, 2013, 28 p.
14. Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu., Sputnikovaya otsenka degumifikatsii pakhotnykh pochv v Saratovskom Povolzh'e (Satellite assessment of arable soils dehumification in Saratov Near-Volga region), *Pochvovedenie*, 2015a, No. 5, pp. 597–604.
15. Prudnikova E.Yu., Savin I.Yu., Avtomatizirovannoe kartografirovanie granulometricheskogo sostava pochv po sputnikovym dannym srednego i vysokogo razresheniya (Automated mapping of soil texture based on medium and high resolution satellite data), *Pochvennye i zemel'nye resursy: sostoyanie, otsenka, ispol'zovanie* (Soil and land resources: status, evaluation, usage), Proc. 1<sup>st</sup> all-Russia conf., Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2015b, pp. 251–256.
16. Savin I.Yu., Vliyanie livneвого dozhdy na integral'nyu otrazhatel'nyu sposobnost' poverkhnosti chernozemnykh pochv (Heavy rain influence on integral reflective properties of surface of chernozemic soils), *Pochvovedenie*, 1995, No. 8, pp. 976–980.
17. Savin I.Yu., O tone izobrazheniya otkrytoi poverkhnosti pochv kak pryamom deshifrovochnom priznake (About image tone of open soil surface as a direct decoding feature), *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2013, No. 71, pp. 52–64.
18. Savin I.Yu., Ovechkin S.V., Ob obnovlenii srednemashtabnykh pochvennykh kart (About updating of medium-scale soil maps), *Pochvovedenie*, 2014, No. 10, pp. 1184–1192.
19. Savin I.Yu., Simakova M.S., Sputnikovye tekhnologii dlya inventarizatsii i monitoringa pochv v Rossii (Satellite technologies for inventorying and monitoring of soils in Russia), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 104–115.
20. Savin I.Yu., Simakova M.S., Ovechkin S.V., Perspektivy razvitiya kartografii pochv v Rossii (Perspectives of soil mapping development in Russia), *Pochvennye i zemel'nye resursy: sostoyanie, otsenka, ispol'zovanie* (Soil and land resources: status, evaluation, usage), Proc. 1<sup>st</sup> all-Russia conf., Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2015, pp. 274–279.
21. Simakova M.S., *Kartografirovanie pochvennogo pokrova s ispol'zovaniem materialov aero- i kosmicheskoi fotos'emki: avtoref. diss. dokt. s-kh. nauk* (Soil patterns mapping using aero- and space photo images: syn. doct. agric. sci. thesis), Moscow, 1984, 43 p.
22. Simakova M.S., Savin I.Yu., Ispol'zovanie materialov aero- i kosmicheskoi s'emki v kartografirovani pochv: (puti razvitiya, sostoyanie, zadachi) (Use of aero- and space images for soil mapping (ways of improvement, status, tasks)), *Pochvovedenie*, 1998, No. 11, pp. 1339–1347.
23. *Sostavlenie oblastnykh srednemashtabnykh pochvennykh kart Nechernozem'ya s pokazom struktury pochvennogo pokrova (rekomentatsii)* (Compilation of oblast-level medium-scale soil maps of Nechernozem'ya with reflection of soil patterns (recommendations)), Moscow: Agropromizdat, 1990, 80 p.

24. *Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya* (Digital Soil Mapping: theoretical and experimental investigations), Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2012, 350 p.
25. Bartholomeus H.M., Schaepman E.M., Kooistra L., Stevens A., Hoogmoed B.W., Spaargaren O.S.P., Spectral Reflectance Based Indices for Soil Organic Carbon Quantification, *Geoderma*, 2008, Vol. 145, pp. 28–36.
26. Bellinaso H., Demattê J.A.M., Romeiro S.A., Soil Spectral Library and Its Use in Soil Classification, *R. Bras. Ci. Solo*, 2010, Vol. 34, pp. 861–870.
27. Ben-Dor E., Chabrilat S., Demattê J.A.M., Taylor G.R., Hill J., Whiting M.L., Sommer S., Using Imaging Spectroscopy to Study Soil Properties, *Remote Sensing of Environment*, 2009, Vol. 113, pp. 38–55.
28. Brocca L., Tullo T., Melone F., Moramarco T., Morbidelli R., Catchment scale soil moisture spatial-temporal variability, *Journal of Hydrology*, 2012, Vol. 422, pp. 63–75.
29. Browning D.M., Duniway M.C., Digital Soil Mapping in the Absence of Field Training Data: A Case Study Using Terrain Attributes and Semiautomated Soil Signature Derivation to Distinguish Ecological Potential, *Applied and Environmental Soil Science*, 2011, Vol. 2011, Article ID 421904, pp. 1–12.
30. De Jeu R., Dorigo W., On the importance of satellite observed soil moisture, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, March 2016, Vol. 45, Part B, pp. 107–109.
31. *Digital Soil Mapping with Limited Data*, Netherlands: Springer, 2008, 446 p.
32. Douaoui A.K., Herve' N., Walter C., Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote sensing data, *Geoderma*, 2006, Vol. 134, pp. 217–230.
33. Hively W., McCarty G.W., Reeves III J.B., Lang M.W., Oesterling R.A., Delwiche S.R., Use of Airborne Hyperspectral Imagery to Map Soil Properties in Tilled Agricultural Fields, *Applied and Environmental Soil Science*, 2001, Vol. 2011, Article ID 358193, pp. 1–13.
34. Hengl, T., Reuter, H.I. (eds), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, Netherlands: Elsevier, 2008, Vol. 33, 772 p.
35. Lagacherie P., Gomez C., Bailly J.S., Baret F., Coulouma G., The Use of Hyperspectral Imagery for Digital Soil Mapping in Mediterranean Areas, *Digital Soil mapping*, 2010, pp. 93–102.
36. Lhissou R., El Harti A., Chokmani K., Mapping soil salinity in irrigated land using optical remote sensing data, *Eurasian Journal of Soil Science*, 2014, No. 3, pp. 82–88.
37. Maselli F., Gardin L., Bottai L., Automatic mapping of soil texture through the integration of ground, satellite and ancillary data, *International Journal of Remote Sensing*, 2008, Vol. 29, pp. 5555–5569.
38. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B., On digital soil mapping, *Geoderma*, November 2003, Vol. 117, No. 1–2, pp. 3–52.
39. Metternicht G.I., Zinck J.A., Remote sensing of soil salinity: potential and constraints, *Remote Sensing of Environment*, 2003, Vol. 85, pp. 1–20.
40. Minasny B., McBratney A.B., Digital soil mapping: A brief history and some lessons, *Geoderma*, 2015, Vol. 192, pp. 301–311.
41. Mulder V.L., de Bruin S., Schaepman M.E., Mayr T.R., The use of remote sensing in soil and terrain mapping – A review, *Geoderma*, 2011, Vol. 162, pp. 1–19.
42. Saunders A.M., Boettinger J.L., Incorporating classification trees into a pedogenic understanding raster classification methodology, Green River Basin, Wyoming, USA, *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective*, Amsterdam: Elsevier, 2007, pp. 389–399.
43. Serteser A., Kargioğlu M., İçağa Y., Konuk M., Vegetation as an Indicator of Soil Properties and Water Quality in the Akarçay Stream (Turkey), *Environmental Management*, November 2008, Vol. 42, pp. 764–772.
44. Shepherd K.D., Walsh M.G., Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, Vol. 66, p. 988.
45. Tiwari S., Saha S., Kumar S., Prediction Modeling and Mapping of Soil Carbon Content Using Artificial Neural Network, Hyperspectral Satellite Data and Field Spectroscopy, *Advances in Remote Sensing*, 2015, No. 4, pp. 63–72.
46. Wang D.-C., Zhang G.-L., Zhao M.-S., Retrieval and Mapping of Soil Texture Based on Land Surface Diurnal Temperature Range Data from MODIS, *PLoS ONE*, 2015, Vol. 10 (6), e0129977.
47. Wang L., Qu J.J., Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review, *Frontiers of Earth Science in China*, June 2009, Vol. 3, No. 2, pp 237–247.
48. Zhai Y.S., Thomasson J.A., Boggess J.E., Sui R.X., Soil texture classification with artificial neural networks operating on remote sensing data, *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, Vol. 54, pp. 53–68.