

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Почвенный институт имени В. В. Докучаева»

И. Ю. Савин, В. С. Столбовой, А. Л. Иванов,  
Е. Ю. Прудникова, А. В. Жоголев, А. Я. Воронин

# **ТЕХНОЛОГИИ СОСТАВЛЕНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ КАРТ**

Под редакцией академика РАН  
**А. Л. Иванова**

Издательство «Перо»  
Москва 2019

УДК 631.48  
ББК 40.3  
Т38

**Рецензенты:**

академик РАН, профессор, д. э. н. *С. Н. Волков*  
член-корреспондент РАН, профессор, д. б. н. *С. А. Шоба*

**Под редакцией**

академика РАН *А. Л. Иванова*

**Савин И. Ю., Столбовой В. С., Иванов А. Л. и др.**

Т38 Технологии составления и обновления почвенных карт /  
Авт. И. Ю. Савин, В. С. Столбовой, А. Л. Иванов, Е. Ю. Прудни-  
кова, А. В. Жоголев, А. Я. Воронин. – М.: Издательство «Перо»,  
2019. – 328 с.

ISBN 978-5-00150-055-1

В книге проведен анализ технологий, подходов и методов, используемых при картографировании почв и обновлении почвенных карт. Рассмотрены традиционные методы картографирования почв, подходы, основанные на анализе данных дистанционного зондирования, геоинформационных технологий, технологии так называемого цифрового картографирования почв, а также специфика и возможности использования технологий георадарного профилирования при картографировании почв.

Монография аккумулирует опыт почвенно-картографических работ, накопленный в Почвенном институте им. В. В. Докучаева, который является методическим центром в этой области почвоведения на протяжении многих десятилетий.

Книга рассчитана на специалистов в области почвенного, почвенно-экологического, почвенно-агрохимического, ландшафтного картографирования и смежных дисциплин.

*Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-016-00052  
и гранта Президиума РАН.*

ISBN 978-5-00150-055-1

© Савин И. Ю., Столбовой В. С., Иванов А. Л.,  
Прудникова Е. Ю., Жоголев А. В., Воронин А. Я., 2019

Ministry of Science and Highest Education of Russian Federation  
Russian Academy of Sciences  
Federal State Budget Scientific Organization  
«V. V. Dokuchaev Soil Science Institute»

I. Savin, V. Stolbovoy, A. Ivanov, E. Prudnikova,  
A. Zhogolev, A. Voronin

# **SOIL MAPPING AND UPDATING TECHNOLOGIES**

**Under editorship of Academician of RAS  
A. L. Ivanov**

Publishing house «Pero»  
Moscow 2019

UDC 631.48  
BBK 40.3  
T38

**Reviewers:**

academician of RAS, professor *S. N. Volkov*  
corresponding member of RAS, professor *S. A. Shoba*

**Under editorship of Academician of RAS**

*A. L. Ivanov*

**Savin I., Stolbovoy V., Ivanov A. and other**

T38 Soil mapping and updating technologies / Aut. I. Savin, V. Stolbovoy, A. Ivanov, E. Prudnikova, A. Zhogolev, A. Voronin. – M.: Publishing house «Pero», 2019. – 328 p.

ISBN 978-5-00150-055-1

The book analyzes the technologies, approaches and methods used in soil mapping, and soil maps updating. The traditional methods of soil mapping, approaches based on the analysis of remote sensing data, geo-information technologies, technology of the so-called digital soil mapping, as well as the specifics and possibilities of using GPR profiling technologies in soil mapping are highlighted.

The monograph accumulates the experience of soil-cartographic work accumulated in the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, which has been a methodical center in this field of soil science for many decades.

The book is designed for specialists in the field of pedology, soil-ecological, soil-agrochemical, landscape mapping and related disciplines.

© Savin I., Stolbovoy V., Ivanov A.,  
Prudnikova E., Zhogolev A., Voronin A., 2019  
ISBN 978-5-00150-055-1

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	7
Традиционное картографирование почв .....	14
ГИС и почвенная картография.....	21
Региональная номенклатурно-таксономическая детализация Единого государственного реестра почвенных ресурсов России.....	90
Дистанционные технологии при картографировании почв и их свойств .....	106
Использование технологий цифровой почвенной картографии .....	162
Масштаб в современной почвенной картографии .....	194
Георадарные методы картографирования почв .....	203
Заключение .....	230
Литература.....	232
Приложения .....	263

## Обозначения и сокращения

БД – база данных

БПЛА – беспилотный летательный аппарат

ГИЗР – государственный институт земельных ресурсов

ГИПРОЗЕМ – государственный институт проектирования земель

ГИС – географические информационные системы

ГПК – государственная почвенная карта

ГУГК – государственный комитет по геодезии и картографии

ДДЗ – данные дистанционного зондирования

ДМ – дистанционные методы исследований

ЕГРПР – Единый государственный реестр почвенных ресурсов России

ИПГИС – инвентаризационно-почвенная ГИС

ПК – почвенная карта

ПП – почвенный покров

СОС – спектральная отражательная способность

СПП – структура почвенного покрова

СУБД – система управления базами данных

ЦПК – цифровая почвенная картография

ЭПС – элементарная почвенная структура

FAO – всемирная продовольственная организация

GPS – система глобального позиционирования

ILWIS – интегрированная информационная система о землях и водах

ISRIC – международный почвенный информационно-справочный центр

NDVI – вегетационный индекс нормализованной разницы

SGDBEC – почвенно-географическая информационная система Европейского Союза

SOTER – цифровая база данных почв и земной поверхности

SRTM – глобальная база данных абсолютных высот местности

## ВВЕДЕНИЕ

Прикладное почвоведение невозможно без информации о географическом распространении почв и знаний их биологических, химических, физических и других свойств. Решение любых практических задач, особенно в сельском хозяйстве, земельном кадастре и экологии опирается на эти знания, обобщенные в виде почвенной карты и сопровождающего ее текстового материала, полученного в результате почвенно-картографических исследований и обработки собранных данных. Поэтому картографии почв уделяется большое внимание во всех развитых странах Мира.

Почвенная карта отражает все знания о географии почв региона, имеющиеся на момент ее составления, а также служит источником информации о конкретных свойствах почв, которые нужны для оценки почвенных и земельных ресурсов.

Существовавшая в советское время система картографирования почв была практически уничтожена в начале 90-х годов прошлого века. В настоящее время наблюдается постоянно возрастающий спрос на актуальные почвенные данные, но почвенные карты, созданные в советское время, сильно устарели и не могут служить в качестве основы для решения многих важных хозяйственных задач.

Возрождение почвенной картографии в настоящее время возможно на основе использования новых технологий, связанных с использованием компьютерной техники, данных дистанционного зондирования, новых приборов и оборудования.

Как известно, почвенная карта является пространственной моделью почвенного покрова, которая аккумулирует знания почвовед-картографа о географии почв региона. Но, кроме

того, она также является средством перехода от теоретического почвоведения к решению практических задач, которые в большинстве случаев имеют пространственный характер. Более того, во многих случаях при решении практических задач, требуется анализ не положения почв в той или иной классификации, а конкретных свойств почв. В идеале необходимы карты отдельных свойств почв. Основным путем их получения является «экспертное приписывание» тех или иных значений свойств к их классификационному наименованию и «перекрашивание» традиционно созданной почвенной карты в карты отдельных свойств. В результате получают картограммы отдельных свойств, которые и используются для решения практических задач (Кирюшин, Кирюшин, 2015). Но во многих случаях получаемые таким образом карты отдельных свойств почв являются очень огрубленными и схематичными, так как реальная география отдельных свойств почв часто не коррелирует с контурами на обычной почвенной карте.

Кроме того, необходимо учитывать, что любое картографирование почв всегда было очень затратным. Поэтому перед почвоведцами всех поколений всегда стояла задача повышения точности почвенных карт и понижения затратности их создания.

Еще со времен В. В. Докучаева (более 100 лет назад) широко обсуждалась проблема методов картографирования почв (Левицкий, 1907; Нефедов, 1914). Г. Ф. Нефедов предлагал картографировать почвы в виде отдельных слоев их свойств, опираясь на регулярную или нерегулярную сетку точек полевого обследования. Он, в свою очередь, базировался на работах С. В. Щусьева, П. Ф. Баркова и других почвоведов (Левицкий, 1907), развивающих данное направление картографирования почв (назовем его условно «точечное»). В результате дискуссии приоритетное развитие получило направление школы В. В. Докучаева, базирующееся на подходах «факторного» картографирования почв, суть которого заключается в поисках

экологической ниши конкретной почвы и в идее о том, что при определенном сочетании факторов почвообразования может сформироваться лишь определенная почва.

Основное различие этих методов заключается в том, что границы между почвенными ареалами при точечном картографировании проводятся путем интерполяции между точками, а при факторном эти границы предопределяются границами факторов (рельефа, растительности, геологического строения, климата и т. д.). Кроме того, методы точечного картографирования были предложены для картографирования отдельных свойств почв, а факторные методы – для картографирования почв в терминах принятой классификации.

Основным недостатком методов точечного картографирования является большая трудоемкость. Для точного проведения границ необходимо заложение большого количество точек полевого обследования почв. Картографирование почв больших территорий этим методом очень затратно, зачастую практически невозможно и при мелкомасштабных работах может приводить к большим ошибкам в точности наведения почвенно-географических границ.

С другой стороны, при крупномасштабных работах, особенно при картографировании отдельных свойств почв, этот метод без сомнения может дать более точные результаты, чем факторный метод.

Установление почвенных границ при картографировании факторным методом осуществляется на основе данных описания полевых разрезов, заложенных в соответствии с представлениями о специфике так называемых почвенно-ландшафтных связей, и непосредственную границу устанавливают в большинстве случаев экспертным путем, базируясь на анализе пространственного варьирования рельефа и иных факторов почвообразования (Общесоюзная инструкция..., 1973). Объектом картографирования почв этим методом являются выделы почв определенного классификационного положения. Это оз-

начает, что при использовании разных классификационных схем можно получить разную сеть контуров, то есть разные почвенные карты. Следовательно, конкретная почвенная карта, составленная таким методом, может служить основой для получения точной информации лишь о географии тех свойств почв, которые значимы в рамках используемых классификационных построений. При этом, конечно же, часть свойств почв коррелирует в большей или меньшей степени с классификационно значимыми (Докучаев, 1950; Тюремнов, 1925; Кирсанов, 1935; Закономерности..., 1970; Сорокина, 1971), но существует группа свойств, часто не обнаруживающая подобной корреляции (например, агрохимические свойства почв, влажность и т. п.). С другой стороны, для оценки почвенных ресурсов (что и является одним из главных назначений почвенной карты) может возникнуть необходимость анализа специфики пространственного варьирования большего количества свойств почв. Например, согласно анализу специалистов ФАО (Guidelines..., 1983), при оценке земель только для растениеводства может быть задействовано около 55 свойств почв. При этом географию (закономерности пространственного варьирования) многих из них нельзя описать путем экспертного анализа классификационного положения почвы, и это означает, что информации традиционно составленной почвенной карты может быть недостаточно для оценки земель.

Кроме того, при факторном картографировании имеет большое значение качество информации о самих факторах почвообразования. Использование недостаточно качественных данных при картосоставлении приводит к созданию некондиционной почвенной карты. Наиболее существенное значение это приобретает при картографировании почв в терминах Классификации и диагностики почв 2004 года (Шишов и др., 2004). Присутствие в классификации большого количества антропогенно преобразованных почв приводит к повышенной важности информации о географии именно

этого (антропогенного) фактора почвообразования. Причем не только в его современном виде, а с учетом его изменений как минимум за последнее столетие. В настоящее время еще не созданы подходы создания подобных карт антропогенного фактора, что делает использование вышеназванной классификации для картографирования почв (особенно в крупном масштабе) на основе факторных подходов очень трудным, если не невозможным.

В 80-е годы прошлого века И. Н. Степанов предложил свой оригинальный метод картографирования почв – метод пластики рельефа (Степанов и др., 1983). Этот метод можно считать некоей разновидностью факторных подходов, при которой ведущая роль при картографировании придается рельефу. Своеобразный «каркас» почвенной карты при этом подходе образует нулевая морфоизографа (линия перегиба склона), которая теоретически разделяет участки склона с потенциальным смывом и намывом почвы. Таким образом делается попытка внесения на почвенную карту информации о протекающих процессах (или о потенциальных возможностях их протекания). Но нет доказательств того, что нулевая морфоизографа совпадает с границами почвенно-географических выделов, или же соответствует границам между какими-либо грациями свойств почв. Таким образом, на почвенной карте появляется граница, которая почвенно-географически не обусловлена. Следовательно, почвенная карта, построенная методом пластики рельефа, дает искаженное представление о географии почв.

С другой стороны, метод пластики рельефа может рассматриваться как предтеча современных методов цифрового картографирования почв.

Бурное развитие геоинформатики привело в 90-е годы прошлого века к внедрению в почвенную картографию ГИС технологий. На первых порах ГИС использовалась лишь как средство цифрового хранения отвекторизованных традици-

онно созданных почвенных карт и их совместного анализа с другими векторными картами (Савин, 2003). Дальнейшее развитие в этом направлении привело к созданию методов цифрового картографирования почв (Цифровая почвенная..., 2012), суть которых сводится к автоматизированному выявлению и формализации связей почва – факторы почвообразования с целью их дальнейшего использования для автоматизированного построения цифровых почвенных карт или карт отдельных свойств почв.

По сути, методы цифровой почвенной картографии базируются на данных полевых точечных обследований (или на данных архивных почвенных карт) и пространственной цифровой информации о факторах почвообразования. Таким образом, они являются неким симбиозом на современном техническом уровне точечных и факторных методов. Эти методы позволяют автоматизировать и сделать более объективными многие этапы традиционного почвенного картографирования вплоть до полной их имитации (Жоголев, Савин, 2016). При этом те границы между почвами или градациями свойств почв, которые раньше почвовед проводил экспертно визуально, в рамках этих методов, устанавливаются на основе статистического анализа данных и компьютерного моделирования.

Точная информация о географии некоторых свойств почв может быть получена на основе данных дистанционного зондирования (аэро-, спутниковых, полученных с беспилотных летательных аппаратов, с использованием георадарного профилирования) (ДДЗ) (Симакова, Савин, 1998; Прудникова, 2013). Преимуществом методов картографирования свойств почв по ДДЗ является то, что возможна точная регистрация реальных пространственных границ перепада в отдельных свойствах почв. Причем, в большинстве случаев речь идет о свойствах, которые наиболее важны для решения практических задач. Но дешифрирование классификационного поло-

жения почв по характеру их изображения на ДДЗ возможно преимущественно на изображениях низкого пространственного разрешения. То есть, методы картографирования, построенные на использовании ДДЗ более точны и объективны при крупномасштабном картографировании свойств почв, но не всех, не везде, и только свойств верхнего горизонта. Методы, основанные на использовании ДДЗ, успешно применяются лишь при мелкомасштабном картографировании почв, а также для обновления среднемасштабных почвенных карт (Савин, Овечкин, 2014). При этом существуют большие перспективные, еще не исследованные, возможности этих методов.

В настоящий момент наблюдается тенденция все большего сопряжения методов цифровой картографии почв и методов, основанных на ДДЗ, которые могут служить как источником информации о географии отдельных свойств почв, так и источником данных о факторах почвообразования. Совместное использование этих методов уже в ближайшей перспективе позволит автоматизировать многие этапы составления почвенных карт и особенно карт отдельных свойств почв. Перспективным выглядит также использование данных георадарного профилирования.

Целью настоящей монографии является изложение сути методических подходов и технологий, используемых для картографирования почв и их свойств, анализ их преимуществ и недостатков на современном этапе развития науки.

## ТРАДИЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВ

Традиционное картографирование почв, базирующееся на идеях В. В. Докучаева, до сих пор является теоретической основой для составления почвенных карт, но на новом технологическом уровне. Пика своего развития традиционные методы достигли в советское время. В СССР существовала научно-обоснованная система инвентаризации и мониторинга почвенных ресурсов, нацеленная на создание почвенных карт (ПК).

В зависимости от назначения ПК разделялись по масштабам на 5 категорий, определяющих уровень обобщения почвенного покрова (ПП): детальные – почвенные планы и карты масштаба 1:5000 и крупнее; крупномасштабные – ПК масштабов 1:10000–1:50000; среднемасштабные – 1:100000–1:200000; мелкомасштабные – 1:500000–1:1000000 и обзорные – мельче 1:1000000 (Симакова, Андроников, 1999).

Детальные и крупномасштабные почвенные карты создавались на основе данных полевых обследований почв на основе специально разработанных методик и инструкций (Общесоюзная..., 1964, 1973; Временные указания..., 1976). Границы почвенно-географических выделов на этих картах рисовались вручную по топооснове с учетом специфики рельефа и заложенных в поле разрезов и прикопок. Иногда для проведения границ на картах использовались данные дешифрирования аэроснимков.

Среднемасштабные карты в отдельных случаях строились путем прямой генерализации крупномасштабных карт и уложения генерализованных выделов на топооснову соответствующего масштаба (с учетом карт факторов почвообразования). При отсутствии крупномасштабных почвенных карт среднемасштабные карты строились с использованием полевых маршрутных и маршрутно-ключевых исследований. Гра-

ницы контуров при этом определялись путем анализа карт факторов почвообразования (рельефа, четвертичных отложений, растительности).

Подобным же способом (генерализацией среднимасштабных почвенных карт) строились и мелкомасштабные почвенные карты.

Детальные почвенные исследования проводились на территориях государственных сортоиспытательных участков, для проектирования и закладки виноградников, садов, плантаций особо ценных культур, для детального обследования почв на «ключевых» участках при картографировании в более мелких масштабах и т. д. На этих картах отражались только элементарные почвенные ареалы и самостоятельное изображение имели все компоненты элементарных почвенных структур (ЭПС).

Крупномасштабные почвенные исследования были самым распространенным видом почвенной съемки, которую проводили Государственные научно-исследовательские и проектно-изыскательские институты по землеустройству (ГОСНИИ-ГИПРОЗЕМы), объединенные в РОСНИИЗЕМПРОЕКТ при Главном управлении землепользования и землеустройства МСХ СССР.

Составление крупномасштабных ПК проводилось по единой методике и под единым научно-методическим руководством. Они создавались на территории сельскохозяйственных предприятий и использовались при решении разнообразных агротехнических, мелиоративных, организационно-экономических и других проблем ведения сельского хозяйства.

Почвенный покров (ПП) на картах хозяйств генерализован в минимальной степени. Низшие таксоны почвенной классификации (виды и разновидности) получали самостоятельное изображение на этих картах. Подобные почвенные карты обновлялись приблизительно раз в 10–15 лет.

Среднемасштабные ПК путем полевых исследований составлялись на отдельные крупные природные объекты или

достаточно крупные административные единицы. Цель – получение информации о почвенных ресурсах региона для разработки дальнейшего плана его развития. В частности, в советское время были составлены: Почвенно-мелиоративная карта на Прикаспийскую низменность, Почвенные карты на Зейско-Буреинскую низменность и Читинскую область в масштабах 1:200000. Карты сопровождалось подробным описанием природных условий, свойств почв и их плодородия, рекомендациями по рациональному использованию почв (Ливеровский, 1955; Рубцова, 1959; Ногина, 1960; Почвы комплексной..., 1964; Ливеровский, Рубцова, 1962).

Среднемасштабные ПК на территории административных районов и областей создавались также путем генерализации крупномасштабных ПК. Наиболее широко эти работы проводили ГОСНИИГИПРОЗЕМы начиная с середины 70-х годов 20 в. Работы выполнялись по временным указаниям и инструкциям (Временные указания..., 1976).

После 1985 года ряд областных ПК составлены по методике И. Н. Степанова (Степанов и др., 1983) с использованием метода «пластики рельефа» и содержат большие искажения в геометрической точности и географической верности отображения ПП (Симакова, 1988). Областные ПК были составлены на 46 областей, краев, республик СССР в масштабе 1:200000–1:400000, из них 18 составлены методом пластики рельефа (Симакова, Андроников, 1999).

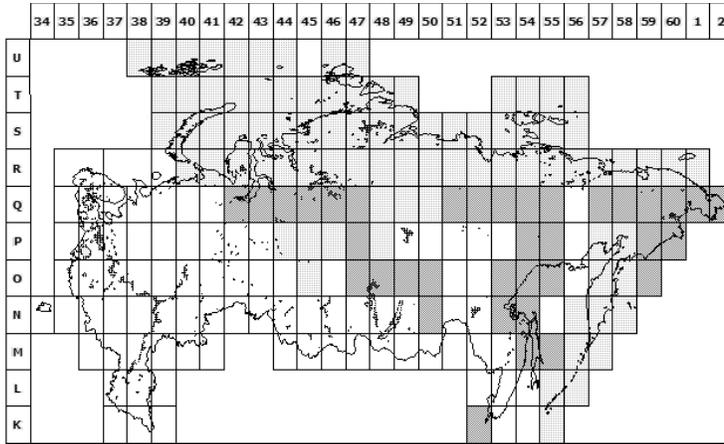
На протяжении более 60 лет в СССР велись работы по составлению Государственной ПК (ГПК) масштаба 1:1000000. ГПК составлялась на всю территорию СССР по листно в разграфке Государственной топографической карты масштаба 1:1000000. Наряду с Почвенным институтом им. В. В. Докучаева в составлении ГПК принимали участие все основные профильные учреждения страны. Карта издавалась Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР.

Программа составления ГПК предусматривала полевые работы, проводимые как маршрутным, так и ключевым методами. Широко привлекались литературные и фондовые материалы, характеризующие почвы и ПП. Использовались также различные факторные (тематические) карты (Герасимов, 1947, 1949; Герасимова и др., 2010). Топографической основой ГПК служили не только базовая топографическая карта масштаба 1:1000000, но и топографические карты более крупного масштаба (1:300000–1:200000), что привело к заметному улучшению анализа рельефа. С появлением космических снимков, использовались и они (дешифрирование проводилось визуально).

ГПК отличается большой информативностью. Её легенда включает выделы почв на уровне вида, характеристику гранулометрического состава почв и почвообразующих пород, петрографо-минералогического состава плотных пород, генезиса рыхлых отложений, выделы поверхностных образований не почвенной природы. Дается информация о карбонатности рыхлых отложений, о наличии криогенных нарушений в профиле почв, длительной сезонной и постоянной мерзлоты, её состоянии (сухая, льдистая) и др.

Работы по созданию ГПК были начаты с сельскохозяйственных территорий России, западных и южных союзных республик СССР. К составлению карты на северные территории и азиатскую часть России приступили в последнюю очередь, где работы были особенно осложнены трудной доступностью, малой освоенностью территории и чрезвычайно малой изученностью почв.

К настоящему времени на территорию Российской Федерации составлено и издано ГУГКом примерно 70 листов карты и около 30 листов на бывшие союзные республики, всего около 100 листов. Остальные листы, все на зауральскую часть России готовы в виде авторских оригиналов. Последние 4 листа на Восточную Сибирь были изданы в 2002 г. (рис. 1).



**Рис. 1.** Состояние листов ГПК на 2019 год  
 (белый цвет – изданные листы ГПК, светло-серый цвет –  
 рукописные листы ГПК, темно-серый цвет – листы ГПК отсутствуют)

Почвенный покров России в целом нашел отражение на ряде обзорных ПК СССР масштабов 1:4000000–1:10000000. Почвенная карта СССР масштаба 1:4 000 000 (Розов, 1954), составленная Н. Н. Розовым при участии Е. В. Лобовой, получила на выставке в Брюсселе Большую золотую медаль.

Наиболее информативной обзорной почвенной картой является Почвенная карта РСФСР масштаба 1:2500000 на 16 листах, составленная Почвенным институтом им. В. В. Докучаева под редакцией В. М. Фридланда (Почвенная карта..., 1998). Карта издана в двух вариантах – с показом и без показа гранулометрического состава почв. На карте отражены основные закономерности географии почв – широтная зональность, фациальность и вертикальная поясность. Впервые была широко показана структура ПП как на мезо-, так и микроуровне.

В 1995 г. на географическом факультете Московского государственного университета под редакцией М. А. Глазовской была составлена Почвенная карта Российской Федерации и сопредельных государств в масштабе 1:4000000 (Почвен-

ная карта, 1995). Карта входит в издаваемую географическим факультетом вторую серию карт для высшей школы и имеет учебно-справочное назначения.

На основе существующих обзорных ПК при дополнении их специальной информацией, Почвенным институтом им. В. В. Докучаева созданы Почвенно-эрозионные карты масштабов 1:5000000 и 1:2500000 (Соболев, Садовников, 1968). Последняя составлена в 1991 г. в границах СССР под редакцией А. Н. Каштанова, Л. Л. Шишова по комплексной программе и методике, разработанной Почвенным институтом им. В. В. Докучаева при участии Московского Государственного университета им. М. В. Ломоносова, Института географии РАН, Росземпроекта и является результатом труда 42 учреждений-соисполнителей. Это первая обзорная почвенная карта, базирующаяся на фактических материалах крупномасштабных почвенно-эрозионных обследований. Карта издана отдельно на Европейскую и Азиатскую часть России (Государственная почвенно-эрозионная..., 2001) и сопровождаются объяснительными записками (Эрозия почв..., 2001, 2004).

В обзорном масштабе составлены также карты различных видов районирования территории СССР. В 1965 г. в Почвенном институте им. В. В. Докучаева составлена Почвенно-агрохимическая карта земледельческих районов СССР, масштаб 1:8000000, редакторы: А. В. Соколов, Н. Н. Розов, Е. Н. Руднева (Почвенно-агрохимическая..., 1965).

Карта почвенно-географического районирования СССР составлена в масштабе 1:8000000 Московским Государственным университетом под редакцией Г. В. Добровольского (Карта почвенно-географического..., 1983).

Карта Природно-сельскохозяйственного районирования земельного фонда СССР была составлена в ГИЗРе в масштабе 1:8000000. Научно-методическое руководство и редактирование специального содержания карты проведены Д. И. Шашко, Е. И. Гайдамакой, А. Н. Каштановым, С. И. Носовым, Ю. В. Фе-

дориным, О. К. Замковым, П. Ф. Лойко, Н. Н. Розовым (Карта природно-сельскохозяйственного..., 1984).

Карта почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины, затем всей Российской Федерации масштабов 1:2500000 составлены в 1997 и 2013 гг МГУ под редакцией Г. В. Добровольского, И. С. Урусевской (Карта почвенно-экологического..., 1997, 2013).

Таковы основные результаты традиционных почвенно-картографических исследований советского времени.

## ГИС И ПОЧВЕННАЯ КАРТОГРАФИЯ

С развитием компьютерной техники и появлением географических информационных систем (ГИС), традиционная картография почв претерпела сильные изменения. Несмотря на то, что компьютерные подходы к картографированию почв являются естественным развитием традиционных и дистанционных, их внедрение открыло, по существу, новый этап в развитии почвенной картографии. По прогнозу одного из виднейших экспертов в области картографии Дж. Моррисона, сделанному в конце 20 века, будущее мировой картографии принадлежит именно компьютерным технологиям (Моррисон, 1996). С его точки зрения (с которой согласились и отечественные картографы (Берлянд, 1997) «использование компьютерных технологий означает конец трехсотлетнего периода картографического черчения...» (там же, с. 46). И этот прогноз полностью сбылся. В настоящий момент бумажные почвенные карты практически не выпускаются (за исключением атласов, часть которых до сих пор все еще издается традиционно на бумаге).

Переход от бумажных почвенных карт к компьютерным начал осуществляться в конце 20 века, но до сих пор еще до конца не завершен. В это время проводилась массовая оцифровка (векторизация) традиционно изданных бумажных почвенных карт и создание на их основе геоинформационных баз данных. То есть традиционные почвенные карты трансформировались в почвенно-географические базы данных, в которых контуры бумажной карты образовывали геометрическую (векторную) часть базы данных, а информация легенды привязывалась к контурам в виде атрибутивной части базы данных. Иногда в атрибутивную часть базы данных вносилась и дополнительная информация о почвах и почвенном покрове территории, а в геометрическую часть базы данных – информацию о конкретных разрезах и точках отбора образцов с географической привязкой.

Все это создавало принципиально новые возможности не только для инвентаризации информации о почвах, но и для прикладного анализа и моделирования с использованием других слоев пространственной информации в ГИС, которых при традиционном картографировании и использовании почвенных карт не существовало. При этом существенно снизилась важность визуального представления почвенно-географической информации. При традиционном картографировании оформление почвенной карты имело огромное значение. Удобство «чтения» карты и специфика отображения информации о почвах на ней значительно упрощали прикладное использование почвенных карт. При использовании ГИС анализ почвенной информации и моделирование осуществляется компьютером на основе заданных экспертом алгоритмов. В этом случае значимость цветового, штрихового и т. п. оформления карты, а также ее распечатанного варианта не имеет такого большого значения. Обычно работа по оформлению компьютерного варианта почвенной карты осуществляется лишь в демонстрационных и учебных целях. При этом почвенные данные базы данных (БД) ГИС могут быть визуализированы практически в любом масштабе и любой картографической проекции, с применением любой цветовой гаммы и любых условных значков.

Информация о почвах, содержащаяся в БД ГИС может быть визуализирована как в векторном виде (в виде контуров), так и в виде растрового изображения, каждая точка которого визуализирует почвенные данные.

Обычно ГИС позволяет легко осуществлять переход от одного типа представления данных к другому. Визуализировать можно как отдельные атрибуты БД ГИС (например, классификационное название преобладающей почвы), так и их всевозможные производные (например, может быть визуализирован метровый слой запаса гумуса рассчитанный на основе данных двух слоев БД ГИС – «мощность А1» и «содержание гумуса в А1»).

В случае, когда геометрическая часть БД информационно-почвенной ГИС (ИПГИС) основана на оцифровке конкретной почвенной карты, то средствами ГИС можно воспроизвести ее в разных видах, в т.ч. и в виде, практически неотличимом от бумажного оригинала.

Несмотря на огромные технические возможности, при визуализации почвенной информации на основе ГИС необходимо учитывать следующие моменты:

1. Представление почвенной информации в масштабе более крупном, чем масштаб почвенной карты, послужившей в качестве основы для создания почвенной ГИС, не приводит к увеличению информации о почвах. Так, например, почвенные данные ГИС, построенной на базе ПК масштаба 1:5 млн. можно, в принципе, представить в виде растрового изображения с размером пикселя (растра) в несколько метров, но объем почвенной информации от этого не возрастет.
2. Процесс визуализации информационной ГИС в более мелком масштабе, чем масштаб исходной ПК, не приводит к потере почвенной информации БД, т. к. вся информация атрибутивной части БД продолжает сохраняться даже в случае отсутствия контура геометрической БД на дисплее монитора или же в распечатках карты (геометрическая же информация при этом может быть не видна глазом).
3. Информацию, хранящуюся в БД ГИС в растровом формате можно представить в векторном виде и наоборот, данные, хранящиеся в векторном виде легко визуализировать средствами ГИС в растре. При осуществлении подобных переходов может, однако происходить потеря данных о геометрии контуров, изменение их площадей и границ, хотя и небольшая. Погрешность подобных трансформаций данных определяется спецификой алгоритма трансформации и параметрами визуализации (размер растра и т. п.)

Средства ГИС открыли широкие возможности для генерализации информации БД, с целью представления ее в более обобщенном виде. Алгоритмы генерализации могут быть самыми различными, но в отличие от традиционной картографической генерализации, они обязательно должны быть формализуемы. По аналогии с традиционной картографической генерализацией в ГИС-технологиях можно говорить о контурной и содержательной генерализации. Контурная генерализация осуществляется путем удаления контуров, размеры которых меньше данных в алгоритме, а также путем сглаживания границ геометрической части БД. Для осуществления контурной генерализации наиболее часто используют, так называемые, приемы фильтрации. Так, в ГИС, построенных на базе ILWIS, возможно для этих целей использовать несколько десятков стандартных фильтров, а также фильтры, определяемые пользователем.

Стандартные фильтры ГИС можно подразделить на следующие группы:

1. линейные
2. осредняющие
3. градиентные
4. медиальные
5. модальные

С точки зрения особенностей почвенных ГИС, например, модальные фильтры наиболее целесообразно использовать для устранения мелких контуров, образующихся при трансформации почвенных карт из векторного формата в растровый, для сглаживания границ оптимальным выглядит использование медиальных фильтров. Градиентные фильтры наиболее хороши для трансформации растровых изображений в векторный формат, для построения слоев почвенных свойств, представляемых в растровом формате.

При осуществлении компьютерной генерализации содержание полностью генерализованных контуров может уда-

ляться из атрибутивной части БД, а может быть сохранено в атрибутивной части БД без изменений.

В случае, когда почвенная ГИС создается на основе не почвенных карт, а точечных полевых наблюдений или их литературных описаний, наиболее важной задачей при визуализации почвенной информации является их представление в пространстве, то есть экстраполяции точечных данных. Для осуществления пространственной экстраполяции точечных почвенных данных может быть использован следующий подход.

На первом этапе осуществляется анализ пространственной корреляции отдельных атрибутов БД ГИС между собой, с иными компонентами ландшафта и с характером изображения территории на ДМ. На основе данного анализа, определяется, с какими другими свойствами экстраполируемый почвенный атрибут достоверно коррелирует и какова специфика его пространственного варьирования. По результатам анализа определяется дальнейшая стратегия экстраполяции. В случае наличия тесной автокорреляции выбирается один из простых приемов пространственной экстраполяции данных, основанный на использовании лишь данных об экстраполируемом свойстве (Cressie, 1993; Stein, 1998). Для этого применяются следующие методы простой экстраполяции:

*а) построение трендовых поверхностей.*

В рамках этого метода производится поиск геометрической поверхности, в наибольшей степени коррелирующей с полем, которое задается набором точек с данными. Трендовая поверхность, соответственно, может выражаться уравнениями разного типа: линейной функции, параболической функции разных порядков и т. п.

*б) построение осредненных поверхностей методом скользящего среднего.*

В рамках этого подхода для каждого пикселя производной карты рассчитывается расстояние до всех имеющихся точек

с данными (в заданном пользователем круге вокруг пикселя). После этого, в зависимости от расстояния каждой точке с данными присваивается свой вес в соответствии с выбранным пользователем предполагаемым типом распределения данных. Затем считается средняя величина экстраполируемого параметра для пикселя.

*в) интерполяция с использованием метода кригинга.*

Существует несколько разновидностей кригинга (простой, обыкновенный, ко-кригинг и др.). В большинстве случаев принципы интерполяции кригинга близки к таковым метода скользящих средних. Но в отличие от него, при использовании кригинга весовой фактор определяется путем построения семи-вариограмм (по заданному пользователем закону) по всем направлениям от расчетного пикселя к входным точкам с данными. Весовой фактор при этом рассчитывается таким образом, чтобы ошибка интерполяции для каждого пикселя была минимальной. При интерполяции точечных данных методом кригинга существует возможность построения дополнительно к карте интерполяции – карты ее ошибок.

Таким образом, важным преимуществом ГИС-технологий при визуализации почвенных данных в отличие от традиционных ПК являются их гибкость к формату, масштабу, изобразительным характеристикам результата визуализации. В отличие от традиционных ПК, в почвенных ГИС может без труда быть визуализирован и проанализирован, по отдельности или совместно, любой слой информации о почвах и ПП, хранящийся в БД. Это дает основание говорить о почвенных ГИС, как о новом, более прогрессивном методе хранения и представления почвенной информации по сравнению с традиционными почвенными картами, внедрение которого открыло широкие возможности манипулировать с отдельными слоями почвенных данных в сочетании с иной

пространственной информацией для получения любого количества производных интерпретационных и прикладных почвенных карт.

При наличии пространственной корреляции с иными свойствами, пространственная БД которых уже существует, или же с характером изображения территории на ДДЗ, пространственная экстраполяция почвенных свойств должна осуществляться на основе анализа специфики этой взаимосвязи. Статистический анализ взаимосвязи свойства почв с существующим пространственным слоем иной информации может служить основой для построения регрессивного уравнения, на основе которого и производится впоследствии пространственная экстраполяция свойства почв.

В случае, когда анализ пространственной корреляции и автокорреляции не выявляет каких-либо взаимосвязей, для экстраполяции свойства почв используется простая экстраполяция с использованием метода ближайшего соседства. Суть этого метода заключается в том, что всем пикселям раstra, ближайшем к точке опробования присваивается величина свойства почв, равная таковой в точке опробования. Например, при последовательной корреляции свойств почв с иным параметрами было обнаружено, что такое свойство, как «мощность горизонта АВ» не имеет достоверной корреляции ни с одним из анализируемых параметров. Поэтому, для экстраполяции данного свойства был применен метод ближайшего соседства. В результате пространственной экстраполяции с использованием любого из вышеописанных методов, свойство визуализируется в растровом формате. При этом в зависимости от специфики применяемого алгоритма, результат визуализации, как правило, нуждается в некоторой генерализации. Затем изображение трансформируется в векторную форму, и для каждого полученного контура создается слой атрибутивной информации экстраполируемого свойства. После этого, созданная пространственная БД свойства может быть визу-

лизирована окончательно, или использована в дальнейшем анализе свойств почв и ПП.

При традиционном картографировании почв в зависимости от решаемых задач и уровня обобщения отображаемой почвенной информации создаются почвенные карты разных масштабов, которые отличаются друг от друга степенью детальности, насыщенности отображаемой информации и ее генерализованности. С момента становления почвоведения как науки делались попытки определить основные, «базовые» масштабы для почвенных карт, которые позволяли бы отображать почвенно-географическую информацию для решения специфичных задач на уровне отдельных административных образований или же географических регионов. В 1887 году В. В. Докучаев писал, что «необходимо различать масштаб карты (почвенной) всей России, масштаб карты целой губернии и масштаб карты одного уезда или отдельной волости и поместья...» (с. 359 «О нормальной оценке почв Европейской России», собр. соч. т. 4, АН СССР, М. – Л., 1950). Впоследствии, для решения задач на разных уровнях обобщения, почвенные карты были классифицированы в соответствии с их масштабом на обзорные, региональные, мелко, средне, крупномасштабные, детальные (Салищев, 1987), разработан ряд методических рекомендаций по составлению почвенных карт разных масштабов (Долгова, 1979; Составление областных..., 1990 и др.).

Базируясь на анализе литературных данных об использовании ГИС для создания почвенных баз данных (БД) (Engelen, Wen, 1993; Le Bas, Jamagne, 1996 и др.), а также на результатах апробации западных технологий в России (Столбовой, Савин, 1996) можно отметить, что оптимальными являются следующие принципы использования ГИС-технологий для хранения и анализа почвенно-географической информации.

Инвентаризация информации о почвенном покрове осуществляется в виде создания инвентаризационной почвен-

ной геоинформационной системы (ИПГИС). В идеальном варианте ИПГИС должна базироваться на сетке разрезов, характеризующих неоднородности ПП. Причем, расположение разрезов должно осуществляться не на основе их равномерного распределения по территории с определенным шагом (как это делается в большинстве европейских стран), а с учетом пространственного варьирования фактов почвообразования (как при традиционном крупномасштабном картографировании почв). Все разрезы должны иметь четкую географическую привязку (географические координаты, полученные с использованием систем глобального позиционирования (GPS)), и должны быть охарактеризованы полным (по возможности) набором химических, физических, физико-химических, морфологических и иных почвенных свойств, определенных по стандартным общепринятым методикам. В качестве основы для создания подобной ИПГИС могли бы использоваться имеющиеся почвенные БД (Рожков, 1989), а также данные почвенных обследований РОСКОМЗЕМА, которые хотя и отличаются недостаточно точной географической привязкой разрезов, невыдержанностью принципов их сбора и характеристик и разной полнотой описания свойств, но при этом аккумулируют большую часть доступного фактического материала о конкретных почвенных разрезах. Понятно, что задача создания подобного идеального варианта ИПГИС для всей страны в ближайшие десятки лет вряд ли может быть решена физически. В связи с этим представляется целесообразным дифференцировать принципы создания ИПГИС с учетом уровня обобщения информации о ПП.

При этом необходимо иметь ввиду, что инвентаризация ПП, конечно же, не является самоцелью. Подразумевается, что данная информация будет использована для иных целей. В принципе, можно выделить несколько групп целей использования информации о ПП (рис. 2).



*Рис. 2. Цели ИПГИС*

Уровень обобщения информации о ПП можно определить опять же исходя из целевого назначения (табл. 1).

*Таблица 1*

### **Уровни обобщения информации о почвенном покрове**

уровень обобщения	группы целей		
	научные	учебно-демонстрационные	прикладной анализ
1	элементарный почвенный ареал, микроструктуры почвенного покрова	элементарный выдел землепользования	
2	микро- и мезоструктуры почвенного покрова	отдельное хозяйство	
3	мезоструктуры почвенного покрова	административный район	
4	почвенные районы	административная область	
5	почвенные округа	экономические районы или страна в целом	

На каждом уровне обобщения ИПГИС должна содержать возможности ее использования для разных целей, но все-

таки основное предназначение – анализ почвенных ресурсов, и их мониторинг. Для его обеспечения, конечно же, необходимо использовать ИПГИС в научных целях, а также – иметь возможность использование данных ИПГИС и их анализа в учебных и демонстрационных целях. Анализ ПП на разных уровнях обобщения имеет специфику, которую необходимо также учитывать при построении ИПГИС.

В таблице 2 представлен перечень основных задач, решение которых должна обеспечивать ИПГИС на разных уровнях обобщения.

Оптимальной для решения задач на 1 уровне является создание ИПГИС на комбинированных принципах построения, т. е. географическая часть БД должна содержать как геометрическую сеть выделов ПП, так и точечную информацию о почвах. Плотность необходимых точек – разрезов должна определяется степенью неоднородности ПП территории и должна обеспечивать надежность пространственной интерполяции и экстраполяции точечных наблюдений на всю территорию.

В соответствии с этими принципами должно быть определено местоположение отдельных точек. Геометрическая сеть выделов ПП должна быть получена путем интерполяции и экстраполяции данных точечных полевых наблюдений. При этом вряд ли целесообразно располагать точки с каким-либо строго заданным шагом. Более логично их располагать с учетом представлений о почвенно-ландшафтных связях и специфике латеральных потоков веществ, энергии и информацию в структурах почвенного покрова (СПП).

Планирование мест заложения точек должно осуществляться почвоведом в предполевой период на основе уже имеющейся информации о ПП, детальными данными о рельефе и с учетом специфики выделов землепользования (близость к лесным массивам, наличие лесополос, запруд в балках, оврагов...).

Таблица 2

## Целевое назначение ИПГИС

Уровень	Основные задачи
1	а) оценка пригодности земель под возделывания отдельных с/х культур, их рентабельности б) мониторинг плодородия почв (сезонные циклы), отд. свойств почв в) прогноз урожайности г) оценка стоимости и налога на землю, кадастр земель
2	а) оценка пригодности земель под возделывание отд. с/х и лесных культур, их рентабельность б) мониторинг изменений ИП (многолетние циклы) в) научное обоснование севооборотов г) оценка стоимости и налога, кадастр земель д) оптимизация структуры землепользования, нарезка полей, участков
3	а) оптимизация специализации сельскохозяйственных и лесохозяйственных предприятий б) ценовое, налоговое, социально-географическое и почвенно-экологическое зонирование, региональные ограничения на использование земель в) проектирование строительства дорог, карьеров, нефти-газопроводов, дачных участков. г) прогнозирование и сценарии развития чрезвычайных ситуаций
4	а) ценовое, налоговое, социально-географическое и почвенно-экологическое зонирование б) оценка продовольственного и лесохозяйственного ресурсного потенциала земель (самообеспечение продукцией сельского хозяйства, экспортно-импортная направленность)
5	а) размещение отраслей производства б) оценка продовольственного и лесохозяйственного ресурсного потенциала земель (самообеспечение продукцией сельского хозяйства, экспортно-импортная направленность) в) районирование сортов сельскохозяйственных культур

Часть данных точек должна нести дополнительную нагрузку – как точек осуществления мониторинга свойств почв в сезонном и многолетнем циклах. Географическая привязка данных точек должна осуществляться с использованием систем глобального позиционирования.

В качестве атрибутов БД ИПГИС на первом уровне рекомендуется использовать следующие:

- |  |  |
|--|--|
| 1. <i>классификационное положение почвы (на уровне вида-рода);</i> | 7. <i>причина ограничения мощности потенциального слоя корнеобитания</i> |
| 2. <i>тип поверхности почвы</i>                                    | 8. <i>тип почвообразующей породы</i>                                     |
| 3. <i>щебнистость (каменистость) поверхности почвы</i>             | 9. <i>мощность почвообразующей породы</i>                                |
| 4. <i>*цвет поверхности почвы</i>                                  | 10. <i>тип подстилающей породы</i>                                       |
| 5. <i>*скорость впитывания влаги с поверхности почвы</i>           | 11. <i>**уровень залегания грунтовых вод</i>                             |
| 6. <i>*мощность потенциального слоя корнеобитания</i>              |  |

Основные генетические горизонты почвы характеризуются следующими свойствами:

1. *порядковый номер горизонта с поверхности*
2. *наименование*
3. *\*\*глубина нижней границы горизонта*
4. *характер перехода к нижележащему горизонту*
5. *преобладающий цвет*
6. *окраска*
7. *цвет пятен*
8. *\*\*тип структуры*
9. *\*размер структурных элементов*
10. *обилие включений*
11. *тип включений*
12. *размер включений*
13. *класс грансостава*
14. *содержание песка*
15. *содержание ила*
16. *\*\*плотность*
17. *\*пористость*

18. *содержание влаги при разных  $pF$*
19. *\*\*влагопроводность*
20. *\*\*обилие новообразований*
21. *\*\*тип новообразований*
22. *\*\*размер новообразований*
23. *минералогический состав ила*
24. *\*\*содержание растворимых солей*
25. *\*содержание растворимого натрия*
26. *\*содержание растворимого калия*
27. *\*содержание растворимого кальция*
28. *\*содержание растворимого магния*
29. *\*содержание хлорид-иона*
30. *\*содержание сульфат-иона*
31. *\*содержание карбонат-иона*
32. *\*содержание бикарбонат-иона*
33. *\*содержание обменного кальция*
34. *\*содержание обменного магния*
35. *\*содержание обменного калия*
36. *\*содержание обменного натрия*
37. *\*содержание обменного алюминия*
38. *\*содержание обменного водорода*
39. *емкость катионного обмена*
40. *\*\* $pH$  водный*
41. *\*\* $pH$  солевой*
42. *\*\*содержание  $CO_2$ -карбонатов*
43. *\*\*содержание гипса*
44. *\*\*содержание гумуса*
45. *\*содержание общего азота*
46. *\*содержание доступного азота*
47. *\*содержание  $P_2O_5$*
48. *\*содержание обменного фосфора*
49. *\*содержание железа в дитионитной вытяжке*
50. *\*содержание железа в пирофосфатной вытяжке*
51. *\*содержание алюминия в дитионитной вытяжке*
52. *\*содержание алюминия в пирофосфатной вытяжке*

*Звездочкой в списке помечены свойства, которые должны являться объектом мониторинга. При этом, присутствие двух звездочек означает, что данное свойство является объектом мониторинга как на первом, так и на втором уровне обобщения.*

Данная информация является необходимой и достаточной для решения задач первого уровня обобщения (табл. 2).

На втором уровне обобщения геометрическая часть ИПГИС должна также носить комбинированный характер, и опираться как на картографические выделы, так и на точечные данные. В качестве контурной части должны использоваться преимущественно ареалы микроСПП. Поиск границ ареалов микроСПП должен осуществляться на основе использования данных о почвенно-ландшафтных связях и (или) на основе анализа дистанционных материалов. В каждом типе ареалов микроСПП должно быть заложено несколько репрезентативных разрезов (точки в БД) дающих представление о максимальном варьировании свойств почв внутри микроСПП. Местоположение точек также должно иметь строго фиксированные координаты (определенные с помощью GPS), что послужит основой для осуществления многолетнего мониторинга почв.

В качестве атрибутивной информации для почв выделов микроСПП рекомендуются следующие:

1. *тип микроструктуры почвенного покрова*
2. *классификационное положение преобладающей почвы*
3. *ее доля в контуре*
4. *классификационное положение сопутствующей почвы*
5. *ее доля в контуре*
6. *классификационное положение ассоциированной почвы*
7. *ее доля в контуре*

Каждая почва характеризуется:

1. *тип почвообразующей породы*
2. *мощность почвообразующей породы*
3. *тип подстилающей породы*
4. *уровень залегания грунтовых вод*

В качестве атрибутов для описания генетических горизонтов репрезентативных разрезов оптимально использовать те же свойства, что и для первого уровня обобщения.

На третьем и четвертом уровнях обобщения геометрическая основа ИПГИС должна создаваться с использованием методов компьютерной имитации традиционных и дистанционных подходов картографирования почв в масштабе от 1:50000 до 1:500000. При этом компьютерное картосоставление необходимо вести с использованием картографической и дистанционной информации оригинального масштаба, близкого к масштабу создаваемой базовой почвенной карты ИПГИС. Использование компьютерной имитации составления почвенных карт позволит проводить границы выделов более точно и объективно, чем при традиционном картосоставлении.

В качестве атрибутивной почвенной информации для ИПГИС на третьем и четвертом уровне необходимо и оптимально использовать следующие свойства почв и почвенного покрова:

1. *преобладающий тип мезо СПП*
2. *преобладающий тип микро СПП*
3. *сопутствующий тип микро СПП*
4. *классификационное положение преобладающей почвы*
5. *доля в контуре*
6. *классификационное положение сопутствующей почвы*
7. *ее доля в контуре*
8. *классификационное положение ассоциированной почвы*
9. *ее доля в контуре*

Каждая почва характеризуется свойствами:

1. *мощность потенциального корнеобитаемого слоя*
2. *причина ограничения потенциального корнеобитаемого слоя*
3. *почвообразующая порода*
4. *мощность почвообразующей породы*
5. *тип подстилающей породы*
6. *класс грансостава*
7. *уровень залегания грунтовых вод*
8. *щебнистость или каменистость почвы*
9. *минералогический состав ила*
10. *содержание растворимых солей*

11. *глубина залегание верхней границы солевого горизонта*
12. *содержание гумуса*
13. *преобладающий тип использования почвы*
14. *его доля от площади почвы*
15. *сопутствующий тип использования почвы*
16. *его доля от площади почвы*

В качестве базовой информации для создания геометрического блока ИПГИС на пятом уровне обобщения наиболее целесообразно использование контурной сети традиционно составляемых мелкомасштабных почвенных карт, что выглядит оптимальным и с затратной, и с содержательной точек зрения. В качестве атрибутов ИПГИС на данном уровне обобщения предлагается использовать следующие:

1. *преобладающий тип СПП*
2. *сопутствующий тип СПП*
3. *классификационное положение преобладающей почвы на уровне подтипа-рода*
4. *доля в контуре*
5. *классификационное положение сопутствующей почвы на уровне подтипа-рода*
6. *ее доля в контуре*
7. *классификационное положение ассоциированной почвы на уровне подтипа-рода*
8. *ее доля в контуре*
9. *преобладающий тип использования почв выдела*
10. *его доля от площади выдела*
11. *сопутствующий тип использования почв выдела*
12. *его доля от площади выдела*

Каждая почва выдела карты характеризуется свойствами:

1. *средняя мощность потенциального корнеобитаемого слоя*
2. *причина ограничения потенциального корнеобитаемого слоя*
3. *преобладающая почвообразующая порода*
4. *преобладающий класс грансостава*

Необходимо отметить, что один и тот же параметр базы данных на разных уровнях обобщения должен характеризовать

ваться с различной степенью детальности. Например, количественно на первом и втором уровнях обобщения и полуколичественно на других уровнях, причем используемые градации на 3–5 уровнях также должны отличаться друг от друга. Следовательно, для каждого уровня обобщения необходимо разработать свои системы ранжирования свойств, причем границы рангов должны быть определены таким образом, чтобы существовало соподчинение градаций свойств разных уровней. Все это позволит периодически, по мере накопления фактической информации на более низких уровнях обобщения, проводить обновление данных и на более высоких уровнях.

Использование технологий ГИС при инвентаризации почв позволяет существенно повысить объективность результатов инвентаризации почв, обеспечивает обработку и хранение данных о географии почв, открывает широкие возможности для периодического обновления данных и осуществления мониторинга. Кроме того, компьютерная инвентаризация позволит осуществить переход к созданию единого для всех уровней обобщения банка данных о географии почв, о почвенных ресурсах. При этом открываются широкие возможности для анализа почвенных ресурсов на основе современных компьютерных технологий, что в настоящий момент практически невозможно применить на существующей «бумажной» информационной базе.

## **Специфика ГИС-инвентаризации на разных уровнях обобщения**

### **Федеральный уровень**

В настоящее время для компьютерной инвентаризации почвенно- и земельно-ресурсной информации на подобном уровне обобщения в Мире существует несколько подходов, среди кото-

рых наиболее известны такие как Цифровая база данных почв и земной поверхности SOTER (Engelen et al., 1993) и Цифровая база данных почв Европы (SGDBEC) (Le Bas, Jamagne, 1996).

### **Технология SOTER**

Цифровая база данных почв и земной поверхности (Soil and Terrain Digital Data Base, SOTER) предлагается в качестве современной технологии сбора, хранения и обработки данных. Эта технология признана и рекомендуется мировым сообществом в качестве интернациональной. Достаточно сказать о создании международной рабочей группы по SOTER в рамках международного общества почвоведов. Идеи SOTER приняты в качестве научно-методической базы при подготовке базы данных по почвам Мира (FAO) др.

Идея создания Глобальной цифровой базы данных почв и суши впервые высказана В. Сомбруком в 1984. Уже в 1986 году предложения по разработке проекта SOTER были выдвинуты группой экспертов во время рабочей встречи в Вагенингене (Нидерланды). Дополнительный импульс работа получила в процессе реализации проекта GLASOD (подготовка Глобальной карты деградации почв), и в 1987 году была издана первая версия Руководства по технологии SOTER. С этого времени технология была полностью апробирована в масштабе 1:1М на двух пробных участках (территория на стыке Аргентины, Уругвая и Парагвая в 1989 году и в районе границы между США и Канадой в 1990 году). В 1993 году была издана уже 5 версия Руководства. Проведение работ в рамках проекта SOTER осуществляется под эгидой таких организаций как FAO, ISSS, UNEP, ISRIC.

Основной целью проекта SOTER является внедрение технологии сбора информации для создания Глобальной базы данных о почвах и земной поверхности с целью усовершенствования процессов инвентаризации почвенных и земельных ресурсов, мониторинга их изменений. Создание подобной БД, функционирующей при поддержке СУБД реля-

ционного типа и ГИС, даст возможность получения унифицированной точной и своевременной информации о почвенных и земельных ресурсах широкому кругу ученых, специалистов в области планирования, менеджмента, политики, которая необходима при оценке широкого круга проблем, возникающих при использовании природных ресурсов и принятии соответствующих решений по их разрешению.

Стратегия распространения технологии SOTER в настоящий момент состоит в создании ряда региональных БД в масштабе 1:1М, которые были бы унифицированы, построены по одним правилам, и в перспективе, могли бы слиться в единую глобальную БД. Создаваемые в рамках технологии SOTER БД характеризуются тем, что данные в них структурированы таким образом, чтобы их можно было использовать для решения максимально широкого круга задач. При этом, формат данных полностью совместим с глобальными БД иных природных ресурсов. Кроме того, обеспечена свободная возможность обновления данных, хранения старых версий данных.

БД SOTER состоит из двух основных частей: геометрической и атрибутивной. Основным компонентом геометрической БД является контурная сеть выделов SOTER. Кроме того, здесь хранятся иные цифровые карты, такие как карта транспортных магистралей, размещения населенных пунктов, карта гидрографической сети, административных границ и т. п. Существует возможность при необходимости адаптировать в БД дополнительные слои пространственной информации (например, карта плотности населения, размещения промышленных предприятий и т. п.). Функционирование геометрической БД осуществляется при поддержке ГИС.

Основная информация атрибутивной БД привязана к выделам SOTER. Ее использование осуществляется при поддержке специальной СУБД реляционного типа. СУБД обеспечивает хранение данных в виде таблиц, которые при помощи

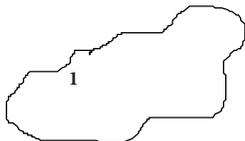
идентификационных кодов соотносятся с конкретными ВС и между собой. Иной особенностью СУБД является то, что если какие-либо вводимые данные оказываются идентичными, то их ввод в БД осуществляется лишь однажды. На рисунке 3 представлена в общем виде структура БД SOTER (показаны основные блоки данных и связи между ними). Данные, хранящиеся в атрибутивной БД, могут быть как обязательными для создания БД, так и желательными, введение которых может в принципе и не проводиться. Кроме того, БД содержит как описательные, так и числовые данные.

Контурная сеть выделов SOTER получается путем последовательного использования основных критериев выделения. Соответственно, выдел SOTER может в принципе быть определен на трех уровнях:

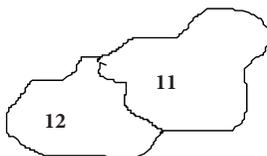
1. на уровне ареалов земной поверхности;
2. на уровне ареалов компонентов земной поверхности;
3. на уровне ареалов почвенного покрова.

# ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ   АТТРИБУТИВНАЯ ЧАСТЬ

уровень «Земная поверхность»



уровень «Компоненты земной поверхности»



уровень «Компоненты почвенного покрова»

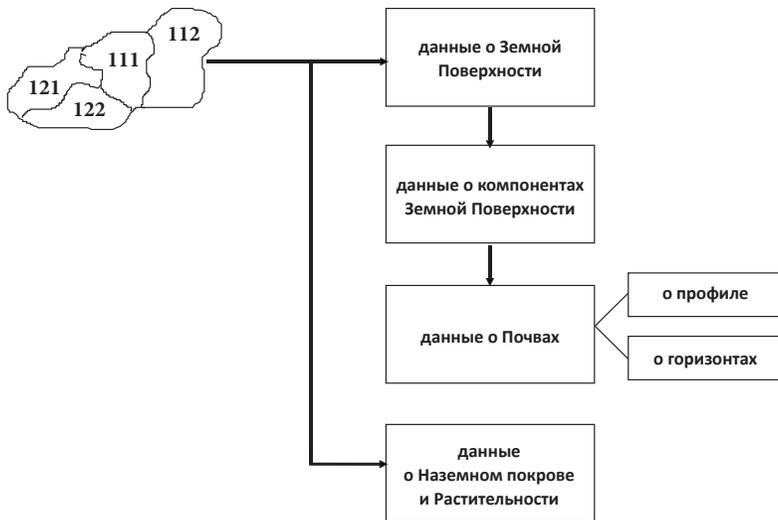
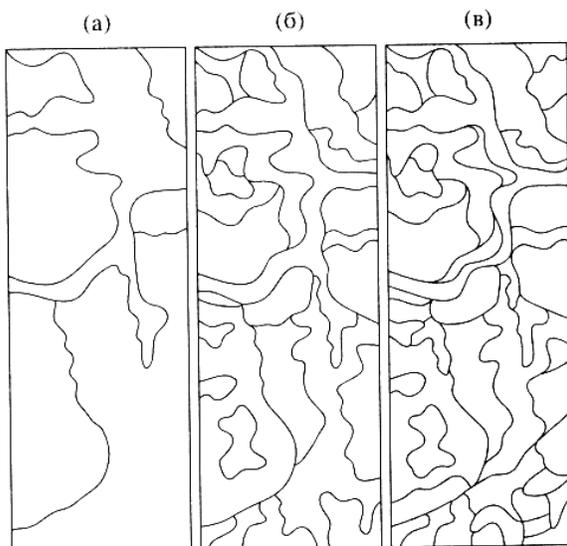


Рис. 3. Структура БД SOTER

Для получения выделов SOTER на первом уровне используются два основных критерия разделения: физиография (physiography) земной поверхности и общее литологическое строение. Под физиографией земной поверхности в контексте Технологии понимается описание основных форм макрорельефа территории исследований. Оно основано на анализе преобладающих уклонов поверхности и степени ее расчлененности. Использование этих критериев наряду с данными об преобладающих абсолютных и относительных высотах позволяет получить первые картографические выделы, которые далее подразделяются с учетом общего литологического строения территории. В результате получают выделы SOTER на первом уровне обобщения: на уровне ареалов земной поверхности (рис. 4).



**Рис. 4.** Технология получения выдела SOTER  
(а – геометрическая сеть выделов на уровне поверхности суши;  
б – компонентов поверхности суши; в – компонентов  
почвенного покрова)

Использование в дальнейшем таких критериев как преобладание определенных форм мезорельефа, характер господствующих склонов (их длина, форма), тип поверхностных отложений, текстурная группа почвообразующих пород приводит к подразделению выделов земной поверхности на ареалы компонентов земной поверхности. Необходимо отметить, что в тех случаях, когда ареалы отдельных компонентов земной поверхности присутствуют в контуре, но в масштабе проекта (1:1000000) не могут быть выделены на карте отдельным контуром, информация о них хранится лишь в атрибутивной БД, а в геометрической отсутствует. Опыт апробации Технологии показывает, что наиболее часто каждый выдел ЗП подразделяется на 3–4 выдела компонентов земной поверхности. Последним шагом разделения территории на выделы SOTER является расчленение выделов компонентов земной поверхности на выделы почвенного покрова. В этом случае, для основного масштаба проекта еще менее вероятно, что выдел индивидуального компонента почвенного покрова может быть отражен картографически.

Но в любом случае сведения о всех компонентах почвенного покрова для каждого имеющегося в атрибутивной БД ареала земной поверхности также хранятся не в геометрической форме. Любому выделу SOTER на уровне компонентов земной поверхности должен соответствовать хотя бы один почвенный компонент (но обычно их бывает 2–3). Выделение выделов SOTER на уровне компонентов ПП базируется на сведениях о диагностических горизонтах и свойствах почв согласно классификации FAO на уровне подвыдела (sub-unit level).

Таким образом, на карте выделов SOTER в масштабе 1:1000000 могут присутствовать выделы всех трех уровней одновременно, в то время как в атрибутивной БД содержится информация о каждом из уровней в целом. Технология получения выделов SOTER разработана в настоящий момент для работ в масштабе 1:1000000, который является оптимальным

для решения различных задач использования природных ресурсов на национальном уровне. Однако, потенциально, технология вполне пригодна и для компиляции БД в более мелких и крупных масштабах. Это достигается иерархичностью построения градаций основных критериев выделения выделов SOTER. В настоящее время уже имеется позитивный опыт использования данной технологии как в более мелком (Wen Tin-tiang, 1993), так и в более крупном масштабе (Oliviera, van de Berg, 1992).

Как следует из рисунка 3, атрибутивная БД SOTER содержит следующие блоки информации:

1. – данные о земной поверхности;
2. – данные о компонентах земной поверхности;
3. – данные о почвах;
4. – данные об отдельных горизонтах почв;
5. – данные о растительности и характере использования территории;
6. – климатические данные;
7. – справочная информация.

В общих чертах состав информации каждого блока выглядит следующим образом:

**блок данных о земной поверхности содержит следующие сведения:**

1. Код выдела SOTER
2. дата сбора данных,
3. код используемой карты,
4. максимальная абсолютная высота,
5. минимальная абсолютная высота,
6. преобладающие уклоны,
7. средний относительный перепад высот,
8. тип макрорельефа (Remmelzwaal, 1990),
9. гипсометрический уровень поверхности,
10. степень расчлененности рельефа (Verhasselt, 1961),
11. общее литологическое строение (Holmes, 1968),
12. наличие постоянной водной поверхности;

**Блок данных о компонентах земной поверхности состоит из двух таблиц:**

*А. Справочная таблица содержит следующие сведения:*

1. код выдела SOTER,
2. номер компонента земной поверхности,
3. площадь, которую он занимает в выделе SOTER,
4. код данных о компоненте земной поверхности;

*Б. Основная таблица состоит из следующих слоев свойств:*

1. код данных о компоненте земной поверхности,
2. преобладающие уклоны
3. преобладающая длина склонов,
4. форма склона,
5. тип мезорельефа (Day, 1983),
6. средняя высота,
7. доля площади элементов мезорельефа,
8. характер поверхностных отложений,
9. текстурная группа поверхностных пород,
10. глубина залегания коренных пород,
11. поверхностный дренаж (Cochrane et al., 1985),
12. глубина грунтовых вод,
13. частота возможных половодий (FAO, 1990),
14. продолжительность половодий,
15. средняя дата начала половодий;

**Блок данных о компонентах почвенного покрова.**

Сведения о почвах приводятся для профилей которые принимаются репрезентативными для каждого выдела SOTER и отбираются из имеющихся в наличии (которые называются «ссылочные»). Данный блок содержит следующую информацию:

1. код выдела SOTER,
2. номер компонента земной поверхности,
3. номер почвы,
4. доля почвы от площади выдела SOTER,
5. количество ссылочных профилей,
6. позиция разреза в компоненте земной поверхности,
7. площадь скальных обнажений в выделе,

8. *каменистость поверхности (FAO, 1990),*
9. *тип эрозионных процессов (FAO, 1990),*
10. *площадь, подверженная эрозии (ISRIC-UNEP, 1988),*
11. *степень проявления эрозии (FAO, 1990),*
12. *податливость поверхности к коркообразованию (FAO, 1990),*
13. *мощность зоны возможного корнеобитания,*
14. *соотношение с иными компонентами.*

**Блок данных о профиле почв содержит следующие сведения:**

1. *код профиля,*
2. *код национальной БД профилей почв,*
3. *географическая широта,*
4. *географическая долгота,*
5. *абсолютная высота,*
6. *дата обследования,*
7. *код лаборатории,*
8. *дренированность (FAO, 1990),*
9. *скорость инфльтрации,*
10. *тип поверхностного органического вещества (Soil Survey..., 1975),*
11. *классификационное положение почвы (FAO, 1988),*
12. *используемая версия классификации FAO,*
13. *положение в национальной классификации,*
14. *классификационное положение согласно Soil Taxonomy,*
15. *фаза почвы (FAO-ISRIC, 1989).*

Как правило, репрезентативный почвенный профиль должен быть охарактеризован не более чем пятью горизонтами, свойства которых содержатся в БД SOTER.

**Блок данных о горизонтах почв** включает следующую информацию:

1. *код профиля,*
2. *номер горизонта,*
3. *тип диагностического горизонта (FAO, 1988),*
4. *тип диагностического свойства горизонта (FAO, 1988),*
5. *индекс горизонта горизонта (FAO, 1990),*
6. *глубина нижней границы,*

7. *выраженность нижней границы (FAO, 1990),*
8. *цвет влажной почвы (Munsell, 1990),*
9. *цвет сухой почвы (Munsell, 1990),*
10. *выраженность структуры (FAO, 1990),*
11. *тип структуры (FAO, 1990),*
12. *размер структурных элементов (FAO, 1990),*
13. *наличие плотных включений (FAO, 1990),*
14. *размер плотных включений (FAO, 1990),*
15. *содержание очень крупного песка,*
16. *содержание крупного песка,*
17. *содержание среднего песка,*
18. *мелкого песка,*
19. *очень мелкого песка,*
20. *общее содержание песка,*
21. *содержание ила,*
22. *содержание глины,*
23. *текстура мелкозема,*
24. *плотность,*
25. *влажность при различных рF,*
26. *гидравлическая проводимость,*
27. *скорость инфильтрации*
28. *рН водный,*
29. *рН солевой,*
30. *электропроводимость,*
31. *обменный кальций,*
32. *обменный магний,*
33. *обменный натрий,*
34. *обменный калий,*
35. *обменный алюминий,*
36. *обменная кислотность,*
37. *емкость катионного обмена,*
38. *содержание карбонатов,*
39. *содержание гипса,*
40. *содержание углерода*
41. *содержание азота,*
42. *содержание P2O5,*
43. *дитионитная вытяжка железа,*
44. *пирофосфатная вытяжка железа,*
45. *дитионитная вытяжка алюминия,*
46. *пирофосфатная вытяжка алюминия,*
47. *тип глинистых минералов.*

Каждый горизонт характеризуется данными трех таблиц. Во-первых, это фактические данные репрезентативного профиля почв. Остальные две таблицы содержат сведения о максимальных и минимальных значениях свойств, которые определяются по данным анализа репрезентативных профилей.

**Блоки данных о характере использования территории и растительном покрове** построены одинаково. Оба блока содержат следующую информацию:

1. код выдела SOTER,
2. дата сбора данных,
3. тип данных (соответственно, характер использования или растительность),
4. относительная площадь в выделе SOTER.

**Блок климатических данных** состоит из трех таблиц. Все данные привязаны к конкретным метеостанциям. Соответственно, первая таблица содержит сведения о метеостанции, вторая – об источнике климатических данных, а третья собственно о климате:

1. об осадках,
2. о температуре воздуха,
3. о продолжительности солнечного сияния,
4. о влажности воздуха,
5. о ветре,
6. об испаряемости,
7. об эваотранспирации,
8. о возможности возникновения опасных явлений погоды.

Все данные приводятся помесечно и за все необходимые годы наблюдений. Кроме того, в атрибутивной БД имеется блок справочных данных, дающих возможность определять источники информации, их тип, методы лабораторных анализов и т. п. (при описании данных, содержащихся в каждом блоке, указаны ссылки на те классификации свойств, которые необходимо использовать при их кодировании).

Для тестирования технологии SOTER был выбран тестовый участок площадью 250000 км<sup>2</sup> в центре Европейской части России. Участок выбран таким образом, чтобы охватить широкий спектр как природных, так и социально-экономических условий России. Кроме того, территория участка легкодоступна для исследований, хорошо изучена, собран большой материал по характеристике почв и иных природных компонентов.

Получение геометрической сети выделов SOTER осуществлялось с использованием топографической карты масштаба 1:1М. Пример выделов SOTER, полученных на каждом из этапов работы, представлен на рисунке 4.

При наполнении атрибутивной БД были использованы следующие основные источники информации: Государственная почвенная карта СССР масштаба 1:1000000 с объяснительной запиской, Геологическая карта СССР масштаба 1:1000000, топографические карты масштабов 1:1000000, 1:800000, 1:200000, Карта растительности СССР масштаба 1:4000000, Почвенная карта РСФСР масштаба 1:2500000, а также литературные материалы, данные наблюдений метеорологических и гидрологических станций и постов и космические многозональные снимки масштаба 1:1000000.

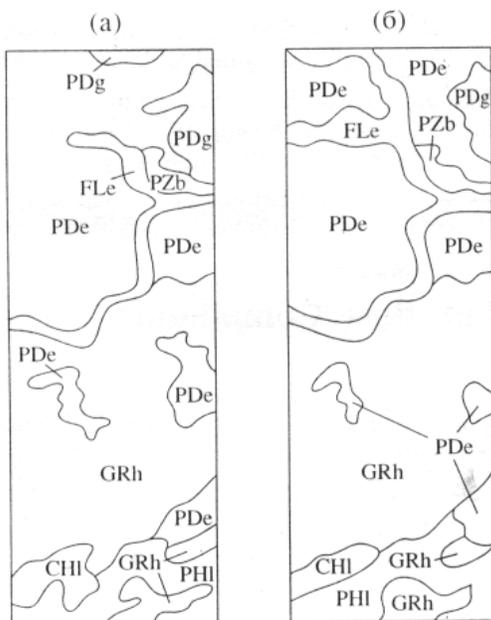
При использовании вышеназванных первоисточников актуальной является проблема перевода фактических данных в формат SOTER. Для этого вся фактическая информация была подразделена на несколько групп:

1. конкретные количественные данные (например – уклон поверхности, количество осадков),
2. данные, определенным образом структурированные (например, «содержание гумуса 2–5%», или «структура горизонта – мелкоореховатая»),
3. данные, приведенные на качественном уровне (например, «возможно коркообразование на поверхности почвы»).

При адаптации данных первой группы, как правило, не возникает никаких затруднений, так как они в большинстве случаев полностью соответствуют формату БД SOTER. Данные второй группы также во многих случаях совместимы с форматом БД, однако имеются и случаи несовместимости. Так, например, отмечается несоответствие при адаптации таких свойств как гранулометрический состав почв, структура горизонтов почв и др. В подобных случаях, а также при использовании данных третьей группы, широко применялась предусмотренная Технологией SOTER экспертная оценка. В результате данного анализа были составлены специальные таблицы для трансформации данных первоисточников в формат БД SOTER.

Результатом работ явилось создание БД строго структурированных свойств почв и суши, и сетки границ выделов SOTER, к которым привязана атрибутивная информация БД. То есть, информационное пространство технологии не является, строго говоря континуальным. Это дает основание говорить о близости технологии SOTER к традиционному мелкомасштабному картографированию. Отличием является лишь то, что изобразительно-информационный блок почвенной карты здесь замещен на блок БД со строго структурированной информацией. Данное сходство обусловлено, по-видимому, отсутствием достаточного количества фактической информации о пространственном варьировании почв для работы в мелком масштабе. В этом случае возникает проблема экстраполяции данных достаточно разреженной сети точечных наблюдений. Разрешение этой проблемы в технологии SOTER с помощью экстраполяции данных конкретных разрезов на строго фиксированные контуры и приводит к подобному кажущемуся сближению данной технологии с мелкомасштабным картографированием почв. Этот компромисс является, по-видимому, временным явлением. Работы по созданию БД в более крупных масштабах приведут к накоплению большого количества пространственно-координирован-

ных фактических данных, что позволит перейти к манипулированию с континуальным пространством свойств (при этом вся информация, хранящаяся сейчас в БД в дискретном виде, вполне может быть сохранена и в дальнейшем).



**Рис. 5.** Пример контурной сети исходной и генерированной из базы данных SOTER почвенных карт  
(а – уменьшенный фрагмент ГПК СССР масштаба 1:1 млн (в терминах легенды к почвенной карте Мира FAO-Unesco (1988); б – фрагмент почвенной карты, генерированной по данным БД SOTER на ту же территорию).

Кроме того, процедура получения выдела SOTER путем поэтапного разделения выделов рельефа с учетом геологической, и затем почвенной информации приводит в результате к некоторой схематизации получаемых контуров. Это связано с тем, что при наложении контурных сетей карт рельефа,

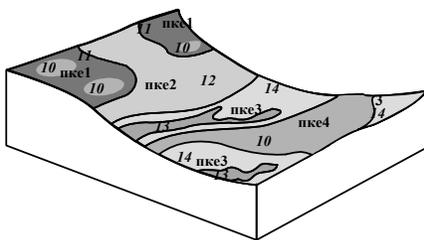
почв и геологической карты, сегменты их пересечений площадью менее 0,25 см<sup>2</sup> согласно технологии генерализуются. В БД SOTER фактическое информационное содержание этих сегментов также не фиксируется, если они занимают площадь менее 15% от площади выдела SOTER. Данная схематизация наиболее четко видна, если попытаться на основе созданной БД SOTER воссоздать, например, почвенную карту, использованную при компиляции (рис. 5).

По-видимому, данный недостаток можно устранить, лишь отказавшись от попытки получения интегрального выдела SOTER, при сохранении оригинальных контурных сеток всех использованных для создания БД карт, но в этом случае речь будет идти уже не о создании БД SOTER, а о компиляции целого набора разных баз данных.

Таким образом, технология SOTER на данном этапе может считаться лишь первым опытом на пути от традиционных методов картографии почв к методам компьютерной картографии почв.

### **Технология SGDB ЕС**

Разработка почвенной географической информационной системы Европейского Союза (SGDBЕС) была начата в 1986. В качестве основы проекта послужила почвенная карта Европы масштаба 1:1 млн. Почвенная база претерпела несколько модификаций, и в конечном виде структура SGDBЕС изображена на рисунке 6. Из рисунка видно, что концептуально SGDBЕС представляет различные возможности показа как однородных, так и гетерогенных в почвенном отношении полигонов. Такой подход принципиально близок традиционному в России способу показа почвенного покрова территорий с учетом неоднородностей почвенного покрова, в частности, криогенных и сухостепных комплексов. Особенно яркое развитие этот метод получил в фундаментальных трудах по структуре почвенного покрова (Фридланд, 1972) и на почвенной карте Российской Федерации масштаба 1:2.5 млн.



ПРОСТРАНСТВЕННО-РАСПРЕДЕЛЕННАЯ БАЗА ДАННЫХ

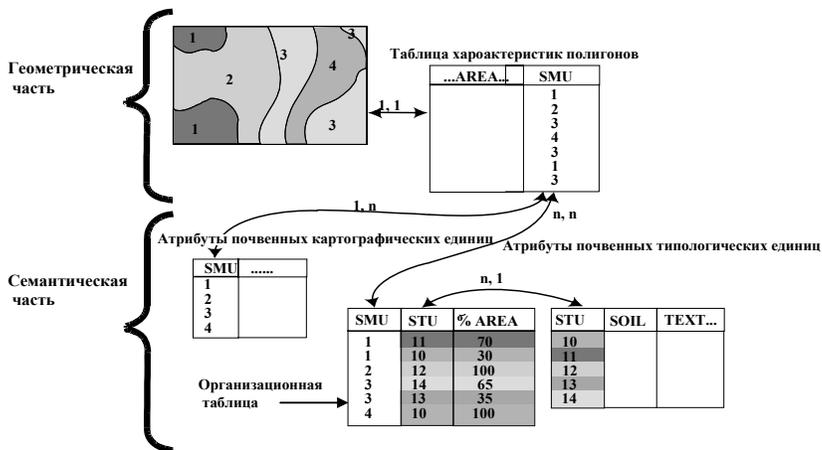


Рис. 6. Структура SGDBEC Условные обозначения:

**пке 1** – Почвенная картографическая единица 1 (геометрически представлена двумя полигонами, включающими типологические единицы 10 и 11);

**пке 2** – Почвенная картографическая единица 2 (геометрически представлена одним полигоном, включающим типологическую единицу 12);

**пке 3** – Почвенная картографическая единица 3 (геометрически представлена тремя полигонами, включающими типологические единицы 13 и 14);

**пке 4** – Почвенная картографическая единица 4 (геометрически представлена одним полигоном, включающим типологическую единицу 10);

**SMU, STU, AREA, SOIL, TEXT** – кодовое обозначение атрибутов в базе данных.

В целом созданная база данных почвенных характеристик – реляционного типа, что дает возможность соотнесения отдельных слоев информации по схемам «один-к-одному», «один-ко-многим» и «многие-к-одному». Определения основных компонентов SGDBEC и их смысловые эквиваленты приводятся в Таблице 3.

Таблица 3

**Структура SGDBEC, источники информации и операции по ее извлечению**

<b>блок SGDBEC</b>	<b>источники информации</b>	<b>процедура конвертации данных</b>
Почвенный слой и полигоны (Soil Coverage)	Почвенная карта масштаба 1:1M	Оцифровывание
Почвенные картографические единицы (SMU)	Индивидуальный номер почвенных контуров (ID)	Присвоение идентификационных кодов (ID)
Почвенная типологическая организация (STU.ORG)	Компонентный состав почвенных контуров	Создание композиционной таблицы
Почвенные типологические единицы (STU)	Выделы легенды почвенной карты	Составление корреляционных таблиц
Почвенные характеристики	Экспертные оценки данных легенды и объяснительной записки карт	Кодирование данных
Почвенные аналитические данные	Лабораторно-определенные аналитические характеристики представительных почвенных профилей и экспертные оценки свойств используемых почв	Выбор представительных профилей почв и кодирование аналитических характеристик

Почвенный слой представляет собой цифровую форму представления почвенной карты. Он состоит из мозаики по-

лигонов, которая в традиционном чтении соответствует замкнутым контурам почвенной карты.

В приведенной выше таблице использована оригинальная терминология SGDBEC в русском переводе:

**Почвенные картографические единицы (SMU)** представляют собой полигоны геометрической части базы данных, которые идентифицируются уникальным числовым кодом (целым числом) и могут быть представлены либо в виде «чистых» (гомогенных) выделов, либо «почвенными ассоциациями» (гетерогенными) выделами.

**Почвенная типологическая организация (STU.ORG)** отражает компонентный состав каждого полигона геометрической части базы данных. Информация о компонентном составе почвенных картографических единиц представляется в базе данных в закодированной форме в виде организационной таблицы.

**Почвенная типологическая единица (STU)** соответствует выделу легенды оригинальной почвенной карты, который однороден по всем своим почвенным характеристикам (атрибутам), а также дополнительно охарактеризован спецификой рельефа и землепользования.

Различия между почвенными типологическими единицами могут быть связаны не только с различиями в названии почв, но и с различиями по любым другим их характеристикам, содержащимся в базе данных.

**Почвенные характеристики типологических единиц.** Каждая почвенная типологическая единица характеризуется атрибутами, которые представляются в виде таблицы. Причем, одна и та же единица (с одними значениями атрибутов) может быть использована для характеристики как одной почвенной картографической единицы, так и нескольких.

В качестве атрибутов почвенной типологической единицы использованы следующие:

1. *площадь в контуре;*
2. *наименование почвы согласно легенде к карте FAO-Unesco 1974 года;*
3. *наименование почвы согласно легенде к карте FAO-Unesco 1990 года;*
4. *преобладающий гранулометрический состав верхнего горизонта;*
5. *сопутствующий гранулометрический состав верхнего горизонта;*
6. *преобладающий уклон поверхности;*
7. *сопутствующий уклон поверхности;*
8. *главное ограничение для сельскохозяйственного использования;*
9. *сопутствующее ограничение для сельскохозяйственного использования;*
10. *преобладающий тип почвообразующих пород;*
11. *сопутствующий тип почвообразующих пород;*
12. *минимальная абсолютная высота;*
13. *максимальная абсолютная высота;*
14. *преобладающий тип использования почвы;*
15. *сопутствующий тип использования почвы;*
16. *глубина границы смены гранулометрического состава в профиле почвы;*
17. *преобладающий гранулометрического состав нижележащего слоя;*
18. *сопутствующий гранулометрический состав нижележащего слоя;*
19. *мощность потенциального слоя корнеобитания;*
20. *наличие непроницаемых для корней слоев в профиле почвы;*
21. *преобладающий водный режим;*
22. *наличие систем искусственного регулирования водного режима;*
23. *цель использования систем регулирования водного режима;*
24. *тип систем регулирования водного режима;*
25. *доверительный уровень информации базы данных.*

Необходимо отметить, что информация о всех «сопутствующих» сведениях вносится в базу данных лишь по мере необходимости, при наличии информации о варьировании соответствующих атрибутов для конкретной почвенной типологической единицы.

Таким образом, атрибутивная часть для STU состоит из 14 позиций специально почвенной информации, а также данных об их использовании. Большинство атрибутов ранжировано с использованием специально разработанных шкал.

Корреляция национальных почвенных классификаций составляет субстантивное ядро SGDBEC. Как отмечалось ранее, общепринятая процедура корреляции почв различных почвенных классификаций отсутствует (Шишов, Рожков, Столбовой, 1985; Столбовой и Шеремет, 2000). Главная проблема состоит в том, что национальные классификации почв строятся на различных принципах, или в рамках различных концептуальных схем. Другая сторона проблемы заключается в том, что почвы имеют региональную специфику, которая отражается в наборе характеристик, используемых для их описания и классификации. Очевидно, что почвы стран с аридным жарким климатом будут характеризоваться набором свойств отличных от стран гумидных холодных регионов. Отсюда следует, что приоритеты в выборе классификационно значимых свойств почв в различных странах неодинаковы. Также различными могут быть и используемые в классификациях почвенно-диагностические горизонты, свойства почв и др. К перечисленным сложностям корреляции почв необходимо отнести различия в аналитических методах, языково-понятийные несоответствия и др. Подробнее эти вопросы рассмотрены в ряде публикаций (Шишов и др., 1985; Столбовой и Шеремет, 1995, 2000; Stolbovoi, 2000).

Принятые в SGDBEC почвенные типологические единицы включают выделы различных версий легенд почвенной карты мира ФАО (FAO, 1988). Начиная с 2000 года принято решение привести все разнообразие почв базы данных в соответствие с версией мировой справочной базы данных почвенных ресурсов (WRB).

Почвы типологических единиц базы данных кроме общих атрибутов (см. выше) характеризуются аналитическими данными. При этом, характеристика может осуществляться как с использованием аналитических данных по конкретным разрезам, так и в обобщенном виде. Информация о том, какой тип данных был использован в каждом случае, также вносится в базу данных.

Аналитическая часть базы данных содержит следующие основные сведения:

1. *Содержание органического углерода;*
2. *Соотношение углерода и азота;*
3. *Эквивалент  $\text{CaCO}_3$  (дословный перевод);*
4. *Содержание гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ );*
5. *Активный  $\text{CaCO}_3$  (дословный перевод);*
6. *SAR и ESP;*
7. *pH ( $\text{H}_2\text{O}$ );*
8. *Удельная электропроводность (EC);*
9. *Насыщенность обменными основаниями;*
10. *Емкость катионного обмена (CEC);*
11. *Данные по водоудерживающей способности почв;*
12. *Гранулометрический состав горизонтов;*
13. *Общая порозность почв;*
14. *Плотность почв.*

Концепция репрезентативных почвенных разрезов прочно вошла в почвенно-научную литературу. На ней построены основные глобальные почвенные коллекции (Batjes, 1996), и SGDBEC полностью следует этой традиции. Принципиально понятие «репрезентативного» разреза близко традиционному в Докучаевской школе понятию типичной почвы, которая достаточно полно освещена с формальной точки зрения (Рожков, 1989). К сожалению, нам неизвестно ни одного примера в Мире, где бы было соблюдено математически строгое условие типичности выбора почвенных разрезов для больших географических регионов. Обычно ученые апеллируют к количеству разрезов (Batjes, 1996; Eswaran et al., 1995 и др.) и обходят молчанием проблему их отбора и репрезентативности. На практике все коллекции почвенных профилей построены на принципе их доступности, а не строгого отбора, что находит свое отражение в огромной вариабельности исследуемых параметров почв при анализе включенных в коллекцию образцов. Так, например, показательно, что при анализе одной из подобных коллекций почвенных профилей

(Batjes, 1996) оказалось, что варьирование содержания гумуса для Глееземов (Gleysols) превышает 200%, а для многих других Больших Почвенных Групп составляет около 150%. Это явно указывает на неоднородность выборок проанализированных профилей почв.

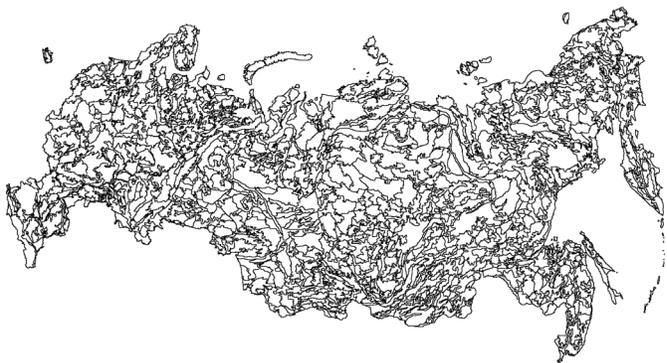
Опыт компиляции инвентаризационной почвенной ГИС в формате SGDBES для территории Калининградской области показывает, что наибольшая неопределенность существует в создании геометрической части подобной ГИС. Отсутствуют четкие правила получения выдела почвенной карты. Выдел может быть мелким и достаточно гомогенным, либо же очень генерализованным, с указанием всех встречающихся в нем почв (до 5–6 штук) только в атрибутивной части БД. В результате подобной неопределенности у создателей ГИС возникает масса проблем при попытке стыковки БД отдельных стран в единую БД Европы. Во многих случаях подобная стыковка контуров ПК до сих пор не проведена и при визуализации БД ГИС в виде почвенной карты, иногда границы ее выделов совпадают с административными границами стран. Принимая же во внимание то, что визуализация ПК из БД ГИС не является ее основным предназначением, можно утверждать, что данный недостаток ГИС не является существенным.

### **База данных ГИС «Земельные ресурсы России»**

Базируясь на опыте апробации основных западных подходов к построению почвенно-инвентаризационных ГИС на уровне обобщения групп стран нами была создана база данных ГИС «Земельные ресурсы России», которая аккумулирует в унифицированном виде имеющиеся на момент ее составления данные о географии почв России и об их свойствах. Основным назначением базы данных является анализ земельных ресурсов для целей растениеводства на уровне страны, поэтому кроме почвенной информации база данных включает климатические сведения и информацию о рельефе.

## Почвенный блок базы данных

Базовым компонентом блока является почвенная карта России масштаба 1:5 млн., к которой создана атрибутивная таблица с данными о свойствах почв. Бумажный вариант карты был составлен в 1993 году сотрудниками Почвенного института им. В. В. Докучаева при консультативном участии Международного почвенного информационно-справочного центра (ISRIC) и департамента почв ФАО (рис. 7). Карта была составлена в терминах российской классификации и в терминах легенды к почвенной карте Мира ФАО-ЮНЕСКО 1990 г. и оцифрована в лаборатории Почвенной информатики Почвенного института им. В. В. Докучаева (Столбовой, Шеремет, 1985). Основными документами, взятыми за основу составления новой ПК, были почвенная карта РСФСР масштаба 1:2.5 млн. (1988) и листы Государственной почвенной карты СССР масштаба 1:1 млн. При составлении этих карт использовались новейшие областные почвенные карты, в создании которых принимали участие практически все региональные почвенные службы страны. Эти карты вобрали в себя весь накопленный научный опыт отечественного почвоведения и относятся к современным официальным государственным документам по инвентаризации почвенных ресурсов России.



*Рис. 7. Контурная сеть выделов компьютерной почвенной карты России*

Генерализация контуров проводилась в соответствии с традиционными картографическими подходами, по которым минимальный размер изображаемого контура не должен быть менее 1 см<sup>2</sup>. Контуров генерализовывались по почвенной карте масштаба 1:2.5 млн. и уточнялись по карте масштаба 1:1 млн. Объединению подлежали контуры с близким набором почв, причем количество почв в контуре выбиралось минимальным, и в среднем составляло 3–4. При этом соблюдалось требование сохранения доли участия почв в контуре как на исходных картах. Для этой цели использовались следующие правила, разработанные специалистами ФАО (FAO-Unesco, 1988):

<b>Преобладающие почвы</b>	<b>Сопутствующие почвы*</b>	<b>Спорадические почвы**</b>
100	0	0
90	0	10
80	0	10+10
70	0	10+10+10
70	30	0
60	30	10
60	20+20	0
50	20+20	10
50	30	10+10
50	30	5+5+5+5
40	20+20	5+5+5+5
40	30	10+10+10
40	20+20	10+10
30	20+20+20	10
30	20+20	10+10+10
30	20+20+20	5+5
25	20+20+20	5+5+5
24	20+20+20	4+4+4+4

\* Сопутствующие почвы покрывают не менее 20% площади.

\*\* Спорадические почвы покрывают менее 20% площади.

В базе данных кроме процентного содержания почв и их классификационного положения для каждого почвенного контура были приведены данные по гранулометрическому составу, почвообразующим породам, фазам почв (по ФАО), уровню залегания грунтовых вод, мощности потенциального корнеобитаемого слоя, влажности почв в весеннее время. Для кодирования свойств почв при внесении информации в базу данных были разработаны градации и группировки свойств, учитывающие специфику имеющихся данных о почвах и почвенном покрове. Информация о некоторых свойствах непосредственно снималась с опубликованных карт (например, о почвообразующих породах), другие данные были получены на основе экспертной оценки, базирующейся на литературных данных и классификационном положении почв.

Для кодирования *гранулометрического состава почвы* были приняты следующие классы: 1 – легкие (песок, супесь, легкий суглинок), 2 – средние (средний суглинок), 3 – тяжелые (тяжелый суглинок, глина) почвы, дополненные характеристиками слоистости (4) и щебнистости (5). Кроме того, отдельным кодом обозначались торфяные почвы (Т).

Сведения о *материнских породах* были взяты из опубликованных карт почвообразующих пород и четвертичных отложений (Геологическая..., 1984; Чижиков, 1968 и др.). Для внесения в базу данных, почвообразующие породы были сгруппированы в следующие классы: щебнистый элювий различных пород; морены, флювиогляциальные, озерные, аллювиальные и эоловые отложения; карбонатные и некарбонатные лессовидные отложения, коллювиальные, солифлюкционные, вулканические и морские (засоленные и незасоленные) отложения. В этом разделе нашло также отражение присутствие органогенных пород, отложений проблематичного генезиса и скальные обнажения пород.

*Фазы почв* определялись по описанию ФАО: Gel – гелундиковая (мерзлотно-полигональная) фаза, Gil – гильгаи (сли-

тость), Inu – инундиковая (затопление), Lit – литиковая (мало-мощность), Phg – фреатическая (близкие грунтовые воды), Rud – рудиковая (каменистость), Sal – саликовая (засоленность), Sod – содиковая (солонцеватость), Так – такыриковая (такырность) и Yer – ермиковая (опустыненность) фазы.

*Глубина залегания грунтовых вод* (в летний период) была указана в следующих градах: 1) менее 30 см, 2) 30–50 см, 3) 50–100 см, 4) 100–200 см, 5) 200–300 см, 6) 300–600 см и глубже.

*Мощность потенциального корнеобитаемого слоя* зависит от многих факторов (свойств почв). В горных и щебнистых почвах грады мощности корнеобитаемого слоя зависят от глубины залегания плотной породы, которая будет являться препятствием для проникновения корней. Грады глубины залегания плотной породы, использованные при кодировании, представлены следующим рядом: 1) до 10 см, 2) 10–30 см, 3) 30–50 см, 4) 50–100 см, 5) 100–150 см, 6) глубже 150 см.

В засоленных почвах препятствием для проникновения корней является глубина распространения токсичных солей. Грады мощности потенциального корнеобитаемого слоя для засоленных почв были выбраны следующими: 1) менее 10 см, 2) 10–50 см, 3) 50–100 см, 4) 100–150 см, 5) глубже 150 см.

В зоне распространения многолетнемерзлых грунтов препятствием для распространения корней служит глубина залегания многолетней мерзлоты, информация о которой кодировалась в следующих интервалах: 1) менее 30 см, 2) 30–50 см, 3) 50–100 см, 4) 100–150 см, 5) более 150 см.

Данные, характеризующие *влажность почвы* в слоях почв 0–20 см, 0–50 см и 0–100 см получены из литературных источников. Прежде всего, это различные областные справочники о климатических и агроклиматических ресурсах. В этих справочниках представлены средние многолетние данные наблюдений за влажностью почв различных метеостанций. Собирались данные, характеризующие влажность почвы в весенний

период. Для сельскохозяйственных территорий учитывалась влажность почвы под яровыми культурами. Для не сельскохозяйственных территорий учитывалась влажность почвы в весенний период, когда ее показатели достигают наивысших значения, то есть до начала летнего иссушения почвы. Все полученные данные укладывались на почвенную карту. В каждой конкретном случае проводилась корреляция между почвами, на которых проводилось наблюдение за влажностью, с содержанием почвенной карты. Кроме того, использовался ряд монографий, в которых справочные данные представлены в обобщенном виде. Так, для европейской части России широко привлекались материалы из монографии Л. С. Кельчевской «Влажность почв Европейской части СССР» (1983).

Для территории Сибири и Дальнего Востока характерна не столь густая сеть метеостанций и практически отсутствие обобщающих работ. Поэтому для большей части территории на основе сопряженного анализа комплекса природных условий, влияющих на влажность почв, со свойствами почв, проводилась экспертная оценка режима влажности почв. Естественно, точность отображения влажности почв на Европейской части России гораздо выше, чем на Азиатской части. Некоторое исключение из этого составляют южные, освоенные в сельскохозяйственном отношении, районы Сибири.

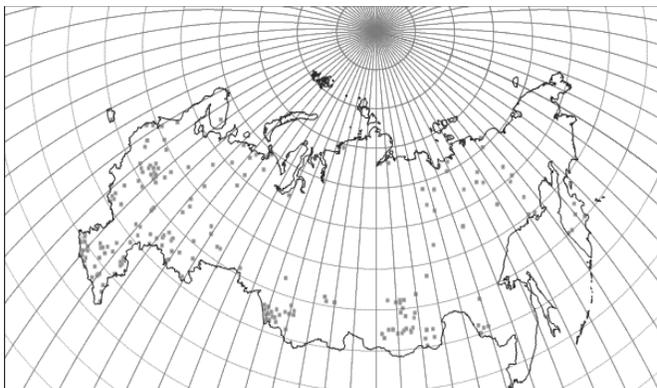
Как уже указывалось выше на концепции репрезентативных почвенных разрезов построены основные глобальные почвенные коллекции. Принципиально понятие «репрезентативного» разреза близко традиционному в Докучаевской школе понятию типичной почвы, которая достаточно полно освещена с формальной точки зрения (Рожков, 1989). К сожалению, нам неизвестно ни одного примера в Мире, где бы было соблюдено математически строгое условие типичности выбора почвенных разрезов для больших географических регионов. Обычно ученые апеллируют к количеству разре-

зов (Batjes, 1996; Eswaran et al., 1995 и др.) и обходят молчанием проблему их отбора и репрезентативности. На практике все коллекции почвенных профилей построены на принципе их доступности, а не строгого отбора, что находит свое отражение в огромной вариабельности исследуемых параметров почв при анализе включенных в коллекцию образцов. Так, например, показательно, что при анализе одной из подобных коллекций почвенных профилей (Batjes, 1996) оказалось, что варьирование содержания гумуса для Глееземов (Gleysols) превышает 200%, а для многих других Больших Почвенных Групп составляет около 150%. Это явно указывает на неоднородность выборок проанализированных профилей почв.

Репрезентативные разрезы для характеристики почв ГИС отбирались из широко известных источников, таких как Труды по агрохимической характеристике почв СССР или университетские учебные пособия, а также собственные полевые данные, что позволяет рассматривать полученные данные как некоторую среднюю экспертную оценку. В принципе этот подход не противоречит канонам математической статистики (Рожков, 1989), хотя, безусловно, он страдает и определенными условностями. На рисунке 8 показано географическое распределение репрезентативных разрезов почв. Общее количество внесенных в базу данных ГИС профилей почв составляет более 230. Каждый профиль в базе данных характеризуется аналитическими и морфологическими свойствами, предложенными для данного уровня обобщения.

Информация по свойствам почв, введение которых в базу данных базируется на экспертной оценке, была заимствована, главным образом, из опубликованных данных ГИПРОЗЕМов (например, Крылатов и др, 1996), которые достаточно подробно освещают свойства почв сельскохозяйственных угодий.

Кроме того, в качестве дополнительных атрибутов в Базу Данных были введены данные о степени деградированности почвенного покрова выделов.



*Рис. 8. Расположение репрезентативных профилей почв на территории России*

Были использованы основные параметры деградации почв и методика их кодирования изложенные в (Guidelines..., 1995). В соответствии с данной методикой вся информация о деградации почв заносилась в матричную таблицу. Информация снималась с карт различных типов деградации, накладывалась на базовую почвенную карту и заносилась в таблицу. Картографической единицей карты деградации почв является почвенный контур базовой карты (Столбовой и др., 1999).

### **Специфика ГИС-инвентаризации на региональном уровне обобщения**

Почвенная карта является одним из основных результатов изучения почв какой-либо территории. В ней аккумулируются в сжатом виде все знания почвоведов о почвах и почвенном покрове. Кроме этого, она является своеобразным связующим звеном между теоретическим, фундаментальным и прикладным почвоведением. Без почвенной карты практически невозможно осуществить внедрение почвенных знаний в практику. Почвенные карты разных масштабов отражают реальное состояние почвенных ресурсов на разных уровнях

обобщения и имеют различное целевое назначение. Результаты инвентаризации почв в виде средне- и мелкомасштабных карт используются при решении экологических проблем, проблем оптимизации землепользования отдельных районов и субъектов РФ (Савин, 1999).

В настоящее время существует несколько групп методических подходов к инвентаризации почв в среднем и мелком масштабе. Во-первых, это подходы, которые можно назвать традиционно-картографическими (Долгова, 1979; Составление..., 1990). Во-вторых, подходы, базирующиеся на данных дешифрирования почв по дистанционным материалам (далее – «дистанционные») (Андроников, 1979; Симакова, 1984 и др.). Третья группа подходов основывается на использовании геоинформационных технологий (SOTER..., 1991; Столбовой и др, 2001). Конечно же, подобное разделение условно, так как используемые подходы часто носят смешанный характер. Кроме того, подходы сгруппированы нами в порядке их исторического развития.

Методические подходы первой группы отличаются значительной субъективностью и достаточно слабой воспроизводимостью (с точки зрения точности нанесения границ контуров), так как точность границы выделов целиком зависит от опыта и представлений о географии почв картографопочвоведов. Почвенные карты, получаемые в рамках данных подходов дают достаточно общую картину состояния почвенных ресурсов, тогда как для практического использования создаваемой карты наиболее важным является максимально полное (в данном масштабе) отражение деталей, региональной специфики почвенного покрова.

Подходы второй группы (дистанционные) несколько более объективны и технологичны. Несмотря на то, что разработано большое разнообразие подходов к дешифрированию почв и почвенного покрова по аэро- и космическим снимкам, проблема создания среднemasштабных и мелкомасштаб-

ных почвенных карт только с использованием дистанционных материалов все еще далеко от разрешения (Савин, 1998; Симакова, Савин, 1998). В результате, в настоящий момент фактически в рамках подходов второй группы наряду с дистанционными материалами при составлении почвенных карт широко используются и данные тематических природных карт, что сближает подходы этой группы по уровню объективности и воспроизводимости с подходами первой группы.

Попытки сделать процесс инвентаризации почв в среднем и мелком масштабе более технологичным и объективным при использовании компьютерных технологий предпринята в рамках подходов третьей группы (геоинформационные). Первые попытки разработки подобных подходов и технологий, при кажущейся во многом их объективности и воспроизводимости, тем не менее, в основе своей базировались на тех же традиционных визуальных принципах получения инвентаризационного выдела. Так, например, выдел SOTER получается по строго определенным правилам, но традиционно картографическим способом и лишь затем вводится в компьютер, в Руководстве по созданию почвенной базы данных стран ЕС (1:1 мм масштаба) в отличие от SOTER вообще не установлены единые правила получения инвентаризационного выдела, но получают его также традиционно-картографическим способом.

Инвентаризационная почвенная ГИС (ИПГИС) любого уровня обобщения состоит из двух основных частей: геометрической и атрибутивной. В процессе создания средне-масштабной и мелкомасштабной ИПГИС сначала создается сеть выделов, к которым впоследствии привязывается атрибутивная база данных свойств почв и почвенного покрова. В общем, суть предполагаемого подхода можно охарактеризовать как **«компьютерная имитация традиционного картосоставления с использованием данных дистанционного зондирования»**. На первом этапе работ проводится оцифровка традиционно составленных тематических природных

карт соответствующего масштаба, которые используются при традиционном среднемасштабном картографировании почв. Затем, по мере возможности, данные карты корректируются автоматизированно или интерактивно с использованием данных дистанционного зондирования земной поверхности. На основе скорректированных карт в компьютере создается серия «факторных» карт (Составление..., 1990). При этом широко используются знания о почвенно-ландшафтных взаимосвязях, их региональной специфике. Отличием факторных карт от исходных тематических является то, что они представляются в градациях (классификационных выделах), важных для обособления почвенно-географических выделов. Например, выделы факторной карты рельефа для равнинных регионов могут быть получены с учетом преобладающей крутизны склонов и степени расчленения рельефа, а для горных регионов – при их построении необходимо будет также учесть абсолютные высоты, экспозиционность склонов. Путем совмещения факторных карт создается компьютерная карта каркаса почвенно-географических выделов на заданном уровне обобщения. Затем данная карта по мере возможности детализируется в компьютере на основе обработки данных дистанционного зондирования. Для этого могут быть использованы самые различные подходы автоматизированного или полу-автоматизированного дешифрирования почв по дистанционным материалам (Савин, 1998). Полученные почвенно-географические выделы хранятся в компьютерном виде, и именно к ним привязывается атрибутивная информация о свойствах почв и почвенного покрова. Состав атрибутивной базы данных может варьировать в зависимости от целевого назначения ИПГИС и спектра решаемых с ее помощью задач. Список свойств почв и почвенного покрова, которые должны образовать ее ядро, был предложен ранее (Савин, 1999).

Фактографической основой для апробации предлагаемого подхода послужила ГИС Южного Дагестана, созданная для

анализа земельных ресурсов на региональном уровне обобщения, с использованием программного обеспечения ГИС ILWIS (Рамазанов, Савин, 1998).

В качестве тестового участка был выбран фрагмент ГИС на горную часть Южного Дагестана. Для построения факторных карт использовались следующие цифровые карты:

- цифровая модель рельефа, построенная на базе изогипс топографической карты региона масштаба 1:300000. Она представляет собой растр, каждый пиксель которого несет информацию о средней абсолютной высоте местности в его пределах. Размер пикселя определяется масштабом исходной гипсометрической карты. Для карты выбранного масштаба в качестве оптимального был выбран размер пикселя 100\*100 метров на местности;

- компьютерная карта растительности, в основе которой лежит фрагмент карты «Растительность ДАССР» (1986) масштаба 1: 300 000, скорректированной по материалам многозональной космической съемки с разрешением на местности около 80 метров;

- компьютерные геологическая карта и карта четвертичных отложений, построенные путем оцифровки фрагментов соответствующих листов «Геологической карты СССР» (м-б 1:1000000) и «Карты четвертичных отложений» (м-б 1:200000).

На основе цифровой модели рельефа была построена с использованием геоинформационных подходов климато-геоморфологическая факторная цифровая карта, отражающая влияние климатических и рельефных условий на географию почв региона. На базе иных карт были созданы, соответственно, факторные цифровые карты растительности и почвообразующих пород. Построение всех факторных карт осуществлялось на основе алгоритмов, созданных с учетом анализа почвенно-ландшафтных связей региона исследований, установленных по литературным источникам (Зонн, 1940; Акимцев, 1948; Гурлев, 1972; Керимханов, 1976; Молчанов и др., 1990; Залибеков, 1993, 1995). В результате ком-

пьютерного наложения полученных факторных карт друг на друга был построен каркас почвенно-географических «выделов» ИПГИС\*\*\* (рис. 9). В полученные выделы была уложена информация о почвенном покрове территории, имеющаяся на традиционно составленной среднемасштабной почвенной карте региона исследований (Почвенная..., 1990). Затем полученные почвенно-картографические выделы были детализированы с использованием данных автоматизированного дешифрирования почв по многозональным космическим снимкам с разрешением на местности около 80\*80 метров.

Специфика природных условий во многом предопределила и методические подходы, разработанные для детализации почвенной карты на основе дистанционного анализа почвенных ресурсов изучаемой территории.

На предварительном этапе анализа космические снимки были скорректированы по тону с учетом влияния атмосферных условий, а также экспозиции склонов. Коррекция снимков с учетом влияния атмосферных условий и экспозиции склонов была проведена с использованием подходов, разработанных V. Radeloff et al. (1997).

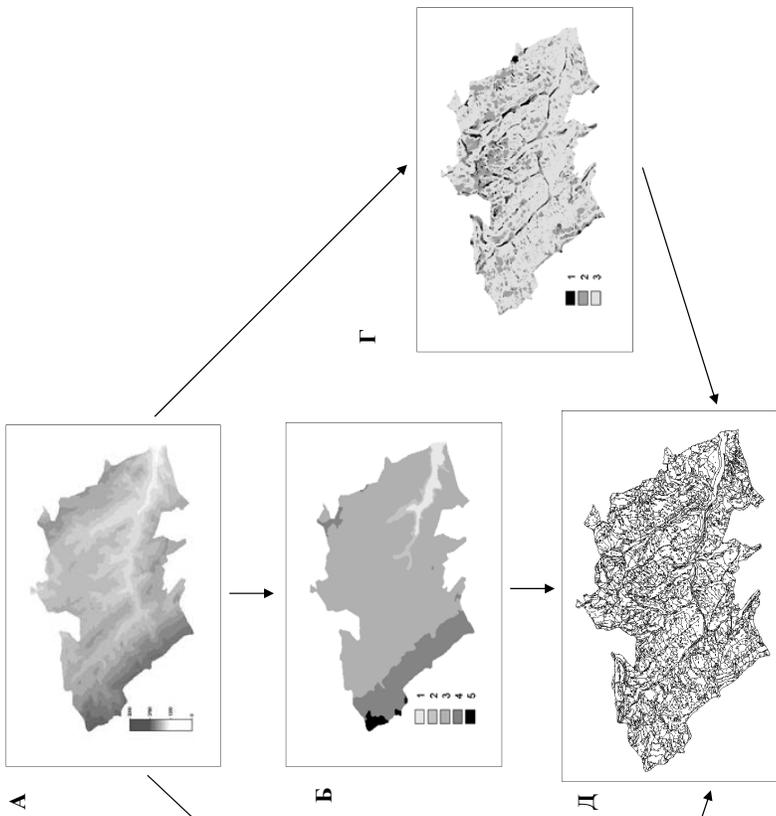
После коррекции анализ неоднородностей изображения территории на космическом снимке осуществлялся отдельно для участков, лишенных растительного покрова (точнее, с проектным покрытием растительности менее 5–10%), и для участков, где проективные покрытия растительного покрова более 10%. При этом считалось, что в первом случае влияние растительности на характер изображения минимально, также как во втором – минимально влияние цвета поверхности почв.

---

\*\*\* Понятие «выдел» в данном контексте является достаточно условным. Большинство операций в ГИС проводятся с картами, представленными в растровом формате (в виде матрицы пространственно-координированных элементарных участков (пикселей), имеющих заданный размер (в нашем примере – 100\*100 метров)). Поэтому, каркас «выделов» чаще всего является комбинацией не контуров, а подобных элементарных участков, которые в принципе могут образовываться к различным классам.

**Рис. 9. Последовательность построения предварительного каркаса почвенно-географических выделов. Условные обозначения:**

- А** – визуализация цифровой модели рельефа (указана абсолютная высота в метрах);
- Б** – визуализация карты классов высот (1 – менее 1800 м, 2 – 1800–1900 м, 3 – 1900–2800 м, 2800–3500 м, более 3500 м);
- В** – визуализация карты классов экспозиции склонов (1 – северная, 2 – восточная, 3 – южная, 4 – западная);
- Г** – визуализация карты классов уклонов (1 – до 2 градусов, 2 – 8 градусов, 3 – более 8 градусов);

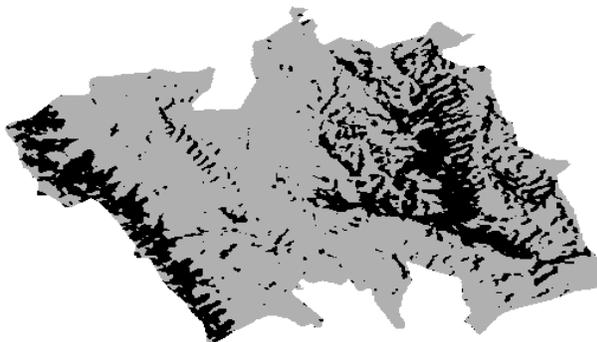


Разделение территории исследований на эти две части было осуществлено на основе расчета одного из так называемых вегетационных индексов (NDVI – Normalized Digital Vegetation Index) по формуле:

$$NDVI=(T3-T2)/(T3+T2)$$

(условные обозначения смотри ниже).

Принимая во внимание, что чем выше значения NDVI, тем больше «зеленость» изображения объектов, а также значения NDVI для облачности, снегов и водных объектов, в качестве границы для разделения региона на две части по проективному покрытию растительности было определено значение  $NDVI = 0.24$  (рис. 10).



*Рис. 10. Открытость почвенного покрова тестового участка для непосредственного дешифрирования (светлые контуры – под растительностью, темные – без нее).*

Затем, для участка под растительностью был осуществлен синтез изображения территории на космических снимках в натуральных цветах (точнее, в близких к натуральным). Полученное цветное изображение использовалось при

определении тестовых участков, послуживших в качестве основы для осуществления классификации изображения с обучением (с использованием данных съемки в трех зонах спектра электромагнитных волн: 0.5–0.6 мкм, 0.6–0.7 мкм и 0.7–0.8 мкм). На основе экспертного анализа результатов, полученные классы были интерпретированы с точки зрения неоднородностей растительности и, затем, почвенного покрова участка.

В основе компьютерного анализа неоднородностей почвенного покрова участка без растительного покрова лежали теоретические построения, изложенные ранее (Савин, 1990; Савин, Столбовой, 1998).

В рамках данных подходов, базирующихся на анализе специфики светоотражения почв, изображение региона исследований на снимках разных зон спектра было пересчитано в псевдоизображение по формуле:

$$T_{mn} = T_n \cdot 100 / (T_1 + T_2 + T_3), \text{ где}$$

$T_{mn}$  – псевдотон изображения;

$T_n$  – тон изображения на снимке зоны спектра  $n$  ( $n$  – одна из зон спектра:  $n=1$  для зоны спектра 0.5–0.6 мкм;  $n=2$  – для зоны 0.6–0.7 мкм;  $n=3$  для зоны 0.7–0.8 мкм);

$T_1; T_2; T_3; T_n$  – тон изображения на снимках зоны 1; 2; 3;  $n$  соответственно.

В результате пересчета было получено три псевдоизображения территории для соответствующих зон спектра электромагнитных волн, которые характеризуют неоднородности цвета и оттенков псевдоизображения. Они были использованы в качестве основы для синтеза псевдоизображения по аналогии с процедурой получения изображения территории в натуральных цветах. Полученное в результате синтеза псевдоизображение было использовано для определения те-

стовых участков, послуживших в качестве основы для осуществления контролируемой классификации изображения (по методу ближайшего соседства).

Согласно принятой теоретической концепции, классы псевдоизображения дают представление о пространственном варьировании таких свойств открытой поверхности почв как минералогический состав, тип гумуса, присутствие легкорастворимых солей, щебнистость и не зависят от содержания гумуса, гранулометрического состава мелкозема, влажности почв. Для получения информации о пространственном варьировании последних свойств почв был применен следующий подход. Было синтезировано изображение участка с открытой поверхностью почв в натуральных цветах, и затем, из натурального цветного изображения была экстрагирована информация об интенсивности цвета. Затем, полученное изображение интенсивности было квантовано по тону с равномерным шагом на 10 классов (шаг квантования был выбран исходя из анализа статистического распределения величин интенсивности изображения, а также с учетом погрешности расчета интенсивности).

После этого, результаты классификации по псевдотону изображения были совмещены с результатами классификации по интенсивности тона изображения. Результирующее изображение было интерпретировано с точки зрения пространственного варьирования всего набора вышеперечисленных свойств поверхности почв.

Результаты анализа неоднородностей почвенного покрова с открытой поверхностью почв были совмещены с таковыми, полученными для территорий под растительным покровом. Полученная интегральная схема послужила основой для детализации каркаса почвенно-картографических выделов, построенных ранее (см. выше).

Практическая реализация описанных алгоритмов анализа снимков также осуществлялась с использованием геоинформационного пакета программ ILWIS.

Определение почвенного содержания детализированных выделов проводилась с использованием экспертных оценок. При этом учитывалось, что:

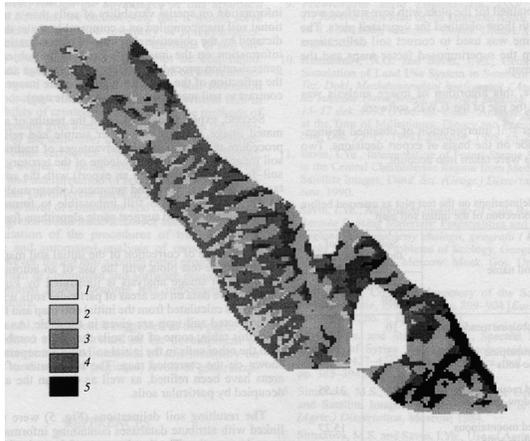
1. Космические снимки *a priori* содержат более детальную информацию о пространственном варьировании почвенного покрова, чем традиционно составленная почвенная карта сопоставимого масштаба, что определяется объективностью генерализации и большей оперативностью представления ими информации на конкретном уровне обобщения.

2. Экспертная интерпретация полученных результатов автоматизированного анализа неоднородностей более проста и надежна, так как при этом задействуется весь багаж знаний почвовед – дешифровщика о строении почвенного покрова территории, свойствах почв и почвенно-ландшафтных связях, который на данном этапе развития компьютерной техники практически невозможно полностью формализовать.

Пример детализации одного из выделов каркаса, построенного для тестового участка, представлен в виде схемы на рисунке 11. В таблице 4 для сравнения приведены сведения о площадях почв для этого выдела, полученные с традиционно составленной почвенной карты (Почвенная..., 1990), и соответствующие величины площадей после детализации. Таким образом, сопутствующие почвы выдела в результате детализации приобрели географическую локализацию, а их площади были уточнены.

Полученные в результате детализации «выделы» (рис. 12) были затем сопряжены с атрибутивной базой данных о свойствах почв.

Таким образом, данный подход аккумулирует достижения традиционных почвенно-картографических исследований, дистанционных методов почвенного картографирования и существующие работы в областях использования технологий ГИС при инвентаризации почвенных ресурсов.



*Рис. 11. Пример детализации выдела традиционно составленной почвенной карты*

Условные обозначения: 1 – горно-луговые субальпийские почвы, 2 – горные лугово-степные субальпийские почвы, 3 – горные лугово-степные субальпийские слабосмытые почвы, 4 – горные лугово-степные субальпийские сильносмытые почвы, 5 – выходы горных пород и осыпи.



*Рис. 12. Каркас почвенно-географических выделов после их детализации по данным дешифрирования космических снимков*

При построении каркаса геометрической части БД ИПГИС максимально полно используется опыт традиционного почвенного картографирования, существующие представления о почвенно-ландшафтных связях. Использование дистанционных материалов позволяет более полно отразить географию неоднородностей почвенного покрова территории исследований, оценить его пестроту на заданном уровне обобщения информации. При этом дешифрирование почвенного покрова по космическим снимкам может осуществляться любым из существующих методов. Все это наряду с организацией базы данных о почвенных ресурсах с использованием подходов ГИС, позволяет сделать процесс инвентаризации почв на рассматриваемом уровне обобщения более технологичным, воспроизводимым и объективным, что открывает широкие возможности для осуществления мониторинга почвенного покрова.

*Таблица 4*

**Площади почв тестового выдела  
до и после детализации**

наименование почвы	доля от площади контура (%)	
	исходная почвенная карта	карта после детализации
Горно-луговые субальпийские	10	8,99
Горные лугово-степные субальпийские	55	37,97
Горные лугово-степные субальпийские слабосмытые	25	31,55
Горные лугово-степные субальпийские сильносмытые		15,27
Выходы горных пород и осыпи	10	6,22

Несмотря на очевидность преимуществ предлагаемого подхода, нельзя утверждать, что с его помощью проблема инвентаризации почв на рассматриваемом уровне будет полностью решена. В подходе аккумулированы все достоинства традиционно-картографических и дистанционных методов, но при этом, часть их недостатков остается также неустраненной. Во-первых, степень достоверности почвенно-ландшафтных связей будет определять степень достоверности и создаваемой ИПГИС. Во-вторых, дистанционные методы в настоящий момент часто позволяют получать данные о неоднородностях строения почвенного покрова лишь отдельных территорий, а для других – они не являются эффективными (ограничение дистанционных методов), что может привести к неоднородной степени детализации и информативности создаваемой ИПГИС. И кроме этого, современный уровень развития компьютерной техники может быть в некоторых случаях недостаточен для полной имитации традиционного процесса картосоставления или процесса дешифрирования дистанционных материалов (ограничение уровня развития компьютерной техники). Но с дальнейшим совершенствованием компьютерной техники и программного обеспечения, последняя проблема будет становиться все менее и менее значимой.

Следовательно, предлагаемый подход рассматривается лишь как один из первых шагов на пути развития современных, компьютерных методов инвентаризации почв на рассматриваемом уровне обобщения.

### **Специфика инвентаризации на локальном уровне обобщения**

В последние десятилетия в связи с накоплением большого количества фактической информации о закономерностях пространственного варьирования отдельных свойств почв, развития геостатистических методов исследования и развитием технологий географических информационных систем,

появилась возможность более подробного и точного анализа почвенных ресурсов. На этом фоне основным ограничивающим фактором дальнейшего совершенствования методов их анализа опять же явилась недостаточная информативность традиционно составляемых почвенных карт.

Для разрешения данной проблемы может быть использован следующий подход.

В основе детальной компьютерной инвентаризации почв должна лежать база даннь, характеризующаяся специально разработанной структурой и составом. Во-первых, база даннь должна содержать информацию о пространственном варьировании на территории исследований факторов, определяющих специфику изменения отдельных свойств почв. Состав данной части БД может быть непостоянен и зависит от специфики природных условий региона исследований, но в качестве основных слоев информации рассматриваются цифровая модель рельефа (дающая возможность получить исчерпывающую информацию о рельефе региона), данные о микроклиматической изменчивости, о геологическом строении территории, о характере наземного покрова и специфике использования территории, а также изображение региона исследований на дистанционных материалах. Во-вторых, БД должна содержать данные о свойствах почв, полученные в результате полевых работ для отдельных точек с точной привязкой на местности. В идеале, набор свойств почв должен включать все свойства, необходимые для анализа почвенных ресурсов (в том числе и положение почвы в рамках существующей классификации). Важнейшей задачей является определение точек полевого опробования почв. В принципе, для получения данных о каждом свойстве должна быть заложена своя сеть точек. С учетом взаимосвязей отдельных свойств почв, точки для многих свойств могут быть совмещены друг с другом. Количество точек на конкретной территории исследований и место их расположения должны определять-

ся заранее, на основе анализа информации первого блока БД (см. выше) и представлений о специфике пространственного варьирования свойств почв. Хотя, в принципе, в рамках предлагаемого подхода можно оперировать и случайным набором точек полевого опробования почв. Количество точек и их расположение должны быть достаточными для осуществления по мере необходимости пространственной интерполяции и/или экстраполяции данных точечных наблюдений об отдельных свойствах почв на всю территорию исследований. В качестве основных методов интерполяции могут быть использованы подходы, основанные на методах геостатистического анализа данных в рамках технологий ГИС. В качестве наиболее известных из них можно назвать методы множественного регрессионного анализа, кригинга, скользящих и средних поверхностей, трендовых поверхностей и их различных модификаций и комбинаций. В настоящее время подобные подходы к анализу специфики пространственного варьирования данных в научных исследованиях используются уже достаточно широко (Burrough, 1986; Journel, 1986; Oliver, Webster, 1990; Rogowski, 1996; Resumes..., 1998).

Таким образом, инвентаризационная почвенная ГИС на детальном уровне анализа должна содержать базу данных о свойствах почв, привязанную к отдельным точкам, заложенным по определенной схеме размещения в полевых условиях, набор дополнительной пространственной информации о факторах почвообразования, включая изображение территории на дистанционных материалах, а также алгоритмы интерполяции точечных данных об отдельных свойствах почв (в том числе и их классификационного положения) на всю территорию исследований. В идеале, подобная БД должна позволять получать пространственные данные об основных свойствах почв, необходимых для анализа почвенных ресурсов. Кроме того, она может быть использована при необходимости для компьютерной имитации традиционного детального картосоставления.

Проиллюстрируем изложенные подходы конкретным примером. Детальная инвентаризационно-почвенная ГИС была создана для опытного поля Почвенного института им. В. В. Докучаева. Поле расположено в пределах северного склона Среднерусской возвышенности в бассейне реки Беспута (правой приток Оки в ее среднем течении). Площадь поля 84 га, располагается оно на пологом склоне западной экспозиции и частично на высокой пойме реки. По данным обследований Тульского филиала Росгипрозема на поле преобладают серые лесные слабосмытые тяжелосуглинистые почвы на лессовидных покровных суглинках и аллювиальные дерновые почвы средне-суглинистого грансостава на аллювии пойменной поверхности.

БД ГИС включала в качестве основных слоев информации цифровую модель рельефа, изображение поля на аэрофотоснимках двух сроков съемки, а также точечные данные с определениями влажности, плотности почв, содержания гумуса в пахотном горизонте почв, а также с описанием морфологии почвенного профиля (точечные данные о влажности, плотности и частично о содержании гумуса были любезно предоставлены автору А. Г. Бондаревым). При построении БД специальный отбор мест почвенных точечных опробований не проводился. Точки расположены на поле случайным образом. С использованием технологии ГИС на базе основных слоев информации была получена серия производных компьютерных карт: уклонов местности, экспозиции формы склонов, типизации форм мезорельефа на поле, микроклимата (с привлечением литературных данных (Романова, 1977)), типов наземного покрова.

Интерполяция точечных данных об отдельных свойствах почв осуществлялась с использованием множественного регрессионного анализа. В результате анализа были найдены наиболее достоверные регрессионные уравнения взаимосвязи конкретного свойства почв с параметрами остальных слоев информации БД ГИС. Полученные уравнения были использованы для построения компьютерных карт отдельных свойств почв в ГИС.

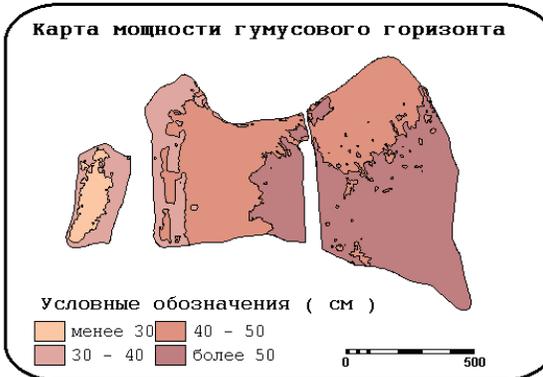
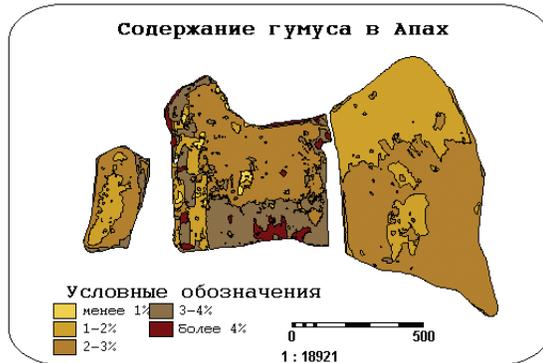
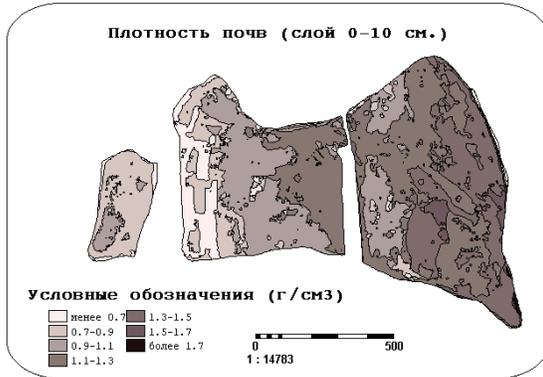
В таблице 5 представлены примеры уравнений линейной регрессии, использованных для интерполяции отдельных свойств почв.

На рисунке 13 приведены в уменьшенном виде в произвольных грациях компьютерные карты перечисленных в таблице свойств почв, полученные в результате геоинформационной интерполяции на основе приведенных выше регрессионных уравнений.

Таблица 5

### Результаты регрессионного анализа

свойство почв	количество точек	уравнение регрессии	R <sup>2</sup>	критерий С
1. Влажность в слое 0–10 см	43	$ВЛ = 6,88879 - 0,0616845 \cdot A1 - 0,0825956 \cdot A2 + 0,207146 \cdot B$	52,44	2,55
2. Плотность в слое 0–10	43	$\Pi = -1,98721 + 0,000666528 \cdot A2 - 0,1105116 \cdot Y + 0,0126085 \cdot B - 0,000694395 \cdot \text{Э}$	96,24	2,77
3. Содержание гумуса в Апах серых лесных почв	25	$\Gamma = 13,1203 - 0,107128 \cdot P - 0,37333 \cdot Y - 0,0383294 \cdot A2$	91,05	2,63
4. Мощность горизонта А	40	$M = -15,545 + 0,460425 \cdot B - 1,30243 \cdot Y - 0,0753776 \cdot A1$	51,14	1,85
Условные обозначения				
– П	– плотность почв, г/см <sup>3</sup> ;			
– Г	– содержание гумуса %;			
– М	– мощность гумусового горизонта, см;			
– ВЛ	– влажность почв, %;			
– А1	– фототон изображения на аэроснимке 1;			
– А2	– фототон изображения на аэроснимке 2;			
– Y	– уклон местности, градусы;			
– В	– абсолютная высота местности, м;			
– Э	– экспозиция склона, градусы азимута;			
– P	– радиация, МДж/м <sup>2</sup> д			



*Рис. 13. Компьютерные карты отдельных свойств почв тестового поля*

Полученные в результате интерполяции карты отдельных свойств могут быть использованы в качестве основы для создания компьютерного варианта традиционных почвенных карт. Например, в приделах опытного поля границы ЭПА могут быть установлены на основе анализа информации о содержании гумуса и мощности гумусового горизонта почв, так как именно эти свойства являются значимыми для определения положения почв поля в принятой в России классификации почв (Классификация..., 1977). Согласно этому источнику аллювиальные дерновые почвы разделяются на видовом уровне следующим образом:

по содержанию гумуса:

< 3% – малогумусные;

3–5% – среднегумусные;

> 5% – многогумусные.

по мощности гумусового горизонта:

< 20 см – маломощные укороченные;

20–40 см – маломощные;

> 40 см – мощные.

Серые лесные пахотные почвы поля могут попадать как в разные виды, так и роды почв. На видовом уровне эти почвы разделяются следующим образом:

по мощности гумусового горизонта:

< 20 см – маломощные;

20–40 см – среднемощные ;

> 40 см – мощные,

а на родовом:

по степени смытости почв на:

слабосмытые – гумусовые горизонты смыты не более чем на одну треть первоначальной мощности, горизонт А2В в пашню не вовлекается совсем или едва захватывается по верхней границе;

среднесмытые – гумусовый горизонт смыт больше чем на одну треть, в пашню вовлекается верхняя часть горизонта В;

сильносмытые – гумусовый горизонт смыт полностью, пахотный горизонт представлен в основном горизонтом В

(Классификация и диагностика почв СССР, 1977, стр. 59).

На основе данных определений и с учетом свойств серых лесных почв региона исследований были выработаны следующие критерии их разделения по степени смытости:

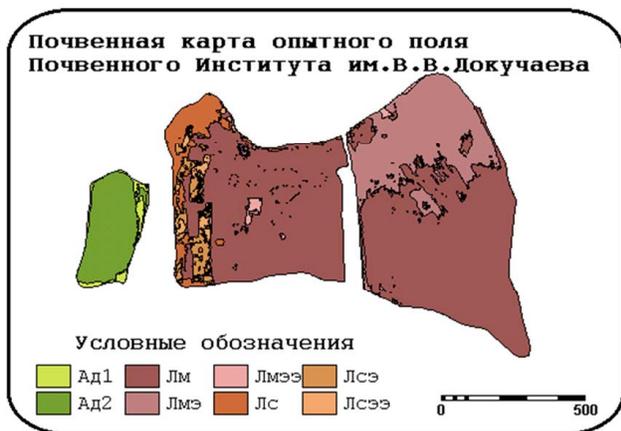
а) при наличии А1 непахотного и содержании гумуса  $> 2\%$  почва относилась к несмытой;

б) при мощности А1  $< 24$  см (глубина вспашки) и содержании гумуса  $< 1,2\%$  – сильносмытые ;

в) при мощности А1  $< 24$  см и содержании гумуса  $1,2-2\%$  – среднесмытые;

г) при мощности А1  $< 24$  см и содержании гумуса  $> 2\%$  – слабосмытые.

В соответствии с подобными градациями карты содержания гумуса и мощности гумусового горизонта были расклассифицированы и затем наложены друг на друга. Полученные в результате наложения выделы были проинтерпретированы с точки зрения классификационного положения почв. На рисунке 14 представлены результаты интерпретации.



***Рис. 14.** Результат интерпретации  
классификационного положения почв тестового поля:*

- Ад1 – флдувиальные дерновые малогумусные;
- Ад2 – аллювиальные дерновые среднегумусные;
- Лм – серые лесные маломощные;
- Лмэ – серые лесные маломощные слабосмытые;
- Лмээ – среднесмытые;
- Лс – серые лесные среднемощные;
- Лсэ – серые лесные среднемощные слабосмытые;
- Лсээ – они же среднесмытые.

Мы не приводим содержательный анализ построенных компьютерных карт, который, в принципе, может дать совершенно новое представление о географии как отдельных свойств почв региона исследований, так и почв в целом, об их генезисе. Примеры лишь иллюстрируют предлагаемые методические подходы.

Внедрение предлагаемых подходов в практику инвентаризации почв на детальном уровне позволит разрешить проблему недостаточной информативности традиционно составленных почвенных карт для решения многих практических (к примеру, агрономических) задач. Кроме того, при изложенных подходах практически исключается из обсуждения про-

блема вычленения элементарного выдела почв (земель) – как основного объекта анализа почвенных ресурсов. В результате использования геоинформационных подходов выделы можно будет генерировать на основе инвентаризационной почвенной ГИС исходя из условий решения конкретной задачи анализа почвенных ресурсов.

В качестве основного недостатка предлагаемых подходов является невозможность использования установленных взаимосвязей отдельных свойств почв на другой территории. Но и этот недостаток в перспективе вероятно будет разрешен по мере накопления сведений о подобных количественных взаимосвязях для различных регионов.

Таким образом, предложенные методы ГИС-инвентаризации почвенных ресурсов на разных уровнях обобщения с возможной компьютерной визуализацией входных данных и результатов были апробированы на конкретных примерах. Апробация показывает, что на уровне страны инвентаризация должна осуществляться на основе оцифровки традиционных мелкомасштабных почвенных карт, на уровне субъекта Российской Федерации – путем компьютерной имитации методов традиционного среднемасштабного почвенного картографирования, а на уровне отдельного угодья и хозяйства – на основе компьютерного анализа непосредственно данных полевых исследований почвенного покрова.

## **РЕГИОНАЛЬНАЯ НОМЕНКЛАТУРНО- ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ДЕТАЛИЗАЦИЯ ЕДИНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕЕСТРА ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ РОССИИ**

Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (ЕГРПР) призван обеспечить почвенную нормативно-правовую основу регулирования комплекса земельных отношений для повышения эффективности использования почвенных ресурсов и их охраны, совершенствования механизма платности землепользования, стабилизации бюджетных доходов регионов, совершенствования государственной кадастровой оценки земель и др.

ЕГРПР разработан в соответствии с требованиями к государственным информационным ресурсам о сельскохозяйственных землях, включающими: использование современных информационных технологий и геоинформационные технологии, данные о состоянии плодородия почв, морфогенетические свойства почв, их гранулометрический состав, кислотность, содержание гумуса, макро- и микроэлементов, тяжелых металлов и радионуклидов, характеристики произрастающей на них растительности по геоботаническому составу, урожайности сельскохозяйственных культур, установленной при проведении наземных обследований. Перечисленная информация должна предоставляться с различной степенью агрегации (Российская Федерация, субъект Российской Федерации, муниципальный район/городской округ, сельское/городское поселение) и сопровождаться соответствующими программными средствами.

Будучи важной частью государственных информационных ресурсов, ЕГРПР охватывает почвы всей территории страны, унифицирует нормативно-технические характеристики почв и почвенного покрова и служит единой информационной основой исполнения принятых земельно-законодательных ак-

тов. ЕГРПР обеспечивает согласованное функционирование государственных механизмов в сфере рационального использования и охраны почв.

ЕГРПР унифицирует номенклатуру почв на федеральном уровне. При этом за терминологическую основу ЕГРПР взята номенклатура Государственной почвенной карты СССР, которая сохраняет традиционный в России принцип построения названий почв, начиная с названия типа и, далее, подтипа, рода, вида и т. д. Для построения региональной номенклатуры рекомендуется следовать этому принципу и вводить дополнительные названия почв только для детализации номенклатуры федерального уровня. Тем самым, ЕГРПР следует закрепленному Конституцией РФ общему принципу регулирования земельных отношений в системе законодательства нашей страны, которые, согласно Статьи 72 Конституции РФ, относятся к предмету совместного ведения РФ и субъектов РФ.

Предлагаемый раздел включают изложение опыта проведения номенклатурно-таксономической детализации ЕГРПР для отдельного субъекта и муниципального района (на примере Владимирской области и Суздальского района Владимирской области). При этом в качестве информации для детализации ЕГРПР использованы данные крупномасштабных почвенных съемок Росземпроект. Списки почв Росземпроект обобщены в материалах 4-го тура земельно-оценочных работ, выполнявшихся в 1988–90-х годах для сельскохозяйственных земель СССР. Списки почв Росземпроекта содержат морфологические описания почв, их базовые аналитические характеристики (содержание гумуса, содержание физической глины и др.). Несмотря на то, что аналогичные списки почв отсутствуют для земель лесного фонда и других категорий земель, изложенные ниже общие подходы могут быть также рекомендованы для почв других категорий земельного фонда РФ.

## Понятия номенклатуры и таксономии в отечественном почвоведении

### *Номенклатура*

Номенклатура почв ЕГРПР основана на принципах, принятых на государственной почвенной карте СССР. Эти принципы сохраняют традиционный в отечественном почвоведении подход построения названий почв, начиная с названия типа и, далее, подтипа, рода, вида и т.д.

Термин «номенклатура» соответствует понятию «название», которое отражает суть объекта. В почвоведении номенклатура почв означает наименования почв в соответствии с их свойствами и классификационным положением. Номенклатура почвы охватывает все таксономические уровни, причем, как отмечено выше, каждое последующее название дополняет предыдущее. В национальной школе почвоведения были приняты лаконичные, во многом символические названия, отражающие определенные понятия и основные свойства почв: «подзол», «чернозем», «солонец», «солончак» и т. д.

Отметим, что употребление в отечественном почвоведении название типа почв по окраске является не только непосредственной фиксацией цветовой характеристики отдельной почвы, но, в большей степени, выступает обобщением всей совокупности, присущих данной почве свойств. Иными словами, под цветовой характеристикой типа почв, понимается совокупность свойств, обусловленная определенной направленностью почвообразовательного процесса. Для некоторых типов почв экологическое название стало основным, например, арктические, тундровые, луговые, болотные, так как эти термины хорошо характеризуют морфогенетическую направленность почвообразования.

Номенклатура подтипов почв складывалась вслед за выделением их разнообразия в почвенном покрове страны. Такой подход реализует принцип географического актуализма,

согласно с которым названия подтипов присваиваются только тем почвам, которые диагностированы по своим морфоаналитическим показателям и которые имеют, свойственный данным почвам, факторно-генетический ареал.

Номенклатура родов почв включает термины, определяющие их характерные свойства (солонцеватые, осолодевшие, солончаковые, контактно-глеевые и т. п.), указывающие на реликтовые признаки, оставшиеся от предшествующей фазы почвообразования (остаточно-луговые, достаточно-подзолистые и т. д.). Для номенклатуры разновидностей почв используют названия механического состава и для номенклатуры разрядов почв – термины, характеризующие литологию или генезис почвообразующих пород.

### ***Таксономия***

Таксономия почв – система единиц групповых подразделений почв различного ранга (типы, подтипы, роды, виды и др.) в их взаимном соподчинении для систематики и классификации. Термин «таксономия» происходит от греч. *taxis* – строй, порядок, либо лат. *takso* – оцениваю и *nomos* – закон. В отечественном почвоведении таксономические единицы включают последовательно соподчиненные систематические категории почв, которые показывают степень детальности, или точность их определения: тип → подтип → род → вид → подвид → разновидность → разряд → подразряд.

*Тип почвы* – большая группа почв, развивающихся в однотипно сопряженных биологических, климатических, гидрологических условиях и характеризующихся ярким проявлением основного процесса почвообразования при возможном сочетании с другими процессами. Примеры типов почв: подзолистые почвы, черноземы, серые лесные, сероземы, красноземы. Тип почв – это основная единица систематики почв.

*Подтип почвы* – это группы почв, в пределах типа, качественно отличающиеся по проявлению основного и налагающихся процессов почвообразования, обусловленных:

- наложением дополнительного процесса почвообразования (чернозем оподзоленный, глеево-подзолистая почва);
- существенным изменением основного признака типа (светло-серые, серые, темно-серые лесные почвы);
- спецификой положения в пределах почвенной зоны (чернозем южный);
- спецификой климатической фации в пределах почвенной зоны или подзоны (чернозем типичный умеренный, чернозем типичный теплый, чернозем типичный холодный).

*Род почвы* – группы почв в пределах подтипа, качественные генетические особенности которых определяются влиянием комплекса местных условий:

- составом почвообразующих пород;
- составом и положением грунтовых вод;
- реликтивными признаками почвообразующего субстрата (солонцеватые, солончаковатые, осолоделые, остаточнo-луговые и т. д.)

Например, среди подтипа черноземов типичных умеренных выделяются следующие роды почв: обычные, остаточнo-подзолистые, глубококовскипающие, остаточнo-карбонатные, солонцеватые.

*Вид почвы* – это группы почв, в пределах рода, различающиеся по степени развития основного почвообразовательного процесса. Например:

- среди подзолистых почв по степени развития подзолообразования выделяют виды сильно-, средне- и слабо-подзолистые почв;
- среди черноземов по степени развития гумусового горизонта выделяют с одной стороны: виды маломощных, среднемощных, мощных и сверхмощных черноземов, а с другой – виды мало-, средне- и многогумусных черноземов.

*Подвид почвы* – группы почв, в пределах вида, различающиеся по степени развития сопутствующего процесса. Например, могут быть выделены в пределах среднетощего малогумусного чернозема подвиды слабо-, средне- и сильно-солонцеватых почв.

*Разновидность почвы* – группы почв, в пределах вида или подвида, различающиеся по гранулометрическому составу верхних почвенных горизонтов (легкосуглинистые, среднесуглинистые, супесчаные, глинистые, песчаные и т. п. почвы).

*Разряд почвы* – группы почвы, образующиеся на однородных в литологическом или генетическом отношении породах (на лессах, морене, аллювии, граните, известняке и т. д.)

*Подразряд почвы* – группа почв, различающихся по степени сельскохозяйственного освоения или степени эродированности (слабо-, средне-, сильносмывтая почва; или слабо-, средне-, сильноокультуренная почва).

Полное наименование любой конкретной почвы складывается из названия всех таксонов, начиная с типа почвы и кончая подразрядом. Пример полного наименования почвы с учетом всех таксономических уровней: чернозем (тип), типичный умеренно промерзающий (подтип), глубоковскипающий (род), среднетощий, среднетощий (вид), слабо-солонцеватый (подвид), тяжелосуглинистый (разновидность), на лессе (разряд), слабо смывтый (подразряд).

### ***Номенклатурно-таксономическая основа ЕГРПР***

ЕГРПР включает номенклатуру, таксономию, географическое распространение и морфо-аналитические характеристики почв РФ. Исходным материалом ЕГРПР является Программа почвенной карты ... (Программа почвенной карты..., 1972) и Почвенная карта РСФСР масштаба 1:2 500 000 (Почвенная карта..., 1988). Номенклатура почв ЕГРПР заимствована из легенды отмеченной карты. Принятая номенклатура условно может быть разделена на: 1) почвы – 205 наименова-

ний (Приложение 1); 2) почвенные комплексы – 83 наименования (Приложение 2) и 3) непочвенные образования – 6 наименований (Приложение 3).

Каждому полигону/конуру цифровой почвенной карты ЕГРПР может соответствовать до четырех наименований почв из выделов легенды. Композиция почвенных полигонов приведена в Приложении 4.

Почва называется «основной» или «фоновой», если она занимает большую долю площади полигона, и «сопутствующей», если она занимает оставшуюся долю площади. В композиции почвенных полигонов «основная» почва всегда указывается первой независимо от того, сколько «сопутствующих почв» показано в полигоне. В качестве основной и сопутствующей почвы может быть использовано любое наименование из общего списка почв (Приложение 1), так и почвенных комплексов (Приложение 2).

Количественно для каждого полигона имеются указания только на долю основной почвы. Площади, занимаемые сопутствующими почвами, предполагаются одинаковыми в оставшейся доле площади полигона. Если наименование основной или сопутствующей почвы является почвенным комплексом, то доля каждой составной почвы комплекса в полигоне также может быть оценена равновероятно от доли площади, занимаемой данным почвенным комплексом в композиции полигона.

Описанная выше система композиции наименований почв позволяет включить в полигон до двенадцати наименований почв, комплексов и непочвенных образований.

Особенностью наименований почв ЕГРПР выступает разнообразие уровней номенклатурно-таксономической организации. Одни наименования соответствуют генетическим типам почв (подзолистые, дерново-подзолистые и т. д.), другие представляют уровень подтипов (дерново-подзолистые, темно-серые, серые, светло-серые лесные и др.), ро-

дов (торфяно-подзолисто-глеевые, пойменные кислые и т. д.) и видов (дерново-подзолистые глубокоподзолистые, неглубокоподзолистые и т. д.).

### ***Номенклатурно-таксономическая характеристика списка почв Росземпроект***

Список почв Росземпроекта для земледельческой зоны территории РФ составлен на основе классификации почв 1977 г. Список включает (Приложение 5) 112 номенклатурно-таксономических единиц, которым в практике земельно-оценочных работ, присвоены цифровые коды, например, 183 – дерново-подзолистые, 242 – серые лесные и т. д. Более детальная характеристика списка почв Росземпроект приведена в приложениях:

- тип литологического строения (Приложение 6)
- дополнительные свойства (Приложение 7)
- негативные свойства (Приложение 8)
- мелиоративное состояние земель (Приложение 9)
- пригодность под сельскохозяйственные угодья (Приложение 10)
- преобладающие уклоны местности (Приложение 11).

### ***Методы региональной номенклатурно-таксономической детализации ЕГРПР***

Подходы региональной номенклатурно-таксономической детализации ЕГРПР (рис. 15) включают три опции:

1. Номенклатурный, представляющий сопоставление структур наименований почв, используемых в ЕГРПР и списке почв Роскомзем;
2. Таксономический, представляющий сопоставление таксонов почв в системах ЕГРПР и Роскомзем;
3. Параметрический, представляющий сопоставление морфогенетических и аналитических характеристик почв.



*Рис. 15. Схема методологических подходов номенклатурно-таксономической региональной детализации ЕГРП*

Необходимо подчеркнуть, что перечисленные опции являются взаимодополняющими. Их совместное использование способствует повышению качества детализации, т. е. установление соответствия региональных списков почв Росземпроекта с номенклатурно-таксономическими выделами ЕГРП на данный регион.

### ***Корреляция номенклатурно-таксономических характеристик ЕГРП и списка почв Росземпроект***

Выше отмечена общность принятых в России традиций номенклатуры почв и их таксономической организации. Историческая устойчивость отечественных номенклатурно-таксономических традиций обеспечивает преимущество почвенных исследований, позволяет сохранять и накапливать почвенные данные и обогащать опыт рационального взаимодействия общества с почвенно-экологическими условиями страны. Вместе с тем, процесс познания почв не стоит на месте. Появляются новые почвенные данные, которые приводят к расширению наших представлений о разнообразии

почв страны. Это делает необходимым вводить новые почвы, совершенствовать их номенклатуру и пр. Кроме того, принятая в отечественном почвоведении диагностика построена в значительной степени на описательных данных, которые не всегда позволяют определить точное соотношение между используемыми названиями почв. Выходом из сложившейся ситуации может быть составление корреляционных таблиц названий почв (Приложение 12. Номенклатурно-таксономическая корреляция выделов почв ЕГРПР со списком почв Росземпроект).

***Номенклатурно-таксономическая детализация  
ЕГРПР для почв Владимирской области  
и Суздальского района Владимирской области  
на основе и материалов Росземпроекта***

Состав почв сельскохозяйственного назначения Владимирской области по данным Росземпроекта приведен в Приложении 13. Технически составление базы данных Суздальского административного района выполняется в следующем пошаговом режиме:

1. Список оценочных групп почв сельскохозяйственных угодий области с указанием их площади, содержания гумуса, физической глины и мощности гумусового горизонта (материалы 4-го тура земельно-оценочных работ) приводим в соответствие со списком почв ЕГРПР.
2. Распечатываем список почв Владимирской области в формате ЕГРПР. Корректируем этот список применительно к почвам сельскохозяйственных угодий Владимирской области. Например, почвы ID 38,39 и 43 объединяем под ID 42 (дерново-подзолистые без разделения). Или добавляем почву ID 104 (темно-серые лесные), которой не оказалось в списке ЕГРПР, но она имеется в составе почвенного покрова области.

3. Для каждой оценочной группы рассчитываем показатели классификации (группа пригодности, зерновой эквивалент, класс, разряд, бонитет) и кадастровой стоимости. Аналогично может быть проведена работа со списками почв административных районов (материалы Гипрозема) при их наличии. В виду их отсутствия используем базу данных ЕГРПР. Корректируем список почв Суздальского района применительно к сельскохозяйственным угодьям аналогично тому, как это делалось с областным списком (Табл. 6, гр. 1–2), и с помощью коэффициентов освоения вычисляем площади почв сельскохозяйственных угодий района.

Таблица 6

**Почвы Суздальского района по базе данных ЕГРПР.**

ID ЕГРПР	Площадь, га, (все угодья)	Коефф. освоения	Площадь сельскохоз. угодий, га гр. 2 x гр. 3	Коефф. приведения 102310/88927	Площадь сельскохоз. угодий по состоянию на 2014 год, га гр.4 x гр.5
1	2	3	4	5	6
42 (38+39)	42301	0,445	18824	1,15	21657
46 (46+47)	10020	0,157	1573	1,15	1810
50 (50+56)	4409	0,1084	480	1,15	552
102, 103, 104	90141	0,68	61296	1,15	70521
166	1957	0,018	35	1,15	40
188	24903	0,267	6649	1,15	7650
Всего	175045		88927		102310

4. В составе почвенного покрова сельскохозяйственных угодий Владимирской области присутствуют по данным Гипрозема 34229 га овражно-балочных почв, в т. ч. 15975 га почв балочных склонов и 18254 га аллювиально-делювиальных почв днищ балок. В базе данных ЕГРПР их площади включены, очевидно, в состав почв ID 42, 102 и 103. При распределении оценочных групп почв в составе указанных ID важно исключить из площади последних овражно-балочные и показать их отдельно.
5. Исходим из предположения, что площадь почв балочных склонов пропорциональна площади средне- и сильно-смытых почв.

Всего в состав почв ID 42 Владимирской области вошли 4412 га (номера ID<sub>ZEM</sub> 21, 22, 23, 24) и в состав ID 102,103–10850 га, т. е. всего 15262 га средне- и сильно-смытых оценочных групп почв. Им соответствуют 15975 га почв балочных склонов.

6. Соответственно, в зоне ID 42 должны присутствовать  $15975/15262 \times 4412 = 4618$  га почв балочных склонов и в зоне ID 102-104  $15975/15262 \times 10850 = 11357$  га.
7. Аналогично рассмотренному выше, вычисляем распределение аллювиально-делювиальных почв днищ балок. Всего этих почв насчитывается в области  $2817 + 15437 = 18254$  га. В зоне ID 42 имеется  $18254/15262 \times 4412 = 5277$  га и в зоне ID 102-103  $18254/15262 \times 10850 = 12977$  га почв днищ балок.
8. Рассмотрим распределение оценочных групп почв, гармонизированных с ID 102-103 в Суздальском районе с учетом того, что практически все овражно-балочные почвы этого района приурочены к зоне серых лесных почв (табл. 7).

Таблица 7

**Распределение оценочных групп почв ( $ID_{ZEM}$ )  
по выделам ЕГРПР Суздальского района  
(коэффициенты пересчета площади  
область/район = 70521/255069 для ID 102-104,  
21657/186613 – для ID 42, 7650/60093 – ID 188)**

$ID_{EGRP}$	$ID_{ZEM}$	Площадь, га (область)	Площадь, га (район)
102	36	5431	1502
	37	12571	3476
	39	13129	3630
	41	4326	1196
	42	14944	4132
	43	19359	5363
	44	5618	1553
	46	513	142
103	38	136543	37751
	47	12223	3379
	49	2247	621
104	48	3790	1048
102–104	63	12977	3588
	64	11357	3140
Всего		255069	70521
42	4	15816	1836
	5	147751	17147
	10	7355	853
	12	15691	1821
Всего		186613	21657

ID <sub>ЕГРПР</sub>	ID <sub>ZEM</sub>	Площадь, га (область)	Площадь, га (район)
188	52	3058	389
	54	2009	256
	57	15560	1981
	58	3270	416
	59	12484	1589
	60	4100	522
	61	19612	2497
Итого		60093	7650

9. Полный список почв сельскохозяйственных угодий Суздальского района, в котором почвенные группы ID<sub>ZEM</sub> гармонизированы с ID<sub>ЕГРПР</sub> представлен в таблице 8. При этом, почвы балочных склонов (ID<sub>ZEM</sub> 64) переставлены из ID<sub>ЕГРПР</sub> 102-104 в ID 42, аллювиально-делювиальные почвы днищ балок из ID 102-104 в ID 188.

Таблица 8

**Почвы сельскохозяйственных угодий  
Суздальского района Владимирской области.**

ID <sub>ЕГРПР</sub>	ID <sub>ZEM</sub>	Площадь, га
42	4	1836
	5	17147
	10	853
	12	1821
	64	3140
Итого		24797
46	26	1810

<b>ID<sub>ЕГРПР</sub></b>	<b>ID<sub>ЗЕМ</sub></b>	<b>Площадь, га</b>
50	6	552
54	33	80
102	36	1502
	37	3476
	39	3630
	41	1196
	42	4132
	43	5363
	44	1553
	46	142
<b>Итого</b>		20994
103	38	37751
	47	3379
	49	621
<b>Итого</b>		41751
104	48	1048
166	50	40
188	52	389
	54	256
	57	1981
	58	416
	59	1589
	60	522
	61	2497
	63	3588
<b>Итого</b>		11238
<b>Всего</b>		102310

Каждому названию федерального списка ЕГРПР соответствует от одного до нескольких названий областного

списка. Например: дерново-подзолистым (без разделения) ID 42 соответствует 21 наименование из списка Росземпроект со своими ID<sub>ZEM</sub> (дерново-сильноподзолистые слабоглееватые среднесуглинистые на покровных суглинках, дерново-сильноподзолистые каменистые легкосуглинистые на моренных суглинках, дерново-подзолистые слабоэродированные среднесуглинистые на моренных суглинках и др.; торфяно-болотным низинным (ID 166) соответствует одно название – торфянисто- и торфяно-болотные, таблица 9.

Таблица 9

**Список почв ЕГРПП сельскохозяйственных угодий  
Владимирской области**

ID	Название почвы по ЕГРПП	Кол-во наименований почв списка Росземпроект
42	Дерново-подзолистые (без разделения)	21
46	Дерново-подзолистые поверхностно-глееватые преимущественно глубокие и сверхглубокие	1
50	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	7
54	Дерново-подзолисто-глеевые	4
84	Дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	2
102	Светло-серые лесные	10
103	Серые лесные	3
104	Темно-серые лесные	1
166	Торфяные болотные низинные	1
188	Пойменные слабокислые и нейтральные	13

## ДИСТАНЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ПОЧВ И ИХ СВОЙСТВ

В настоящее время дистанционные методы (ДМ) являются общепринятым методом сбора информации о практически всех типах природных ресурсов, о характере наземного покрова. Они широко используются для информационного обеспечения решения задач в геоботанике и метеорологии, геоморфологии и геологии, почвоведении и океанологии, а также в строительстве, промышленном производстве и др. областях хозяйства многих стран мира. В целом ДМ используются в научных и производственных целях в более чем в 1000 организаций. Существует специальные центры по получению и анализу ДМ (Роскосмос, NASA, ESA). За последние 15 лет вышло в свет более 80 монографий, учебных пособий и научных сборников только на территории бывшего СССР. Практически ежегодно проводят и международные совещания, симпозиумы и конференции по использованию ДМ. Таким образом, количество научной информации, связанной с использованием дистанционных методов росло в последние годы быстрыми темпами. В качестве основных преимуществ дистанционных методов перед иными методами сбора информации обычно называются следующие:

1. **Объективность.** ДМ отражают реальное состояние земной поверхности, изображение которой генерализовано не субъективно картографически, а на физических законах оптики;
2. **Обзорность.** Возможность охвата взором и анализа обширных территорий послужило первым толчком к развитию ДМ. Одновременный анализ земной поверхности площадью иногда в тыс. км<sup>2</sup> значительно расширяет возможность использования сравнительно-географического метода исследований природных ресурсов;

3. Оперативность. Дистанционные методы позволили осуществлять быстрый сбор информации с огромных территорий земной поверхности, что в некоторых случаях является очень важным. (например, анализ динамики разлива рек, ледоход, лесных пожаров и т. д.);
4. Технологичность. Дистанционный сбор информации, а наземном покрове технологичен, что обусловлено возможностью получения сопоставимой информации за разные сроки съемки. Это открывает широкие возможности для проведения разнообразных видов мониторинга земной поверхности;
5. Экономичность. Конечно, затраты на производство, например, аэро- или космических съемок велики. Но, во-первых, обычно они полностью окупаются за счет сокращения полевых работ, и, во-вторых, очень часто при исследовании природных ресурсов ДМ используются неоднократно, например, при изучении почв и ПП очень часто используется архивная информация, стоимость которой мала.

Вышеперечисленными преимуществами и предопределяется развитие дистанционных методов в почвоведении и их сегодняшнее состояние.

Под «дистанционными» в почвоведении принято понимать методы анализа дистанционных материалов для получения данных о различных свойствах почв и их пространственном и временном варьировании.

«Дистанционные материалы» – это фактические данные регистрации специфики взаимодействия электромагнитных волн с земной поверхностью.

Как известно, на анализе характера взаимодействия света (т. е. электромагнитных волн определенных длин волн) с поверхностью веществ основаны также и такие методы исследования почв как микро морфологические, а также морфоло-

гические. Отличие этих методов от дистанционных очевидно, и оно заключено в качественном различии объекта анализа. Так микро морфологические методы направлены на анализ почвенного микромира (отдельные агрегаты почв). Морфологическое описание почв направлено на исследование видимых практически невооруженным глазом особенностей профиля почв (мезо – уровень исследования почв и их отдельных горизонтов). А дистанционные методы предназначены преимущественно для анализа почв и ПП на макро-уровне (пространственное варьирование свойств почв и особенностей СПП).

Исходя из вышесказанного, появление ДМ в почвоведении было предопределено наличием технических средств для регистрации поглощения, излучения и отражения электромагнитных волн поверхностью. Конкретно, появление регистрирующей аппаратуры, а также несущих платформ, с которых производится съемка.

Аэрометоды исследования почв начали развиваться еще в 20-х годах прошлого века. Накопленный опыт дешифрирования почв по данным аэросъемки послужит надежной основой для становления и развития спутниковых методов, которые начали развиваться с 70-х годов прошлого века. Поверхностный анализ возможностей использования достигнутых аэрометодов при работе с космической информацией дал в это время первые обнадеживающие результаты.

Уже к началу 80-х годов разнообразие типов космических съемок достигло такой величины, что работы со многими из них для целей исследования почв до сих пор еще не начаты. В это время продолжалось организационное оформление дистанционных методов в почвоведении. Было создано большое количество лабораторий, во многих институтах и университетах читаются лекции, разработано большое количество методических пособий по использованию ДМ в почвоведении. Но, несмотря на это, данный период можно рассматривать как кризисный для дистанционных методов в почвоведении.

В качестве основных причин кризиса можно выделить следующие: во-первых, – попытка копирования опыта, накопленного при разработке аэрометодов исследования почв, при использовании космической информации привели изначально к некоторой эйфории. Казалось, что практически все проблемы решены и открываются возможности оперативного и экономически эффективного анализа почвенных ресурсов на региональном и глобальном уровнях. Недоучет специфики космических данных привел к тому, что многие результаты, полученные при использовании КС для картографирования почв, оказались сомнительными, что сильно подорвало веру специалистов-почвоведов к КС – как источнику кондиционной информации и породило скепсис в их среде, который не преодолен и в настоящее время.

Во-вторых, бурная компьютеризация всех сфер производства и науки вроде бы открыла широкие возможности для разработки полностью автоматизированных методов дешифрирования дистанционных материалов и составления почвенных карт. Но оказалось, что большинство дешифровочных признаков, используемых для интерполяции почв по дист. материалам, плохо формализуемы, т. е. их использование для разработки алгоритмов автоматизированных методов дешифрирования почв на данном этапе затруднено.

И, в-третьих, сложившаяся в стране экономическая ситуация привела к сильному сокращению ассигнований на науку в целом, и на данные направления исследований в особенности (как результат трудностей, испытываемых космической отраслью в целом). Это выразилось в сильном сокращении объемов исследований, оттоку специалистов.

В данный момент, использование ДМ в почвоведении практически нерационально без разработки автоматизированных методов дешифрирования, и внедрении их качестве одном из источников информации в ГИС-технологии. Именно, разработки автоматизированных методов дешиф-

рирования почв, их теоретического обоснования и поможет преодолеть основные из вышеизложенных кризисных явлений, и повысить значимость ДМ в исследовании свойств почв и ПП.

### **Спутниковые данные и типы съемки**

Можно выделить 3 основных спектральных диапазона, в которых работают спутниковые системы: 1) «световой», включающий в себя видимый, ближний и средний инфракрасном диапазоны; 2) тепловой инфракрасный; 3) радиодиапазон (микроволны, ультракороткие радиоволны). В зависимости от диапазона различается характер регистрируемой информации и толщина захватываемого почвенного слоя (от нескольких микрон для оптических данных до нескольких десятков см для радарных данных).

Характеристика основных на сегодняшний день спутниковых систем, которые можно использовать для картографирования почв, представлена в таблице 10.

### **Полевое спектрометрирование как основа распознавания почв по ДДЗ**

Возможности дешифрирования почв по ДДЗ во многом предопределяются спектральной отражательной способностью их поверхности. На уровне поля информацию можно получать с помощью полевых спектрорадиометров. При этом регистрируются особенности отражения поверхностного горизонта в различных участках электромагнитного спектра. Спектрорадиометры различаются шириной спектрального диапазона, спектральным разрешением, скоростью регистрации спектра (табл. 11). Как правило, в комплекте могут идти GPS датчики, специализированное программное обеспечение, позволяющее проводить предварительную обработку спектров.

## Обзор спутниковых данных

Спутник	Каналы	Разрешение (м)	Периодичность съемки (сутки)	Охват (км)	
Landsat (США)	5 (1984)	VNIR, SWIR-30, TIR-100	16	185	
	7 (1999)	Панхром, VIS (3), NIR (1), SWIR (2), TIR (1)			
	8 (2013)	Панхром, VNIR (6), SWIR (2), TIR (2)			
SPOT (Франция)	2 (1990)	Панхром, VNIR (3)	2-3	60	
	4 (1998)	Панхром 10, VNIR, SWIR-20			
	5 (2002-2015)	Панхром 2.5, 5; VNIR-10; SWIR-20			
Pléiades-1A (2011)/1B (2012) (Франция)	6 (2012)	Панхром-1.5; VNIR-6	Ежедневно (в группировке)	20	
	7 (2014)	Панхром-0.5; VNIR-2			
WorldView (США)	1 (2007)	Панхром	1,7-5,4	17,6	
	2 (2009)	Панхром, VNIR (8)	1,1-3,7	16,4	
	3 (2014)	Панхром, VNIR (8), SWIR (8), CAVIS (12)	Панхром-0.31, VNIR-1,24, SWIR-3,7, CAVIS-30	<1-4,5	VNIR-13,1; SWIR-10,8; CAVIS-14,8
	4 (2016)	Панхром, VNIR (8)	Панхром-0.3, VNIR-1,24	1	13,1
QuickBird (США, 2001)	Панхром, VNIR (4)	Панхром - 0,61, VNIR - 2,44	3-4	16,5	

Спутник	Каналы	Разрешение (м)	Периодичность съемки (сутки)	Охват (км)	
Landsat (США)	5 (1984)	VIS (3), NIR (1), SWIR (2), TIR (1)	VNIR, SWIR-30, TIR-100	16	185
	7 (1999)	Панхром, VIS (3), NIR (1), SWIR (2), TIR (1)	Панхром-15, VNIR, SWIR-30, TIR-60		
	8 (2013)	Панхром, VNIR (6), SWIR (2), TIR (2)	Панхром 15, VNIR, SWIR-30; TIR-100		
SPOT (Франция)	2 (1990)	Панхром, VNIR (3)	Панхром 10, VNIR, SWIR-20	2-3	60
	4 (1998)				
	5 (2002-2015)	Панхром, VNIR (3), SWIR (1)	Панхром 2.5, 5; VNIR-10; SWIR-20		
	6 (2012)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-1,5; VNIR-6		
	7 (2014)				
Pleiades-1A (2011)/ПВ (2012) (Франция)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-0,5; VNIR-2	Ежедневно (в группировке)	20	
WorldView (США)	1 (2007)	Панхром	0,5	1,7-5,4	17,6
	2 (2009)	Панхром, VNIR (8)	Панхром-0,46; VNIR-1,85	1,1-3,7	16,4
	3 (2014)	Панхром, VNIR (8), SWIR (8), CAVIS (12)	Панхром-0,31, VNIR-1,24, SWIR-3,7, CAVIS-30	<1-4,5	VNIR-13,1; SWIR-10,8; CAVIS-14,8
	4 (2016)	Панхром, VNIR (8)	Панхром-0,3, VNIR-1,24	1	13,1
QuickBird (США, 2001)	Панхром, VNIR (4)	Панхром - 0,61, VNIR - 2,44	3-4	16,5	

Спутник	Каналы	Разрешение (м)	Периодичность съемки (сутки)	Охват (км)
IKONOS (США, 1999)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-0,82, VNIR-3,2	3	11,3
GeoEye-1 (США, 2008)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-0,46, VNIR-1,85	2,3 с разрешением 60 см и меньше	17,3
RapidEye (США, 2008)	VIS (4), NIR	6,5 (после обработки 5)	1	77
FORMOSAT-2 (Тайвань, 2004)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2, VNIR-8	1	24
EROS B (Израиль, 2006)	Панхром	0,7	5-6	7
GF-1/2 (Китай, 2013/2014)	Панхром VNIR (4), VNIR (широкополосная камера) (4)	Панхром-2/0,81, VNIR - 8/3,24, VNIR (широкополосная камера)-16	4/5	60 (широкополосная камера - 800)/45
GF-6, GF-11 (Китай, 2018)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2, VNIR-8	4	60 м
ZY-3 (Китай, 2012, 2016)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2,1, VNIR-5,8	5	Панхром-50, VNIR-52
Zhuhai-1 (Китай, 2017, 2018)	Гиперспектральный (32 канала: 0,4-1 мкм)	10	1	150 x 2500
COMPSAT-2 (Корея, 2006)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-1, VNIR-4	3	15
COMPSAT-3 (Корея, 2012)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-0,7, VNIR-2,8	2-3	16
KazEOSat-1 (Казахстан, 2014)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-1, VNIR-4	3-5	20

Спутник	Каналы	Разрешение (м)	Периодичность съемки (сутки)	Охват (км)
KazEOSat-2 (Казахстан, 2014)	VNIR (4)	6,5	3-5	77
Канопус-В (Россия, 2012)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2,1, VNIR-10,5	4-16	Панхром-23, VNIR-20
KhalifaSat (ОАЭ, 2018)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-0,75, VNIR-2,98		12
Sentinel-2A (2015)	13 каналов (VNIR, Red Edge, SWIR, SWIR-Cirrus, Water vapour, Coastal aerosol)	VNIR-10, Red Edge, SWIR-20, SWIR-Cirrus, Water vapour, Coastal aerosol-60)	5	290
БКА (Белоруссия, 2012)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2,1, VNIR-10,5	5	Панхром-23, VNIR-20
ASVARO-1 (Япония, 2014)	Панхром, VNIR (6)	Панхром-0,5, VNIR-2		10
ALOS (PRISM (панхром), AVNIR-2 (мультиспектральная система) Япония, 2006)	панхром, VNIR (4)	панхром-2,5, VNIR-10	2-3	триплет-35, моно, мультиспектральные-70
Pathfinder-1 (США, 2016)	VIS (3)	1	1	
Cartosat-1 (IRS-P5) (Индия, 2005)	Панхром	2,5	5	27-30
Cartosat-2 (2008), 2B (2010), 2C (2016) (Индия)	2, 2B: панхром, 2C: панхром, VNIR (4)	2, 2B-0,8; 2C: панхром-0,65, VNIR-2	4-5	9,6 (2,2B)-10 (2C)
СВЕРС-4 (Китай, Бразилия, 2014)	РамМУХ; панхром, VNIR (3); MUXCam, WFI; VNIR (4); IRS; NIR, SWIR (2), TIR	РамМУХ; панхром-5, VNIR-10; MUXCam-20, WFI-64, IRS; NIR, SWIR-40, TIR-80	РамМУХ-52 (при необходимости 3), MUXCam-26, WFI-5, IRS-26	РамМУХ-60, MUXCam-120, WFI-866, IRS-120
AlSat-2A (2010), 2B (2016) (Индия)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2,5, VNIR-10	3	17,5

Спутник	Каналы	Разрешение (м)	Периодичность съемки (сутки)	Охват (км)
Ресурс-П № 1 (2013), № 2 (2014), № 3 (2016) (Россия)	ОЭАР- панхром, VNIR (6); ШМСА- панхром, VNIR (5); ГСА (96)	ОЭАР- панхром-1, VNIR-3-4; ШМСА-ВР: панхром-12, VNIR-24; ШМСА-СР: панхром-60, VNIR-120, ГСА-25-30	3	ОЭАР-ВР-38, ШМСА-ВР – 96, ШМСА-СР – 480, ГСА-25
Deimos-1 (2009), 2 (2014) (Испания, Канада)	1: VNIR (3), 2: панхром, VNIR (4)	1: 22, 2: панхром-1 (после обработки 0,75), VNIR-4 (после обработки 3)	3 (1) – 4 (2)	1: 80-600, 2:12
DMC-3/Triplesat Constellation-1, 2, 3 (2015)	панхром, VNIR (4)	панхром-1, VNIR-4	1	23
EROS-A (2000)/B (2006) (Израиль)	панхром	A:1,9, B: 0,7	3-4	A:14, B:7
UK-DMC2 (Франция, 2009)	VNIR (3)	22	3	До 650
Terra/ASTER (США, 1999)	VNIR (2), SWIR (6), TIR (5)	VNIR-15, SWIR-30, TIR-90	4-16	60
Miranda VRSS-1 (Венесуэла, 2012)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2,5, VNIR-10 (16)		57 (369)
Ресурс-О1, Метеор-3М (Россия) (Ресурс-О1 № 3 – 1994, Ресурс О1 № 4 – 1998, Метеор 3М – 2001)	МСУ-Э- VNIR (3); МСУ-СК: VNIR (1), TIR (1)	МСУ-Э – 35, МСУ-СК – 140	МСУ-Э – 6, МСУ-СК – 5	МСУ-Э – 45, МСУ-СК – 600
Nigeriasat-2 (Нигерия, 2011)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2,5, VNIR-5 (32)	2	Панхром-20, VNIR-20 (30)
VNREDSat-1A (Вьетнам, 2013)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-2,5, VNIR-10	2	17,5
Resourcesat-2,2A (Индия, 2011, 2016)	LISS-4 (моно (1), VNIR (3)), LISS-3 (VNIR (4)), MIR, AWIFS (VNIR (4), MIR)	LISS-4-5,8, LISS-3-23,5, AWIFS-56		LISS-4-70, LISS-3-141, AWIFS-740

Спутник	Каналы	Разрешение (м)	Периодичность съемки (сутки)	Охват (км)
SuperView-1A,B, SuperView-1C,D (Китай, 2016, 2018)	Панхром, VNIR (4)	Панхром-0,5, VNIR-2	4	12
SAOCOM-1A (Аргентина, 2018)	L-диапазон (4 режима)	10-100	16	30-320
TerraSAR-X (2007)/ TanDEM-X (2010) (Германия)	X-диапазон (7 режимов с одинарной или двойной поляризацей)	0,25-40 м (в зависимости от режима съемки)	2-4	4-270
RADARSAT-1 (Канада, 1995)	C-диапазон (7 режимов)	8-100	1-3	50-500
RADARSAT-2 (Канада, 2007)	C-диапазон (18 режимов с одинарной, двойной или полной поляризацей)	1-100	В зависимости от режима и типа съемки	18-500
КОМPSAT-5 (Корея, 2013)	X-диапазон (3 режима)	1-20	2-4	5-100
COSMO-SkyMed (Италия): 1-2007, 2-2007, 3-2008, 4-2010	X-диапазон (5 режимов)	1-100	2,5-12	10-200
ALOS PALSAR (радарные данные) (Япония, 2006)	L-диапазон (3 режима)	7-100	1-3	20-350
ALOS-2 (Япония, 2014)	L-диапазон (9 режимов)	1-100	1-6	25-490
ENVISAT (2002)	C-диапазон (7 режимов)	30-1000	1-3	5-400
Sentinel-1A (2014), 1B (2016)	C-диапазон (4 режима)	4 x 5, 5 x 20, 25 x 80, 20 x 5	1-3	80-400, 20x20

Спутник	Каналы	Разрешение (м)	Периодичность съемки (сутки)	Охват (км)
GF-3 (Китай, 2016)	С-диапазон (12 режимов)	1–500	1,5–3	30–650, 10 x 10, 5 x 5
RISAT-1 (Индия, 2012)	С-диапазон (5 режимов)	1–50	Круглосуточное наблюдение	10–220

**Примечание:**

- О – оптические данные
- MSS (Multispectral Scanner) – многоспектральный сканер
- TM (Thematic Mapper) – тематический картограф
- ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) – улучшенный тематический картограф
- OLI (Operational Land Imager) – многоканальный сканирующий радиометр
- TIRS (Thermal Infrared Sensor) – сканирующий двухканальный ИК-радиометр
- CAVIS (Clouds, Aerosols, Vapors, Ice, and Snow) – облака, аэрозоль, пары, лед и снег
- IRR (Visible and Infra-Red Radiometer) – видимый и инфракрасный радиометр
- MERSI (Medium Resolution Spectral Imager) – спектральный сканер среднего разрешения
- AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) – усовершенствованный радиометр очень высокого разрешения
- ОЭАВР – оптико-электронная аппаратура высокого разрешения
- ГСА – гиперспектральная съемочная аппаратура
- ШМСА-ВР – широкозахватная мультиспектральная съемочная аппаратура высокого разрешения
- ШМСА-СР – широкозахватная мультиспектральная съемочная аппаратура среднего разрешения
- MUXCam (Multispectral Camera) – многоспектральная камера
- WFI (Wide-Field Imager) – широкополосный сканер
- PanMUX (Panchromatic and Multispectral Camera) – панхроматическая и многоспектральная камера
- IRS (Infrared System) – инфракрасная система

## Примеры полевых спектрорадиометров

Марка полевого спектрорадиометра	Спектральный диапазон	Спектральное разрешение	Скорость (1 спектр за)
FieldSpec	350–2500 нм	3 нм в VNIR, 6, 8, 10 нм в SWIR	100 мсек
FieldSpec HandHeld	325–1025 нм	< 3 нм	8,5 мс
QualitySpec	350–2500 нм	6–7 нм	100 мсек
PSR+ 3500	350–2500 нм	3 нм (350–1000 нм), 10 нм (1500 нм), 7 нм (2100 нм)	100 мсек
PSR+ 2500	350–2500 нм	3 нм (350–1000 нм), 22 нм (1500 нм и 2100 нм)	100 мсек
ПСР-02	350–2500 нм	3 нм в VIS, 10 нм в IR	0,012 с в VIR, 0,002 с в IR

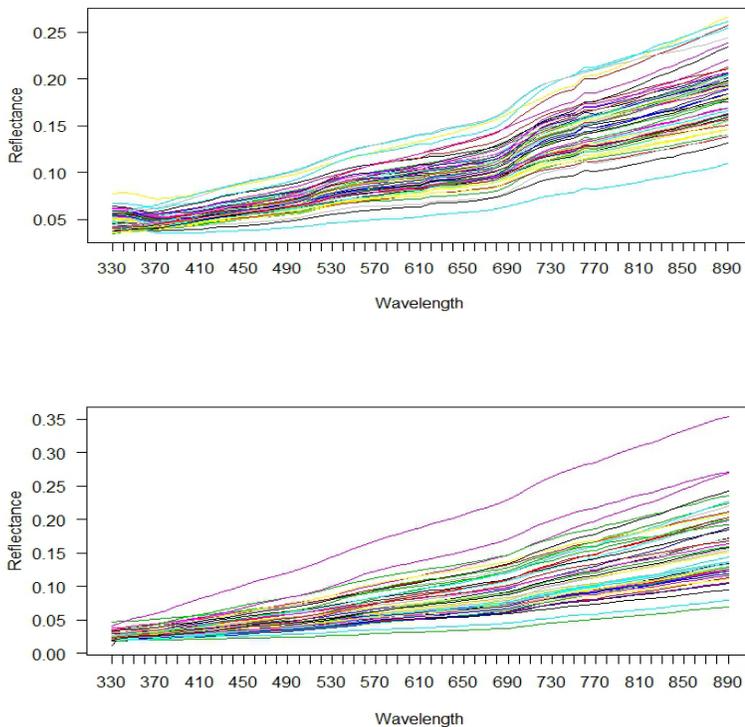
Более широкий пространственный охват и покрытие можно получить, используя беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые могут проводить фотосъемку, гиперспектральную, лазерную, магнитометрическую и тепловизионную съемку. При этом можно варьировать высоту съемки. В настоящее время это направление активно развивается.

Спутниковые данные характеризуются более широким охватом, чем БПЛА. В то же время на качество спутниковой информации сильно влияют погодные условия в момент съемки.

На спектральную отражательную способность почв оказывает влияние множество факторов, таких как: влажность, структурное состояние, гранулометрический состав, валовое содержание железа, содержание органического вещества, легкорастворимых солей, карбонатов, минералогический состав (Bowers, Hanks, 1965; Sinha, 1986; Coleman et al., 1993; Barnes and Baker, 1999; Орлов, 2001; Fox, Sabbagh, 2002; Daughtry, Bausch, 2003; Brown et al., 2006; Metternicht, Zinck, 2009; Belinaso et al., 2010; Lesaignoux et al., 2011).

На сегодняшний день накоплены многочисленные полученные в лабораторных условиях данные о спектральной отражательной способности различных почв, организованные в спектральные библиотеки, на основе которых могут создаваться модели для предсказания почвенных свойств (Ben-Dor et al., 1999; Clark, 1999; Malley et al., 2000; Chang, 2001; Shepherd and Walsh, 2002; Brown (2007); Sankey et al. (2008); Belinaso et al., 2010; Knadel et al. (2012); Rossel and Webster, 2012; Stevens et al. (2013), Shi et al. (2014, 2015); Gogé et al., 2014). Однако такую информацию сложно использовать для картографирования почв по аэро- и спутниковым данным, поскольку зачастую перед измерением образцы гомогенизировали за счет просеивания и растирания, таким образом, была разрушена естественная структура поверхности почвы, которая формируется в поле под действием различных факторов, и влияет на ее спектральную отражательную способность (СОС).

Это влияние проявляется даже на уровне образцов. Так, по данным (Прудникова, 2013) растирание приводит к сглаживанию спектральных кривых и увеличению коэффициентов отражения (рис. 16).

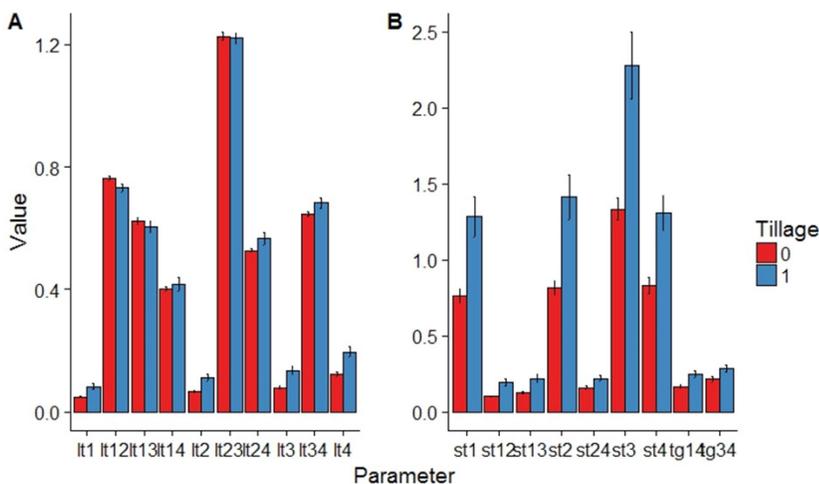


**Рис. 16.** Кривые спектральной отражательной способности нерастертых (а) и растертых (б) образцов

Кроме того, это влияет на характер самих связей (рис. 17). Поэтому, именно данные полевого спектрометрирования должны использоваться для установления зависимостей, на основе которых возможно дальнейшее картографирование этих свойств, в том числе и по спутниковым данным.

Выбор точек снятия спектров в поле зависит от целей исследования и определяется пространственной неоднородностью почвенного покрова. Точки могут располагаться по регулярной сетке, на однородных типичных по почвенным характеристикам участках.

На каждой точке проводится несколько измерений, результат которых в усредненном виде используется для дальнейшего анализа. Чаще всего это делается для уменьшения зашумленности в определенных участках спектра (например, в ИК области) в зависимости от технических характеристик используемого спектрорадиометра. Одновременно с регистрацией кривых СОС проводится отбор образцов поверхностного горизонта для дальнейших лабораторных анализов.

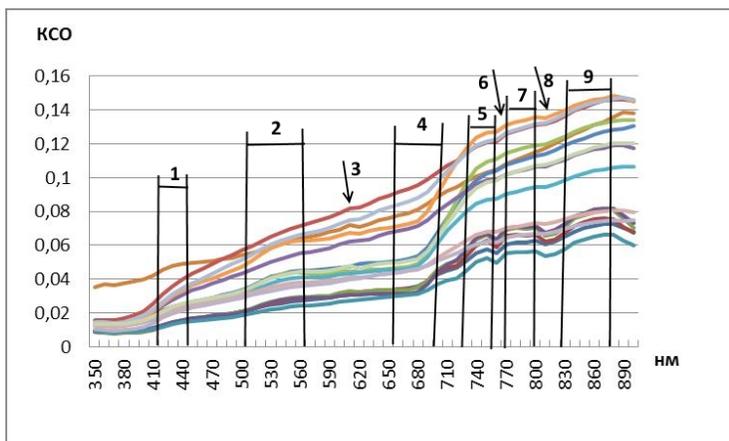


**Рис. 17.** Изменение индикационных параметров спектрального отражения под воздействием трансформации поверхности (0 – нерастертые образцы, 1 – растертые образцы)

При необходимости, может проводиться предварительная обработка спектров различными методами: скользя-

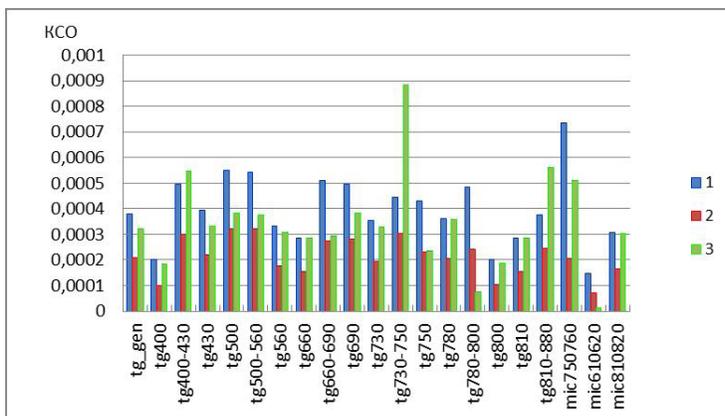
щее среднее, коррекция многократного рассеивания (Small, 1980), стандартное отклонение (Maeda et al., 1997), удаление непрерывного поглощения (Gomez et al., 2008), первая производная, вторая производная и окончательное сглаживание (Barnes et al., 2004), фильтр Савицкого-Голея и т. д. (Rinnan et al., 2009).

Первое с чего стоит начинать анализ спектральных данных, чтобы иметь общее представление о характере изменения СОС на исследуемом участке – визуальная оценка, в ходе которой определяются участки, где кривая меняет свое направление (рис. 18).



*Рис. 18. Пример кривых спектрального отражения для тестового участка в Саратовском Поволжье, на котором цифрами отмечены потенциальные индикаторные участки*

Далее на основе таких участков рассчитывается набор индикаторных параметров, которые затем используются в иерархическом кластерном анализе для выделения классов спектральных кривых (Прудникова, 2013; Прудникова, Савин, 2015, 2016). Это позволяет выделить параметры, по которым группы кривых различаются максимально (рис. 19).



*Рис. 19. Средние значения параметров оценки СОС по классам, выделенным на основе анализа дендрограммы (1–1 класс, 2–2 класс, 3–3 класс) (Прудникова, Савин, 2015)*

Как было показано в (Прудникова, 2013; Прудникова, Савин, 2015) на примере тестового участка в Саратовском Поволжье с контрастным почвенным покровом, такие параметры показывают максимальные корреляции со свойствами, определяющими пространственную цветовую неоднородность почв.

Если свойства представлены количественными характеристиками (содержание гумуса, содержание микро и макроэлементов и т. д.), то для установления связей между ними и параметрами оценки СОС используется множественная линейная регрессия или нелинейная регрессия.

Если свойства представлены классами (качественными характеристиками) – логистическая регрессия (мультиномиальная или бинарная в зависимости от числа классов зависимой переменной).

При использовании полученных моделей для построения карт почвенных свойств по спутниковым данным, спектральное разрешение которых, как правило, ниже спектрального разрешения полевого спектрорадиометра, проводится пе-

решет индикационных параметров с учетом спектральных диапазонов, соответствующих каналам спутниковых систем (Прудникова, 2013; Прудникова, Савин, 2015, 2016).

Для оценки модели используют коэффициент детерминации, либо его аналог (зависит от выбранного метода). Кроме того, проводят валидацию (кросс-валидацию) полученных зависимостей. Для характеристики качества модели также рассчитывают среднюю квадратичную ошибку предсказания (RMSEP) и отношение межквартильного интервала к средней квадратичной ошибке (RPIQ) (Bellon-Maurel et al., 2010).

Применение данного подхода позволило для тестового участка в Саратовском Поволжье получить модели для картографирования содержания гумуса, частиц размером 1–0.25 мм, 0.05–0.01 мм, физического песка с  $R^2$  0.71, 0.74, 0.79 и 0.75 соответственно (Прудникова, 2013)

Следует отметить, что выявление индикационных участков спектральной кривой и моделирование взаимосвязей при сложных взаимодействиях может также проводиться на основе регрессии частных наименьших квадратов, искусственных нейронных сетей, многомерных адаптивных регрессионных сплайнов (Shepherd and Walsh, 2002; Viscarra Rossel et al., 2006; Farifteh et al., 2007).

Применение данных методов при моделировании почвенных характеристик на основе СОС позволяет получать модели для содержания микро- и макроэлементов, гранулометрического состава (глина, ил, песок), органического вещества и органического углерода, влажности, рН водного и солевого, засоленности с высокими значениями коэффициентов детерминации (до 0.98) (Viscarra Rossel et al., 2006).

При этом отмечается, что средний инфракрасный участок спектра для ряда свойств более информативен по сравнению с видимым и ближним инфракрасным (Viscarra Rossel et al., 2006). В то же время оборудование для измерения в среднем инфракрасном диапазоне – дорогостоящее.

Основные проблемы, которые возникают при работе со спектральными данными, вызваны техническими особенностями спектрорадиометров, в частности, сильной зашумленностью сигнала в начале и конце охватываемого спектрального диапазона.

Кроме того, поскольку измерения точечные, выбор точек, их пространственное распределение и количество очень важны.

Также, состояние поверхности почвы во время съемки может вносить вклад в ее спектральное отражение, поэтому его необходимо учитывать при анализе спектральных данных.

В качестве перспектив развития данного метода можно отметить следующие:

- 1) усовершенствование технических характеристик спектрорадиометров;
- 2) разработка интеграционных систем, в которых наземные точечные наблюдения будут являться основой картографирования и мониторинга почв по спутниковым данным.

### **Использование аэро- и спутниковых данных**

Процесс дешифрирования почвенного покрова и отдельных свойств почв по космическим изображениям разбивается на следующие этапы:

- знакомство с территорией;
- выбор данных;
- предварительное районирование;
- предварительное камеральное дешифрирование;
- полевые работы;
- обработка полевых данных;
- окончательное камеральное дешифрирование.

### **Знакомство с территорией**

Работы по дешифрированию почв необходимо начинать с этапа, на котором дешифровщик должен по возможности полно изучить территорию исследований. На основе анализа

литературных и фондовых картографических материалов дешифровщик должен получить представление о климате, рельефе, геологическом строении, растительности, специфике современного и прошлого использования территории, а также о почвенном покрове.

Информация о климате важна как для определения оптимальной даты проведения космической съемки, так и для оценки его возможного влияния на специфику изображения земной поверхности на спутниковых данных. В качестве источника информации о климате используют данные наблюдений метеостанций.

С точки зрения определения оптимальной даты съемки необходимо учитывать среднюю многолетнюю информацию об облачности в разные сезоны года, даты схода и установления снежного покрова, периодичность и интенсивность выпадения атмосферных осадков, вероятность дымок, тумана и мглы.

Кроме того, климатические условия должны оцениваться с точки зрения их возможного воздействия на отражательные свойства земной поверхности. В этом случае учитываются такие параметры как:

- частота и интенсивность выпадения осадков, а также температурные и ветровые условия в этот период, которые определяют скорость просыхания влажной поверхности;
- вероятность дымок, тумана и мглы, которые определяют необходимость и важность проведения атмосферной коррекции спутниковой информации;
- вероятность напочвенных заморозков в предполагаемый момент съемки земной поверхности.

Рельеф местности анализируется с точки зрения его вертикальной и горизонтальной расчлененности, наличия четких лениаментов и разноуровневных поверхностей, размера преобладающих форм мезо- и микрорельефа, типа и выраженно-

сти микрорельефа. Данная информация важна для понимания процессов изображения территории на снимках разного пространственного разрешения и степени генерализованности космического изображения. На основе информации о рельефе оценивается потенциальное влияние теней на изображение земной поверхности на спутниковых данных. Кроме того, пространственные неоднородности перечисленных параметров рельефа территории могут быть использованы в качестве косвенных признаков для дешифрирования геологического строения территории и специфики пространственного варьирования почвообразующих пород.

Анализ рельефа осуществляют на основе топографических карт. При этом по возможности используют одновременно топокарты крупного и среднего масштаба.

При анализе геологического строения территории в первых необходимо понять общее геологическое строение территории. Затем наибольшее внимание обращают на поверхностные отложения и непосредственно подстилающие их породы, а также на глубину залегания ближних к поверхности водоносных горизонтов и вероятности их выклинивания на склонах или на других частях рельефа. Наиболее важна информация о механическом составе этих пород, а также об их цвете. Именно эти свойства во многом определяют цвет поверхности почв. Геологическую информацию получают с использованием геологических карт, карт четвертичных отложений, фондовых материалов о геологических и гидрогеологических исследованиях, а также литературных данных.

Дешифровщик должен хорошо знать специфику растительного покрова территории исследований. Необходимо иметь информацию о типах растительности, которые встречаются на территории, фенологических особенностях каждого типа, цвете и его изменении во времени, вероятности повреждения растительности региона болезнями и вредителями и временем, когда это может происходить. Также важно

знать вероятность повреждения растительности аномальными природными явлениями. Все перечисленные характеристики растительности влияют на характер ее изображения на спутниковых данных и определяют неоднородности изображения растительного покрова. Дешифровщик должен иметь представление о тех факторах, которые могут потенциально определять неоднородности изображения растительности региона на спутниковых данных. Информацию о растительности получают с геоботанических карт и по литературным данным.

Специфика использования земель оказывает наиболее сильное влияние на отражательные свойства земной поверхности. Поэтому информация о специфике использования земель очень важна для дешифровщика. Важно получить данные о характере воздействия, его динамике во времени (как сезонной, так и многолетней), площади (размерах), так как эти показатели определяют как спектральные особенности (пространственные и временные) изображения земной поверхности на космических снимках, а также степень генерализованности изображения. В качестве источника информации могут быть использованы карты наземного покрова, кадастрового деления, внутрихозы, а также литературные данные.

Кроме того, уже на предварительном этапе дешифровщик должен иметь информацию о почвах, которые встречаются на территории работ, об их свойствах (особенно поверхностного горизонта), а также о возможных процессах, которые могут оказывать влияние на отражательные свойства поверхности этих почв. Для получения информации о почвах используют имеющиеся почвенные карты (независимо от времени их составления), пояснительные записки к ним и литературные данные.

На основе информации о климате, рельефе, геологическом строении, растительности, специфике современного

и прошлого использования территории, а также о почвенном покрове дешифровщик может более надежно выбрать тип нужных космических данных, а также понять и проинтерпретировать выявляемые неоднородности в изображении земной поверхности на спутниковых данных и их связь с неоднородностями почвенного покрова и отдельными свойствами почв.

### **Выбор спутниковых данных для дешифрирования почв**

Выбор спутниковых данных предопределяется их доступностью, а также целью и объектом дешифрирования. В качестве объекта дешифрирования может выступать как почвенный покров территории, так и отдельные свойства почв.

В зависимости от того, какое свойство почв дешифрируется, зависит какой тип спутниковых данных должен быть выбран, с каким пространственным разрешением, и в какое время наиболее оптимально произвести съемку земной поверхности. Так, например, при картографировании влажности поверхностного слоя почв, неоднородности поверхности применяются радарные данные (N. Baghdadi et al., 2002; Singh, Kathpalia, 2007; Rahmana et al., 2008; Vulfson et al., 2012). В то же время оптические данные широко используются для картографирования свойств, пространственное варьирование которых сопровождается изменением отражательной способности поверхности почв в оптическом диапазоне.

Дешифрирование почвенного покрова обычно базируется на возможностях дешифрирования отдельных свойств почв. Но это справедливо в большинстве случаев лишь при крупномасштабном дешифрировании и при использовании прямых дешифровочных признаков почв. В случае использования косвенных дешифровочных признаков отбор спутниковых данных ориентирован на максимально возможное выявление пространственных неоднородностей этих признаков, а не открытой поверхности почв.

Выбор типа спутниковых данных для дешифрирования по прямым дешифровочным признакам предопределяется спецификой влияния отдельных свойств почв на отражение ими электромагнитных волн. В видимом диапазоне спектра наиболее хорошо дешифрируются свойства почв, которые определяют их цвет, в инфракрасном диапазоне спектра наиболее надежно дешифрируется влажность почв и другие, тесно связанные с ней свойства почв. В микроволновом диапазоне сильное влияние на характер изображения оказывает неоднородность поверхности почв (свежевспаханная, прикатанная, старовспаханная, проробороненная и т. п.), а также ее каменистость.

Какой тип спутниковых данных является наиболее информативным для дешифрирования того или иного свойства почв. Во многих случаях используется набор разных типов спутниковых данных, что позволяет значительно повысить точность дешифрирования.

Пространственное разрешение спутниковых данных должно быть оптимальным для решения поставленной задачи. Слишком высокое разрешение также нежелательно, как и слишком низкое.

При недостаточном пространственном разрешении часть информации о географии дешифрируемого свойства почв теряется.

В настоящее время при автоматизированном дешифрировании существуют методы так называемой субпиксельной классификации, которые позволяют определять с определенной долей вероятности процентный состав компонентов, которые формируют генерализованное отражение пикселя. Но уровень их проработанности не позволяет говорить об их достаточной надежности.

При слишком высоком пространственном разрешении при автоматизированном дешифрировании возникает мно-

го проблем, связанных с мешающим влиянием непочвенных факторов, например, полосы вспашки и состояние поверхности почв при дешифрировании свойств пахотных почв. При визуальном дешифрировании это мешающее влияние как правило дешифровщиком учитывается.

Кроме того, избыточное пространственное разрешение ведет к значительному увеличению объема спутниковых данных, который необходимо проанализировать, их стоимости и дополнительным трудозатратам, и следовательно, к падению экономической эффективности использования спутниковых данных.

Оптимальное пространственное разрешение спутниковых данных определяется предполагаемыми размерами пространственных неоднородностей, которые предполагается дешифрировать. Пространственное разрешение спутниковых данных должно быть на 10-20% выше этих размеров.

Как уже отмечалось выше, время съемки планируется с учетом климатических условий местности, а также с учетом фактической облачности.

Учет времени съемки важен как с точки зрения сезона, так и с точки зрения времени суток. Причем учет сезона съемки более важен при визуальном дешифрировании, а учет времени суток – при автоматизированном.

Если дешифровщик ставит своей целью использование прямых дешифровочных признаков, то выбирается сезон, когда поверхность почвы максимально открыта для непосредственных наблюдений (Савин, 2015). Кроме того, планируют съемку в период минимального воздействия всех свойств почв, кроме того, которое дешифрируется. Так, например, при дешифрировании содержания гумуса, необходимо стараться избежать времени съемки, когда на характер изображения сильно влияет влажность почв.

Для дешифрирования большинства свойств почв необходимо выбирать время съемки, когда влияние влажности

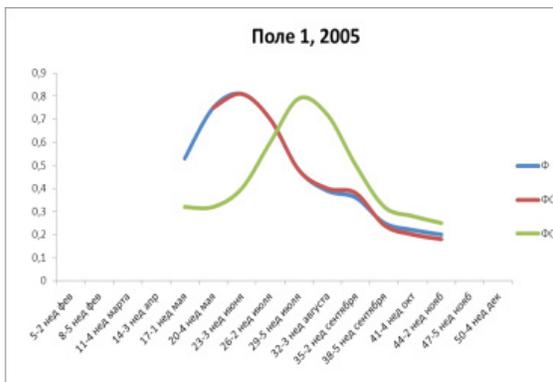
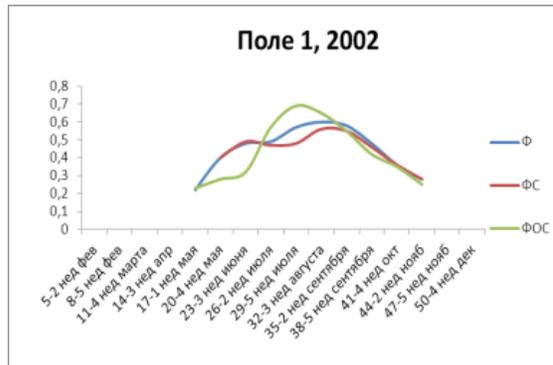
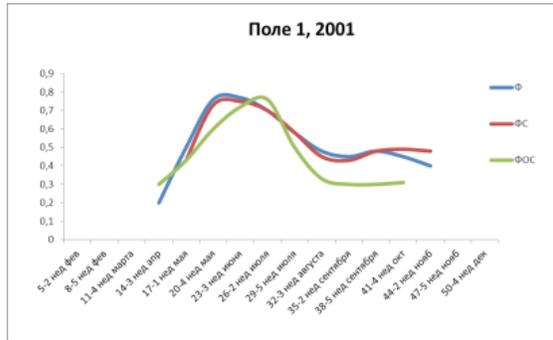
почв минимально, так как это свойство наиболее динамично и сильно влияет на характер изображения открытой поверхности почв.

Выбирают обычно время съемки близкое к полудню. В этом случае даже при высокой влажности верхнего горизонта почвы, ее поверхность в большинстве случаев подсыхает. Кроме того, в это время высота стояния Солнца над горизонтом максимальна.

При использовании косвенных признаков дешифрирования, по характеру изображения растительности, сезон съемки выбирается так, чтобы неоднородности растительного покрова наиболее контрастно отражали неоднородности дешифрируемого свойства почв или почвенного покрова.

В этом случае опираются на знания в области индикационной геоботаники, показывающие, в какую фазу вегетации и в какую часть сезона вегетации растительность в наилучшей степени индицирует неоднородности исследуемых свойств почв. В работе (Прудникова, Савин (2013)) было показано, что состояние посевов на исследуемой территории, выявляемое по кривым NDVI может служить индикатором неоднородностей почвенного покрова пашни. При этом в качестве показателей неоднородностей выступают изменение величины сезонного пика NDVI, его формы, выположенности, его положения на кривой вегетации, появление дополнительных пиков, а также форма и характер нисходящей части графика NDVI (рис. 20).

На примере тестового участка в Саратовском Поволжье было установлено, что более надежно неоднородности почвенного покрова индицируются по состоянию культур весеннего сева, чем по состоянию озимых. Кроме того, надежность индикации варьирует по годам, что связано, вероятно, с изменениями агрометеорологической обстановки. Надежность индикации также отличалась для разных полей, что может быть связано с различиями в агротехнике возделывания культур.



*Рис. 20. Пример кривых NDVI развития сельскохозяйственных культур на разных почвенных выделах в пределах одного поля*

Более того, проявление влияния неоднородностей почвенного покрова на развитие посевов зависит от характера самих неоднородностей (в некоторых случаях контрастные компоненты почвенных выделов могут не оказывать влияния на развитие посевов и, соответственно, не вызывать изменения кривой NDVI).

Исходя их вышеизложенного следует, что оптимальный сезон и время съемки разные для разных природно-географических регионов, также могут быть разными для дешифрирования разных свойств почв.

### **Предварительное районирование территории**

При дешифрировании свойств почв и почвенного покрова больших территорий, предварительное районирование является обязательным этапом работ.

Районирование осуществляют по космическим изображениям мелкого масштаба (низкого пространственного разрешения), полученным в видимом диапазоне спектра или же синтезированным в цветах, близких к натуральным. На космических снимках подобного типа изображение в целом более устойчиво из-за своей генерализованности. Основными факторами, предопределяющими неоднородности подобных изображений, являются характер мезорельефа, растительность, геологическое строение и характер использования территории, то есть именно те факторы, которые предопределяют неоднородности почвенного покрова и свойства почв.

Районы выделяют визуально (отрисовкой контуров по экрану монитора компьютера) с использованием основных дешифровочных признаков: тоновой (цветовой) неоднородности, текстуры и рисунка изображения.

Впоследствии, для каждого выделенного района, должны быть установлены свои дешифровочные признаки свойств почв и почвенного покрова. Признаки, установленные для одного района, нельзя напрямую использовать для другого района.

## **Визуальное дешифрирование**

Под дешифрированием понимается процесс извлечения информации о почвах путем анализа изображения их открытой поверхности или ландшафтов на материалах дистанционной съемки. Наиболее разработаны визуальные методы дешифрирования почв. Выделяют три основные стадии дешифрирования:

1 стадия – контурное дешифрирование. На этой стадии дешифровщик старается выделить контуры, отличающиеся характером изображения на дистанционных материалах конкретного типа;

2 стадия – содержательное дешифрирование. Основной целью этой стадии работ является интерпретация содержания выделов, полученных на первой стадии. Контур каждого типа характеризуется конкретным почвенным содержанием;

3 стадия – экстраполяция результатов. Данные о взаимосвязях характера изображения со свойствами почв, полученных на второй стадии, экстраполируются на соседние территории, имеющие сходные изобразительные свойства на дистанционных материалах.

Непосредственно дешифрирование на первых двух стадиях осуществляется с использованием так называемых – дешифровочных признаков, под которыми подразумевается набор характеристик изображения, с помощью которых дешифровщик отличает один выдел от другого или судит об их сходстве. Весь арсенал используемых дешифровочных признаков подразделяется 2 основные группы:

1. прямые дешифровочные признаки, которые описывают характер изображения непосредственно открытой поверхности почв;
2. косвенные дешифровочные признаки, используемые для интерпретации почв, поверхности которых не доступны для непосредственного наблюдения и ком-

плексные дешифровочные признаки, отражающие информацию о почвах через изображение комплексных ландшафтных системах с открытой и закрытой поверхностью почв.

### **По прямым дешифровочным признакам**

Основным прямым дешифровочным признаком является тон изображения.

Использование непосредственно тона ограничено его сильной вариабельностью в зависимости от условий съемки (высота Солнца, состояние атмосферы и т. п.). Поэтому наиболее часто используется такой показатель тональности как тоновой контраст. Тоновой контраст можно количественно оценить, используя коэффициент контрастности:

$$K_k = 100 * (B - B_1) / B, \text{ где } B_1 - \text{ тон объекта, } B - \text{ тон фона}$$

Под порогом контрастности понимается минимальный тоновый контраст, воспринимаемый анализатором изображения. Например, для глаза порог контрастности соответствует значению  $K_k$  меньше или равно 2%.

Степень дешифрируемости объекта при визуальном дешифрировании можно выразить в следующем виде:

Дешифрируемость	$K_k$
Очень слабая	– менее 3%
Слабая	– 3–7%
Средняя	– 7–11%
Хорошая	– 11–21%
Высокая	– более 21%

С учетом того, что значение  $K_k$  равно минимуму (0), когда тон объекта равен тому фону и будет максимально (100), когда тон объекта и фона – сочетание белого и черного, из данных о степени дешифрируемости объекта следует, что

оптимальные шкалы визуального дешифрирования должен состоять из 8–10 градаций тона (то есть, градации должны как минимум находиться друг относительно друга на среднем уровне дешифрируемости.). Этот вывод подтверждается практическими исследователями. Так, например, экспериментальным путем выработанная шкала тонов Андронникова состоит из 9 градаций: 1 – белый; 2 – почти белый; 3 – светлый; 4 – светло-серый; 5 – серый; 6 – темно-серый; 7 – темный; 8 – почти черный; 9 – черный.

В связи с не разработанностью вопросов генерализации, тон является более важным дешифровочным признаком для крупномасштабных материалов, чем для мелкомасштабных. На мелкомасштабных дистанционных материалах тон изображения является результатом сложной генерализации, как открытой поверхности почв, так и иных компонентов ландшафта, что делает очень трудным установление закономерностей его взаимосвязей со свойствами почв и ПП.

В качестве примера использовались только тона изображения для дешифрирования почв можно привести следующий. Так, В. Л. Андронниковым для степных районов были установлены следующие взаимосвязи тона изображения на аэроснимках с классификационным положением почв:

белый тон соответствует Ск с солевой коркой  
почти белый – Сд, Ч и К песчаные почвы, Ч и К!!! и др.  
светло-серый – Ч и К –щебнистые, Сн глубоко и средние, Ч и К!!,  
серый – К и Чк суглинистые, Ч и К !, Ч л ос;  
темно-серый – Чоп, Чв, Чт, Чо, Чю суглинистые;  
почти черный – Чл, Кл;  
черный – Ли, Л г и тс и глинистые.

Иным прямым дешифровочным признаком является цвет изображения. Цвет является более постоянным дешифровочным признаком, чем тон. Фактура поверхности и влажность изменяют лишь интенсивность цвета, а не его самого, что по-

зволяет в какой-то степени использовать цвет как достаточно стабильный признак дешифрирования. В настоящий момент, установлены лишь некоторые региональные взаимосвязи цвета изображения с классификационным положением почв, широкая экстраполяция которых, вряд ли будет достаточно достоверной без специальных дополнительных исследований.

Более часто, чем натуральный цвет, в качестве дешифровочного признака используется псевдоцвет изображения. Использование данного дешифровочного признака возможно лишь на материалах спектральной съемки и синтезированных снимках. Разнообразные варианты использованных каналов съемки (или синтеза) создают разные цветовые гаммы псевдоизображения. Таким образом, закономерности, устанавливаемые для спектральных и синтезированных дистанционных материалов одного типа нельзя использовать для материалов иного типа. В целом, псевдоцвет изображения является более информативным дешифровочным признаком, чем цвет, но его информативность сильно зависит от условий получения ДМ и региона исследований, что значительно сужает возможность экстраполяции установленных закономерностей дешифрирования.

Изображение в псевдоцветах получают чаще всего, используя съемки в узких спектральных диапазонах. Но основа для синтеза снимков – спектральный тон изображения (тон изображения, полученного в узком интервале длин волн) может и самостоятельно быть использован в качестве дешифровочного признака. Анализ спектрального тона изображения может осуществляться двумя основными способами. Поканальный анализ практически ничем не отличается от анализа интегрального тона изображения, но их информативность может быть разной.

Другим важным прямым дешифровочным признаком является текстура изображения. Под текстурой понимаются тонкие микронеоднородности изображения (те из них, кото-

рые нельзя отдешифровать визуально в виде отдельного контура) Единая общепринятая шкала текстур изображения в настоящий момент отсутствует. Наиболее часто выделяют однородные текстуры, пятнистые, крапчатые и муаровые с подразделением на мелко-, средне- и крупно-, точечные и струйчатости. Закономерности взаимосвязи текстуры изображения со свойствами почв в большинстве случаев региональны. Например, для лесостепных районов Европейской части России установлено, что однородной текстурой изображается чаще всего неконтрастный ПП, пятнистая текстура свидетельствует о неоднородностях в гранулометрическом составе верхний горизонтов почв, муаровая и крапчатая – о подстилании суглинков песчаными отложениями (причем на различной глубине), струйчатая – об участии в ПП эродированных почв, точечная и микрокольцевая – о наличии в ПП ассоциаций почв западных комплексов и микросочетаний.

Необходимо отметить, что при внешней схожести текстур изображения на аэро и космических снимках они четко различаются на качественном уровне. Так, струйчатая текстура изображения на крупномасштабных материалах съемки образована, как правило, потяжинами склона с ареалом полугидроморфных или гидроморфных почв, в то время как аналогичная текстура на мелкомасштабных материалах обязана своим появлением ассоциациям почв овражно-балочного комплекса.

Несмотря на отсутствие достаточно четких критериев для описания формы и размера выделов, их некоторые взаимосвязи со свойствами почв установлены, что предопределяет возможности их использования в качестве дешифровочных признаков. При визуальном дешифрировании для описания формы пользуются следующим терминами: округлая, изрезанно-округлая, вытянутая, изрезанно-вытянутая, извилисто-вытянутая, ветвисто-вытянутая, сегментная, дырчатая, кольцевая, неправильная, комбинированная и дру-

гие. Шкалы для описания формы и размеров выдела обычно строятся индивидуально в каждом конкретном случае. В некоторых случаях имеется возможность количественно оценить форму – размеры выдела. Наиболее часто при этом применяются следующие критерии:

1. Коэффициент формы
2. Показатель формы
3. Показатель вытянутости
4. Индекс кругообразности
5. Коэффициент расчленения
6. Анализ дирекционных спектров (распределение углов ориентации сторон многоугольника, вписанные в контур).
7. Средний диаметр, средняя площадь, средний периметр.

Четкой однозначной взаимосвязи количественных показателей формы и размеров со свойствами почв на данной момент не установлено. В литературе можно найти следующие примеры взаимосвязей формы и размеров с информацией о ПП и иных компонентов ландшафтов. Для европейской части России найдено, что статистическое распределение диаметров карстовых воронок коррелирует с литологическими особенностями почвообразующих и подстилающих пород, а коэффициент формы – с помощью слоя почвообразующих пород. Степень дырчатости ареала фоновых почв Прикаспия взаимосвязана с гранулометрическим составом почв, а на Окско-Донской низменности – с глубиной залегания песков (мощность слоя лессовидных суглинков) и опесчаненностью почвообразующих пород.

### **По косвенным дешифровочным признакам**

Использование косвенных дешифровочных признаков основано на существовании взаимосвязей почв с иными компонентами ландшафта. Наиболее часто используют взаимосвязь почва-рельеф и почва-растительность.

Для районирования территории по характеру рельефа широко используется стереоэффект. Возможность анализа стереоизображения существует как для аэро-, так и для космических снимков. Использование сканерной информации для получения стереоэффекта ограничено. Кроме стереоэффекта часто используются фотопланы с нанесенными на них горизонталями. При анализе рельефа происходит расчленение территории по выраженности микрорельефа, длине и форме склонов, их крутизне. После этого производится идентификация почвенного содержания выделов, исходя из установленных взаимосвязей почва-рельеф, которые в большинстве случаев узко региональны.

Иным важным косвенным дешифровочным признаком является изображение естественной растительности. Наиболее важно использование этого признака при дешифрировании почв лесопокрываемых территорий. При идентификации типа растительности используется набор тех же прямых дешифровочных признаков, которые описаны выше. После этого используют заранее установленную корреляцию почв с типом растительности. При использовании этого дешифровочного признака необходим учет сезона съемки, так как отражательные свойства растительного покрова сильно изменяются во времени. Кроме этого, важно учесть наличие сукцессионных рядов и антропогенной изменчивости растительного покрова. Например, восстанавливающая растительность вырубок, гарей, и тем более лесопосадок – гораздо менее информативна для дешифрирования почв, чем естественная растительность. Большое влияние на характер изображения растительного покрова иногда оказывают вредители и болезни растительных индивидуумов. Например, пораженность лесного массива шелкопрядом на КС вполне может интерпретироваться как естественные неоднородности, обусловленные различиями в местообитании растений.

Для интерпретации отдешифрированных выделов растительного покрова широко используют достижение инди-

кационной геоботаники, целью которой является изучение взаимосвязей растительного покрова с его местообитанием (в том числе и со свойствами почв).

Смена естественной растительности на культурную в большинстве случаев значительно уменьшает информативность данного дешифровочного признака. Большая часть неоднородностей ПП, которые четко отражаются естественным растительным покровом, по изображению культурной сельскохозяйственной растительности часто различить невозможно. Большое влияние на характер изображения оказывает степень покрытости поверхности почв растениями. Так, установлено, что при проективном покрытии < 10–12% растительный покров практически не влияет на характер изображения при визуальном дешифрировании. По другим данным, даже при 100% покрытии, отражение от растительности покрова все равно коррелирует с отражательными свойствами почв.

При дешифрировании неоднородностей изображения культурной растительности необходимо осознавать, что в некоторых случаях характер изображения определяется состоянием самой культурной растительности (ее изреженность, высота, габитус), а в других – спецификой ее засоренности.

Наиболее хорошо неоднородности ПП дешифрируют через изображение многолетних трав, зерновых культур, хуже – через пропашные культуры. Кроме того, степень дешифрируемости зависит от фенофазы развития растений. Например, наиболее информативен растительный покров зерновых в фазе активной вегетации и наименее информативен – в фазе восковой спелости.

Большинство культурных растений отражают лишь достаточно контрастные перепады в свойствах почв (в их эродированности, засоленности, гумусности и т.д.).

Засоренность посевов сельскохозяйственных культур также может служить источником информации о ПП. Напри-

мер, степень засоренности четко коррелирует с влажностью корнеобитаемого слоя и содержанием питательных элементов. Тип засоренности иногда позволяет также получить информацию о ПП. Так, например, ромашковые ассоциации на полях Среднерусской возвышенности свидетельствуют о большей оподзоленности или осолодении почв, хвощовые ассоциации приурочены к ареалам глееватых и глеевых почв.

Важным комплексным дешифровочным признаком можно считать рисунок изображения, использование которого наиболее оправдано при анализе космических снимков. Под рисунком понимается пространственная мозаика, образованная выделами, полученными в результате дешифрирования. Однако анализ всей полученной контурной сети используется редко из-за возможности субъективности в поведении ряда границ. Чаще анализируется «каркас рисунка», образованный сетью контуров ПП, контрастных по изображению. При анализе различий участков по рисунку оцениваются тоновые неоднородности изображения, формы выделов, особенности их ориентировки и взаимного расположения.

В настоящий момент разработаны и некоторые количественные методы анализа рисунков:

1. Показатель сложности  $K_c = n/S_0$ , где  $n$  – число выделов,  $S_0$  – средняя площадь выдела;
2. Распределение направлений спрямленных границ;
3. Взаиморасположение выделов разных типов;

Существует множество классификаций рисунков. Морфометрическая классификация рисунков разработана Викторовым (1966):

1. Нерасчлененный рисунок;
2. Мозаичный рисунок;
3. Поясной рисунок;
4. Полосчатый рисунок;
5. Комбинированный рисунок.

Каждый из них подразделяется на подтипы. Например, полосчатый делится на параллельный, пересекающийся, ветвистый.

Виноградов предложил генетическую классификацию рисунков (по факторам, влияющим на их формирование) и выделил климатогенные, морфогенные, литогенные, гидрогенные, фитогенные, зоогенные и антропогенные рисунки. Таким образом, почти все факторы почвообразования влияют на формирование рисунков, что предопределяет их корреляцию с особенностями строения ПП.

Важное значение при дешифрировании может иметь анализ топологических характеристик рисунка изображения, который выражается в использовании особенностей ландшафтных соседств, т. е. в некоторых случаях значения свойств почв одного из компонентов рисунка можно использовать для получения информации о почвах соседних выделов. Известны 3 типа соседств:

1. литогенный
2. гидрогенный
3. миграционный.

В качестве примера использование этих типов соседств приведем следующие:

1. Литогенный тип. Для южной лесостепи Среднерусской возвышенности часто характерно чередование по склонам южной экспозиции следующих типов пород и соответствующих им почв:

Соответственно, Чт – изображается обычно серым тоном, Чсн – черным, Чк – светло-серым и Чок – белым. Наличие на КС данного сочетания тонов на склонах южной экспозиции будет однозначно указывать на данное конкретное распределение почв по склону.

2. Гидрогенный тип соседства связан с зависимостью пространственного размещения почв от глубины грунтовых вод.

Так, на Окско-Донской низменности для многих западин мезорельефа характерно следующее сопряжение почв: Чт-Чл/сд-Ли/сд-Сд-Лг-Бл. В тонах это будет выглядеть так: серый-темно серый- черный-белый-черный-серый. То есть, например, к центру от белого кольца черный тон будет соответствовать Лг, а от центра – Ли/сн.

3. Миграционный тип соседств. В качестве примера можно привести распределение почв в конусах выноса мелового оврага. Когда по мере удаления от оврага последовательно сменяются ареалы намывных карбонатных малогумусных почв среднегумусными и далее намывными слоистыми поверхностно-карбонатными.

Для количественной оценки ландшафтных соседств делаются попытки применять методы графов и Марковские цепи.

Другим комплексным дешифровочным признаком является временная цикличность изображения.

По материалам одного сезона съемки часть невозможно разделить объекты. Но, используя изменение характера их изображения по сезонам это можно сделать. При наиболее детальном анализе строятся кривые изменения характера данных кривых и, соответственно, их можно будет разделить. В полном объеме этот дешифровочный признак при визуальном дешифрировании используется редко.

### **Автоматизированное дешифрирование**

Автоматизированное дешифрирование почв по космическим снимкам включает в себя три основных этапа:

1. Предварительная обработка спутниковых данных;
2. Улучшение спутниковых изображений;
3. Анализ неоднородностей изображений;
4. Тематическая интерпретация неоднородностей.

Из-за кривизны поверхности Земли, неровностей рельефа, вращения Земли, движения спутника возникают геометри-

ческие искажения спутниковых данных. На этапе предварительной обработки спутниковых данных проводится геометрическая коррекция изображений. Целью геометрической коррекции является приведение изображений к географическим координатам. После этого изображение трансформируется в нужную географическую проекцию с заданным размером пиксела.

«Сырые» спутниковые данные требуют также коррекции радиометрических искажений, возникающих из-за флуктуаций сенсора, атмосферных помех, а также приведения информации к реальным физическим величинам, например к энергетической яркости изображения, которую проводят на основе специально созданных моделей состояния атмосферы. С этой целью на предварительном этапе осуществляют радиометрическую коррекцию спутниковых изображений.

Кроме того, на этом этапе в некоторых случаях требуется восстановление пропущенных пикселей на изображении, которое в большинстве случаев достигается использованием метода интерполяции.

На следующем этапе проводится дополнительное улучшение спутниковых изображений. Наиболее часто проводится операция контрастирования исходных изображений, целью которой является «растягивание» заданного дешифровщиком участка тонового пространства снимков.

Кроме того, при необходимости осуществляют фильтрацию изображений, которая в зависимости от выбранного фильтра приводит либо к сглаживанию тонового пространства изображения, либо к подчеркиванию тоновых перепадов на изображении.

После предварительной обработки и улучшения спутниковых изображений проводится непосредственно анализ их тоновых неоднородностей.

Самым простым способом анализа является кластеризация тонового пространства спутниковых изображений. Кла-

стеризация может осуществляться с использованием одного изображения (канала съемки). При этом, дешифровщик может задавать фиксированное количество кластеров (классов), на которое разбивается тоновое пространство снимка, а также решающее правило, на основе которого осуществляется автоматическая кластеризация изображения. Также изображение может быть разбито на статистически оптимальное количество кластеров по заданному алгоритму анализа.

Когда кластеризация проводится для нескольких изображений (каналов съемки), важное значение имеет отбор наиболее информативных изображений из имеющихся в наличии. Самый простой путь решения этой задачи – предварительное построение композитных изображений и их экспертный анализ. При этом композиты могут строиться из данных различных спектральных каналов одной сцены многоканальной съемки, из данных спектральных каналов разновременной съемки на одну и ту же территорию, а также из данных космической съемки разных типов (например, композиты из данных оптической и радарной съемки). Далее кластеризация (разбиение на заданное количество кластеров) осуществляется в многомерном пространстве признаков.

При наличии большого количества изображений (каналов съемки) для разбиения изображения на классы применяют метод главных компонент.

При автоматизированном дешифрировании на основе разных типов спутниковых данных (разных каналов съемки) вычисляют спектральные индексы, которые выступают в качестве индикатора того или иного свойства почв или их комбинаций.

В таблице 12 приведены наиболее часто используемые для дешифрирования свойств почв спектральные индексы.

**Спектральные индексы,  
используемые при дешифрировании почв  
и растительности**

индекс	оригинальное название	источник	каналы съемки	вычисление
CTVI	Corrected Transformed Vegetation Index	Perry1984	red, nir	$(NDVI + 0.5) / \sqrt{abs(NDVI + 0.5)}$
DVI	Difference Vegetation Index	Richardson 1977	red, nir	$s * nir - red$
EVI	Enhanced Vegetation Index	Huete1999	red, nir, blue	$G * ((nir - red) / (nir + C1 * red - C2 * blue + L\_evi))$
EVI2	Two-band Enhanced Vegetation Index	Jiang 2008	red, nir	$G * (nir - red) / (nir + 2.4 * red + 1)$
GEMI	Global Environmental Monitoring Index	Pinty1992	red, nir	$((nir^2 - red^2) * 2 + (nir * 1.5) + (red * 0.5)) / ((nir + red + 0.5) * (1 - (((nir^2 - red^2) * 2 + (nir * 1.5) + (red * 0.5)) / (nir + red + 0.5) * 0.25))) - ((red - 0.125) / (1 - red))$
GNDVI	Green Normalised Difference Vegetation Index	Gitelson 1998	green, nir	$(nir - green) / (nir + green)$
MNDWI	Modified Normalised Difference Water Index	Xu 2006	green, swir2	$(green - swir2) / (green + swir2)$
MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index	Qi 1994	red, nir	$nir + 0.5 - (0.5 * \sqrt{(2 * nir + 1)^2 - 8 * (nir - (2 * red))})$
MSAVI2	Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2	Qi 1994	red, nir	$(2 * (nir + 1) - \sqrt{(2 * nir + 1)^2 - 8 * (nir - red)}) / 2$

индекс	оригинальное название	источник	каналы съемки	вычисление
NBRI	Normalised Burn Ratio Index	Garcia 1991	nir, swir3	$(nir - swir3)/(nir + swir3)$
NDVI	Normalised Difference Vegetation Index	Rouse 1974	red, nir	$(nir - red)/(nir + red)$
NDVIC	Corrected Normalised Difference Vegetation Index	Nemani 1993	red, nir, swir2	$(nir - red)/(nir + red) * (1 - ((swir2 - swir2ccc)/(swir2coc - swir2ccc)))$
NDWI	Normalised Difference Water Index	McFeeters 1996	green, nir	$(green - nir)/(green + nir)$
NDWI2	Normalised Difference Water Index	Gao 1996	nir, swir2	$(nir - swir2)/(nir + swir2)$
NRVI	Normalised Ratio Vegetation Index	Baret 1991	red, nir	$(red/nir - 1)/(red/nir + 1)$
RVI	Ratio Vegetation Index		red, nir	$red/nir$
SATVI	Soil Adjusted Total Vegetation Index	Marsett 2006	red, swir2, swir3	$(swir2 - red)/(swir2 + red + L) * (1 + L) - (swir3/2)$
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	Huete 1988	red, nir	$(nir - red) * (1 + L)/(nir + red + L)$
SLAVI	Specific Leaf Area Vegetation Index	Lymburger 2000	red, nir, swir2	$nir/(red + swir2)$
SR	Simple Ratio Vegetation Index	Birth 1968	red, nir	$nir/red$
TVI	Transformed Vegetation Index	Deering 1975	red, nir	$\sqrt{(nir - red)/(nir + red) + 0.5}$
TTVI	Thiam's Transformed Vegetation Index	Thiam 1997	red, nir	$\sqrt{\text{abs}((nir - red)/(nir + red) + 0.5)}$
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	Richardson 1977	red, nir	$nir - s * red$

После построения карты спектральных индексов проводят анализ их взаимосвязи с дешифрируемым свойством почв. Для этого используют точечные данные полевых наблюдений. Для каждой точки с полевыми наблюдениями определяют величину расчетного спектрального индекса. Далее строят регрессионные зависимости между величиной спектрального индекса и свойством почв. После этого, на основе построенной регрессионной модели в ГИС строят карту анализируемого свойства.

В случае использования данных космической съемки среднего и низкого пространственного разрешения можно применять методы спектрального разложения. Эти методы применимы в случаях, когда известно, какие наземные объекты участвуют в формировании генерализованного изображения и какова спектральная отражательная способность этих объектов. Зная отражательные свойства генерализованного пикселя и отражательные свойства объектов, которые генерализованы, моделируют процентное соотношение в генерализованном пикселе этих объектов и на основе этой информации строят карты фракций (доли) каждого объекта в генерализованных пикселях.

Наиболее распространен при дешифрировании почв и почвенного покрова метод классификации с обучением. В рамках этого метода дешифровщик сначала определяет перечень тех объектов, которые необходимо отдешифрировать. Затем отбираются наиболее информативные каналы (типы) съемки и создается цветовой композит (см. выше). Далее на основе цветового композита дешифровщик создает обучающие выборки для каждого из объектов, которые необходимо дешифрировать и других объектов, которые присутствуют на космическом изображении. То есть дешифровщик указывает на пиксели изображения, которые соответствуют каждому объекту. Для каждого объекта указывается то количество пикселей, на основе которых можно статистически

оценить его спектральные характеристики по каналам съемки, отобранным для классификации. Далее проводится так называемое «обучение», в результате которого определяется спектральный облик указанных объектов и оценивается их разделимость в многомерном пространстве признаков выбранных каналов съемки. После этого, на основе заданного решающего правила автоматизированно проводится классификация всех пикселей изображения, то есть каждый пиксель относится к тому или иному классу объектов, заданных при обучении.

В результате использования любого из вышеперечисленных методов автоматизированной классификации изображений выделяются неоднородности, которые присутствуют на космических снимках. Тематическая интерпретация выделенных неоднородностей проводится в большинстве случаев экспертно дешифровщиком-почвоведом.

### **Использование данных дешифрирования при картографировании почвенного покрова**

Составление мелкомасштабных почвенных карт обычно является трудоемким процессом последовательной генерализации крупномасштабных почвенных карт. Использование космических снимков позволяет значительно ускорить этот процесс. Снимки дают уже генерализованное изображение ландшафтов в заданном масштабе. Причем генерализация базируется на объективных физических законах оптики. В отличие от имеющихся, составленных традиционно, тематических природных карт космические снимки позволяют получать информацию о реальном состоянии ландшафтов на момент съемки. Границы, выделяемые по снимкам при дешифрировании, в большинстве своем соответствуют ландшафтным. Наличие для определенной территории четких взаимосвязей структуры почвенного покрова с другими компонентами ландшафта делает космические снимки неза-

менимым орудием картографирования почвенного покрова в мелком масштабе.

При использовании космических снимков для картографирования почв необходимо учитывать несколько моментов, которые требуют осторожного обращения к снимкам как источнику информации о почвенном покрове. При дешифрировании почвенного покрова ландшафтным методом необходима уверенность в том, что существует тесная корреляция особенностей строения почвенного покрова с пространственным варьированием иных компонентов ландшафтов (например с растительностью, рельефом, геологическим строением). Выявление наличия корреляции проводится обычно во время полевых работ на ключевых участках. При отсутствии полевых работ широко используют различные литературные данные, картографические материалы. Наилучшие результаты можно получить лишь при детальных полевых исследованиях на ключевых участках.

Границы, проводимые при дешифрировании почвенного покрова по космическим снимкам делятся в большинстве случаев на две группы. Во-первых, это ландшафтные границы, которые проводятся по характеру изображения растительного покрова или рельефа. Сюда же можно отнести границы, появление которых обусловлено деятельностью человека. Во-вторых, это границы, которые выделяются преимущественно по тоновым признакам внутри ландшафтных контуров (наиболее характерны при дешифрировании почвенного покрова агроценозов). При проведении границ второго рода всегда возникает вопрос, чем появление этой границы обусловлено. В большинстве случаев это связано с резким изменением каких либо свойств поверхности почв (например количества и качественного состава гумуса, изменение характера почвообразующих пород, щебнистости и каменистости поверхности и т. п.). Таким образом, возникает вопрос, связано ли фиксируемое изменение свойств почв с их классифи-

кационным положением и разделяет ли проведенная граница ареалы почв определенного классификационного положения или нет. Ответ на этот вопрос может быть получен лишь в результате полевых исследований.

При работе с космическими снимками мелкого масштаба обязательно необходим учет генерализованности изображения ландшафтов. Почвенный покров практически любого контура, выделенного по космическим снимкам мелкого и среднего масштаба является неоднородным. Причем соотношение площадей компонентов почвенного покрова для выделенных контуров может быть совершенно различным, что определяется спецификой почвенного покрова территории исследований. В связи с этим, заложение в контуре при полевых исследованиях лишь одного разреза и идентификация почвенного покрова на его основе может привести к существенной ошибке.

Полученная схема дешифрирования почвенного покрова территории не является почвенной картой. Это лишь один из источников информации о почвенном покрове который необходимо использовать при картосоставительских работах наряду с остальными. Причем, для некоторых регионов космические снимки могут служить основой для составления почвенных карт, для других же – содержат лишь незначительное количество информации о почвенном покрове.

Учет вышеизложенных моментов при использовании космических снимков для составления мелкомасштабных почвенных карт позволит избежать целого ряда ошибок, сделать работу более целенаправленной и осознанной.

### **Возможности картографирования отдельных свойств почв**

На космических снимках через изменение тона (цвета) и рисунка отображаются различные свойства почв (засоление, солонцеватость, увлажнение, эродированность и т. д.).

Соответственно, в первую очередь, картографированию по спутниковым данным будут поддаваться именно конкретные свойства почвенного покрова.

Картографирование отдельных свойств почв по спутниковым данным может осуществляться как на основе величин спектральной отражательной способности, так и на основе спектральных индексов (гранулометрический состав, минералогические особенности). В большинстве случаев строятся регрессионные модели между параметрами светоотражения почв в отдельных каналах съемки и определенными в поле свойствами почв. Ниже перечислены свойства почв, дешифрирование которых по спутниковым данным наиболее проработано.

### ***Содержание гумуса и органического углерода***

В работе А. Г. Терехова (2006) показано, что для определения содержания гумуса в поверхностном слое (1–3 см) почв, не содержащих значительных количеств окрашивающих минеральных компонентов, может использоваться концепция почвенной линии (Kauth, Thomas, 1976). Полученное в результате общее уравнение почвенной линии для пахотных земель Северного Казахстана справедливо только для полей, поверхность почв которых полностью открыта от растительности во время спутниковой съемки.

А. Б. Ачасов и Д. И. Бидолах (2008) для определения содержания гумуса использовали спутниковую информацию («Ресурс-Ф1»), а также данные наземной цифровой фотосъемки. В ходе проведенного исследования ими разработаны регрессионные модели, основанные на зависимости между спектральными характеристиками почвенного покрова в красном диапазоне, который был определен, как наиболее информативный для оподзоленных почв, и содержанием гумуса.

Е. Ю. Прудникова (2013) для картографирования содержания гумуса по спутниковым данным Landsat TM-5 использова-

ла зависимость между спектральной отражательной способностью почв, измеренной в поле, и результатами лабораторных анализов ( $R^2=0.71$ ). Кроме того, на основе полученной связи, была проведена оценка дегумификации пахотных почв тестовых полей с 1988 по 2011 г. (Прудникова, Савин, 2015).

Содержание органического углерода в верхнем (0-10 см) слое почвы может быть смоделировано на основе педотрансферных функции и модели SCORPAN (Medonça-Santos et al., 2010). При этом спутниковая информация (в частности комбинация 7, 4 и 2 каналов Landsat ETM+, а также NDVI) используется в качестве предикторной переменной в пошаговом множественном регрессионном анализе.

C. Gomez и др. (2008), применивший усовершенствованный метод спектрального разделения к данным Hyperion для картографирования содержания органического углерода на тестовом участке площадью 16 км<sup>2</sup>, получил результаты, сопоставимые с полевыми данными.

Кроме того на основе дискриминантного анализа и метода главных компонент (МГК) могут определяться запасы органического вещества и мощность органогенного и гумусового горизонта. При этом в качестве основных параметров учитываются морфометрические характеристики рельефа, полученные путем анализа ЦМР, и спектральные индексы, рассчитанные на основе спутниковой информации (Landsat 7) (Пузаченко и др., 2006).

### ***Гранулометрический состав***

А. Аран и др. (2002) для определения классов гранулометрического состава и разделения темных глинистых почв и светлых песчаных почв от нефотосинтезирующей растительности на локальном уровне использовали 5, 6, 10 и 14 каналы спутниковых данных ASTER. Различия между глинистыми и песчаными почвами могут быть закартированы на локальном или региональном уровне на основании специфичных спект-

ральных особенностей. Так глинистые минералы имеют типичную полосу поглощения гидроксила при 2200 нм, называемый Индекс глины (SWIR Clay Index) (Chabrilat et al., 2002). Этот индекс может быть рассчитан с помощью 5 и 6 каналов ASTER. Присутствие кварца может быть определено и на основе теплового участка между 8000 и 9500 нм, что соответствует 10 и 14 каналам ASTER. Однако следует отметить, что на результат классификации оказывает влияние содержание органического вещества (Breunig et al., 2009; Salisbury and D'Aria, 1992).

Е. М. Barners и М. G. Baker (2000) для определения различных классов гранулометрического состава использовали данные Landsat TM, SPOT и данные спектральной съемки с самолета совместно с результатами лабораторных анализов. Точность классификации при этом варьировала от 50 до 100%. При этом исследование проводилось на уровне тестового участка с большим количеством почвенных образцов.

А. Marchetti и др. (2010) для картографирования гранулометрического состава на основе данных Landsat TM рассчитывали Grain Size Index и Clay Index, которые дают информацию о содержании мелкого песка и глины соответственно. Указанные индексы анализировались совместно с NDVI и набором характеристик рельефа. На следующем этапе строились линейные пошаговые регрессии между полученными главными компонентами и данными полевого обследования. Главные компоненты с наибольшими коэффициентами детерминации использовались для построения карт анализируемых параметров.

Е. Ю. Прудниковой (2013) на основе данных наземных наблюдений были получены регрессионные модели для картографирования содержания частиц размером 1–0.25 мм ( $R^2=0.74$ , Landsat TM-5, QuickBird) и 0.05–0.01 мм ( $R^2=0.79$ , Landsat TM-5), а также физического песка ( $R^2=0.75$ , Landsat TM-5).

D. Singh и A. Kathpalia (2007) разработали подход, основанный на генетическом алгоритме, который включает эм-

пирическое моделирование для одновременного определения влажности почвы, шероховатости поверхности и гранулометрического состава из величины диэлектрической постоянной, полученной по данным обратного рассеяния радарных данных ERS-2 SAR. Хотя полученные результаты не противоречили полевым исследованиям, ученые пришли к выводу, что существуют проблемы с получением входных параметров (переменных модели).

### *Минералогия*

Спектральные сигналы распространенных пород обнаруживаются главным образом в тепловом инфракрасном регионе спектра, где могут быть распознаны кварцевые, карбонатные, силикатные и базальтовые минералы.

Так бортовой спектрорадиометр AVIRIS может успешно использоваться для картографирования оксидов кремния и алюминия, соотношение которых определяет степень выветривания почвы (Galvao et al., 2008).

S. J. Nield и др. (2007) успешно закартографировал участки с гипсовыми почвами, концентрируясь на спектральном сигнале гипса, характеризующегося высокими значениями отражательной способности в 5 канале по отношению к низкой отражательной способности в 7 канале. Нормализованное разностное отношение 5/2 каналов Landsat может быть использовано для идентификации кальциевых осадочных пород.

Был разработан ряд индексов (Кварцевый индекс, Карбонатный индекс и Базальтовый индекс (Ninomiya et al., 2005)), которые считаются подходящими для регионального и глобального картографирования, однако на настоящий момент они были протестированы только в пустынных и полупустынных зонах для спутниковых данных ASTER. Результаты доказывают надежность индексов для выявления типов пород в проанализированных климатических условиях и рельефе (Ninomiya et al., 2005). В исследованиях на местном уровне,

усовершенствованные методы для распознавания минералов по спутниковым данным ASTER показали точность классификации до 86%.

V. L. Mulder и др., (2011) отмечает, что для определения минерального состава достаточно эффективным является совместное использование данных Landsat TM и ASTER, поскольку Landsat TM позволяет картировать общие литологические неоднородности, в то время как ASTER дает возможность выделять различные минералогические группы.

При этом указывается, что Hyperion лучше подходит для данных целей в связи с более высоким спектральным и пространственным разрешением (Mahoney et al., 2002). Однако пространственный охват получаемых продуктов в данном случае меньше. Кроме того, по данным Hyperion можно получить основную минералогическую информацию, но он в отличие от бортового спектрометра AVIRIS не захватывает тонкие спектральные различия в связи с низким отношением сигнал-шум (Kruse et. al., 2003).

В то же время привлечение дополнительных данных (полевых измерений, спутниковых данных ASTER, ALI (Advanced Land Imager (Beck, 2003))) позволяет повысить точность картографирования. При этом ALI больше подходит для выделения оксидов, гидроксидов и сульфатов железа, в то время как с помощью ASTER можно разделить глинистые и сульфатные виды минералов (Hubbard and Crowley, 2005; Hubbard et al., 2003).

### ***Засоленность почв***

Для картографирования засоленности почв используются как оптические, так и радарные спутниковые данные.

Классы почвенного засоления были успешно получены на локальном уровне (менее 500 км<sup>2</sup>) с помощью C-, P- и L-диапазонов бортовых и спутниковых радарных систем. При этом лучшие результаты получены для L-диапазона (Bell et al., 2001; Lasne et al., 2008; Taylor et al., 1996).

Как было показано (Grissa M. et al., 2011), радарная информация также может применяться для выделения участков почвы, затронутых процессами засоления и осолонцевания с общей точностью результатов равной 81%. При этом классификация данных осуществляется методом нечетких множеств.

В исследовании, которое было проведено в Иране и Египте, включение теплового 6 канала в выбранную (лучшую) комбинацию каналов Landsat TM улучшило разделение засоленных почв от гипсовых и крупнозернистых почв пустыни, и значительно увеличило как общую точность, так и точность по классам (Goosens et al. 1999).

Saha, Kudrat и Bhan (1990) использовали цифровую классификацию данных Landsat TM данных для картографирования засоленных и переувлажненных земель в Индии и обнаружили, что эти засоленные и переувлажненные области могут быть эффективно разделены, картографированы и классифицированы с точностью примерно 96%, используя 3, 4, 5 и 7 каналы съемки.

Согласно исследованиям Fernandez-Busces et al. (2006) высокую отрицательную корреляцию с содержанием солей имеет индекс комбинированного спектрального сигнала (combined spectral response index), который получен с применением Landsat TM данных и представляет собой скорректированный NDVI.

Классы засоленности почв могут быть получены на основе анализа данных ASTER (Melendez-Pastor et al., 2010), Landsat TM и ALI, в последних двух случаях используется индекс засоленности и нормализованный индекс засоленности (Bannari et al., 1998; Jabbar and Chen, 2008; Oddeh and Onus, 2008).

Weng et al. (2008) смогли выделить 5 классов засоленных почв с помощью данных Hyperion на площади около 1200 км<sup>2</sup>.

Eldeiry и Garcia (2008) для оценки почвенного засоления использовали спутниковые данные Ikonos (разрешение 4 м) и Landsat (разрешение 30 м). В своем исследовании они исполь-

зовали 3 статистические модели: метод наименьших квадратов, пространственную авторегрессию и модифицированный кригинг. Было обнаружено, что последний метод дает лучшие оценки засоления почвы.

Tagizadeh et al. (2008) для картографирования засоления почв применяли спутниковые данные Landsat ETM+ и экспоненциальную модель. В регрессионном анализе были использованы 3 спектральных канала и параметр, характеризующий засоление почв. R<sup>2</sup> полученной модели составляет 0,58.

Sanaeinejad et al. (2009) для классификации почв по степени засоления использовали 6 каналов Landsat ETM+ совместно с полевыми данными. Было обнаружено, что 7, 3, 4 и 1 каналы являются лучшим набором каналов для подготовки цветных композитных изображений. Также было выявлено, что гибридная классификация является подходящим методом для выявления и оконтуривания различных классов засоления в регионе исследования.

В работе Shrestha и Farshad (2009) для картографирования засоления использовались спутниковые данные Landsat TM. Для улучшения выделяемости различных классов засоления был применен метод вращения спектральных каналов (в частности красного и ближнего ИК каналов). Также для исследования привлекались полевые данные по электропроводимости и геологическая информация

Metternicht (1998) для выделения засоленных участков в Боливии использовал размытую классификацию JERS-1 SAR данных. Общая точность полученных результатов составила 81%. Главным недостатком данного подхода является то, что неоднородности поверхности почвы, обусловленные ее обработкой и влияющие на обратное рассеивание радарного сигнала, вызвали ряд ошибочных определений щелочных и засоленно-щелочных почв на незасоленных участках.

В работах (Савин и др., 2016; Габдуллин и др., 2017) продемонстрированы возможности дешифрирования и мониторинга засоленности почв в Казахстане на основе много-

канальных спутниковых данных Ландсат, WorldView, Kazsat и регрессионного анализа.

Таким образом, аэро и спутниковые данные предоставляют широкие возможности для картографирования различных параметров почвенного покрова.

Доступность спутниковых данных повышается, а сама съемочная аппаратура постоянно совершенствуется. Так с запуском миссии Sentinel-2 (A, B) в свободном доступе появились оптические данные высокого разрешения (10 м), которые получают с периодичностью 5–10 дней. Это открывает новые возможности для исследования и мониторинга почвенного покрова.

В то же время, при использовании дистанционных данных для картографирования почвенных характеристик практически не уделяется внимание состоянию поверхности почвы во время съемки.

Однако, в работах Zhu et al. (2010) и Liu et al. (2012) было показано, что использование характера трансформации поверхности после дождя, оценка которой проводилась по данным MODIS, в качестве дополнительной переменной при картографировании почвенных характеристик на слабо расчлененных территориях позволяет увеличить точность получаемых моделей.

В последних исследованиях также отмечается влияние локального испарения, структуры поверхностного слоя, интенсивности дождя и скорости высыхания (в зависимости от скорости ветра, испарения и влажности) на характер трансформации поверхности и на величину ошибки картографирования почвенных характеристик (в частности, гранулометрического состава) (Guo et al., 2016; Zeng et al., 2017). Учет состояния поверхности почвы во время съемки позволит увеличить эффективность применения дистанционных данных для картографирования ее характеристик, а полученные модели будут более надежны и стабильны.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОЙ ПОЧВЕННОЙ КАРТОГРАФИИ

Развитие компьютерных технологий обусловило появление нового направления в почвенной картографии – цифровая почвенная картография (ЦПК). Первые попытки использования цифровой формы записи информации (перфокарты) и электронных вычислительных систем для создания почвенных баз данных и обработки аэрокосмических материалов предпринимались в 1960–1970 гг. (Ostrowski, 1965; Moore, Russel, 1966; Янутш, Афанасьев, 1967; Кузнецов, Карлов, 1971; Фрилданд, Ильина, 1972). В Почвенном институте имени В. В. Докучаева разработка автоматизированных методов дешифрирования почв активно проводилась в 1970-х годах: основы «интерактивного» метода дешифрирования и картографирования почв (Андроников, 1979). В 1980-х годах проводились исследования по автоматизированному дешифрированию отдельных свойств почв (Васильев, Полуаршинова, 1984; Крупенио, 1985), динамичности почвенного покрова (Виноградов, 1984), по автоматизированному картографированию почв (Щербенко, 1983; Аэрокосмические методы ..., 1990). Подобные исследования, наряду с развитием ГИС, послужили основой для разработки методических подходов автоматизированного дешифрирования почв и появления направления Цифровой почвенной картографии.

Научное направление «Цифровая почвенная картография» окончательно оформилось в 2003 году с выходом статьи «О почвенном картографировании», в которой Алекс Макбратни, Мендонса Сантос и Будиман Минасный обобщили наработки по созданию почвенных карт в геоинформационных системах с использованием статистических методов для установления связей между почвами и факторами почвообразования (McBratney, Santos, Minasny, 2003). В своей статье Алекс МакБратни с соавторами предложили выде-

лить новую парадигму почвенного картографирования, основанную на количественном моделировании, в отличие от традиционной парадигмы почвенного картографирования на основе качественных описаний (Докучаев, 1879; Jenny, 1941). Результатом формулирования новой парадигмы стало появление нового определения цифровой почвенной картографии, как создания и компьютерного производства почвенных пространственных информационных систем с помощью численного моделирования пространственной и временной изменчивости почв и их свойств на основе данных полевых обследований и по факторам почвообразования (Lagacherie, McBratney, 2006; Minasny, McBratney, 2010). В новом определении явно описан метод создания цифровых почвенных карт – численное моделирование, в то время как до появления новой парадигмы под цифровой почвенной картографией понимали любое использование компьютера для создания почвенных карт.

Направление ЦПК основано на моделях, развивающих гипотезу В. В. Докучаева о почве, как простой функции факторов почвообразования (Флоринский, 2012). Самые распространённые в направлении Цифровой почвенной картографии модели: CLORPT (Jenny, 1994) и SCORPAN (McBratney, Santos, Minasny, 2003). Модель CLORPT расшифровывается как Climate (климат), Organisms (организмы), Relief (рельеф), Parent material (почвообразующие породы), Time (время). Таким образом, модель CLORPT основана на использовании информации о факторах почвообразования, описанных в определении почвы В.В. Докучаева (Докучаев, 1886). В свою очередь, модель SCORPAN расшифровывается как Soil (почва), Climate (климат), Organisms (организмы), Relief (рельеф), Parent material (почвообразующие породы), Age (возраст территории), Spatial position (положение в пространстве) – то есть явно включает известную информацию о картографируемых почвах и их местоположении. Сущест-

ует также подход к картографированию почв на основе геостатистики, когда почвенные свойства моделируются на основе стохастических моделей без учёта факторов почвообразования (Minasny, McBratney, 2016). Однако и в случае геостатистического подхода всё больше используется дополнительная пространственная информация о факторах почвообразования, которую получают по космическим снимкам и тематическим картам.

К настоящему времени технологии цифрового почвенного картографирования уже нескольких десятилетий разрабатываются во многих странах: Австралии (Lagacherie, McBratney, Voltz, 2006), Америке (Brevik, Hatermink, 2013; West, 2016), Нидерландах (Hartemink, Sonneveld, 2013), Дании (Greve, Breuning-Madsen, 1999; Adhikari et al., 2014), Франции (Arrouays et al., 2018), России (Пузаченко, 2006; Козлов, 2009; Королюк, Овечкин, 2010; Савин, 2012; Симакова, 2014; Кириллова и др., 2014; Савин, Симакова, Овечкин, 2015) и других. Разработанные технологии используются также и для создания почвенной карты Мира (Arrouays et al., 2017).

### **Интерактивные системы и полная автоматизация**

Самым удобным представляется создание полностью автоматической системы картографирования почв и почвенных свойств. Для разработки такой системы используются современные наработки в области статистического анализа и создания искусственного интеллекта. Важно отметить, что понятие интеллект отличается от понятия разум. Современный человек разумный, а компьютер пока неразумен. Компьютер может перебирать варианты решения задачи, придуманные человеком, но не может творчески перерабатывать их. Поэтому, в настоящее время, любые статистические методы, используемые для автоматизации картографирования, основываются на априорных знаниях, которые специальным образом закладывает в машину человек и на законе «больших

чисел»: если известны много случаев определённого события при определённых условиях, то предполагается, что при тех же условиях событие повториться.

Теоретически, при достаточно полном описании априорных знаний, компьютер может с достаточной точностью решать задачи, связанные с построением почвенных карт. На практике, использование «искусственного интеллекта» часто связано с проблемой, когда в некоторых случаях статистические методы не могут выйти за рамки априорных знаний об объекте и выдают «абсолютно» неадекватный результат с точки зрения эксперта почвовед-картографа. С другой стороны, в ряде случаев, формальное знание о почвах позволяет компьютеру избежать субъективного осреднения или сглаживания информации о почвах, которое обычно проводит эксперт почвовед-картограф при недостатке информации об объекте картографирования.

В настоящее время, в почвенной картографии, в особенности при использовании традиционных почвенных классификаций, которые не адаптированы для целей картографии, такие сложные ситуации встречаются постоянно, тем не менее, именно традиционные классификации обычно наиболее универсальны (Жоголев, Савин, 2016). При картографировании почв или отдельных свойств почв с использованием множества полевых данных, полученных при взятии проб по сетке (McBratney, Minasny, Santos, 2003; Mulder et al., 2011; Сорокина, Козлов, 2009; Прудникова, 2013), количество сложных ситуаций гораздо меньше, так как прямые измерения свойств почв обычно имеют высокую точность. Однако и в этом случае нужно учитывать возможные отклонения от «нормы», например, наличие сорняков или ям на полях (Савин и др., 2017).

Именно из-за сложностей, связанных с качеством обучения компьютера, на настоящем этапе развития науки всё ещё широко используются методы, при которых почвы картографируются экспертом визуально по тематическим картам и

аэрокосмическим снимкам, которые отображаются на экране компьютера (Руководство ..., 2008; Рухович и др., 2012).

Компромиссный вариант - совмещение возможностей искусственного интеллекта и экспертных знаний в виде интерактивной системы картографирования. Выгода такой интерактивной системы состоит в упрощении рутинной работы почвовед-картографа для ряда задач, где компьютерные методы уже позволяют получить достаточно качественные результаты (Zhu et al., 1997, 2001; Lagacherie, McBratney, 2006). Один из путей – создание полностью автоматических систем с возможностью экспертных проверки и внесения объективной информации на основе подхода имитации или моделирования традиционного процесса составления почвенных карт в геоинформационной системе (Савин, 2012; Жоголев, Савин, 2016; Жоголев, 2016).

Традиционное составление карт, описанное в методиках и инструкциях, обычно состоит из следующих этапов (Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт ..., 1973; Составление областных карт..., 1990): сбор информации, подготовка легенды карты, составление программы карты с описанием правил выделения почв, отрисовка почвенных контуров и оформление карты. На каждом этапе традиционного процесса составления почвенных карт можно выделить операции, поддающиеся автоматизации. Некоторые важные операции уже автоматизированы: выбор оптимального набора точек отбора проб и заложения разрезов, установление закономерностей размещения почв в зависимости от факторов почвообразования. В настоящее время наибольшее внимание в ЦПК сконцентрировано на этапе установления закономерностей в почвенном покрове, ведь установленные статистически закономерности могут быть непосредственно использованы для автоматической отрисовки выделов или установления почвенных свойств в отдельных точках (пикселях) компьютером.

## Подходы к интерполяции и экстраполяции информации о почвах

### *Геостатистический подход*

Один из наиболее широко применяемых подходов в цифровой почвенной картографии – это геостатистический подход с использованием методов кригинга (Hengl, Heuvelink, Stein, 2004; Lagacherie, McBratney, Voltz, 2006). Геостатистика – это раздел статистики, специализирующийся на анализе и интерпретации географически привязанных данных (Goovaerts, 1997), а кригинг – это один из основных методов геостатистики (Burgess and Webster, 1980; Heuvelink, Webster, 2001; Hengl, Heuvelink, Stein, 2004; Lagacherie, McBratney, Voltz, 2006). Кригинг базируется на той идее, что изменение свойств почв при удалении от некоторой точки обычно может быть описано как функция расстояния от этой точки. Другими словами, кригинг основан на автокорреляции свойств почв в пространстве, причём закон, по которому изменяются свойства почв с удалением от точек с известными свойствами почв, можно представить в виде полувариограммы (рис. 21).

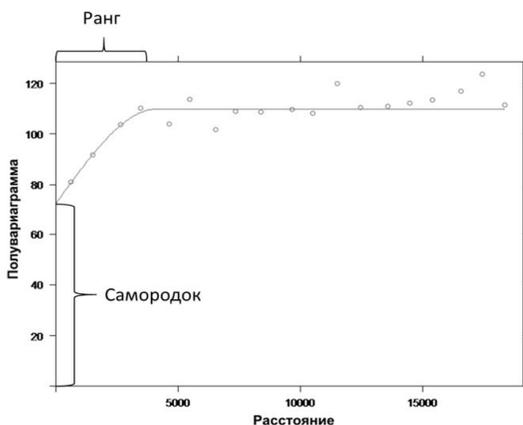


Рис. 21. Пример семивариограммы

Существует несколько видов кригинга (Reimann et al., 2008; Мешалкина, 2010):

- ординарный,
- простой,
- ко-кригинг,
- универсальный,
- и другие.

Методы кригинга позволяют прогнозировать свойства почв и рассчитывать неопределённость картографирования (вероятность правильного прогноза). Удобство кригинга заключается и в том, что оптимизировать обучающую выборку можно на основании рассчитанных неопределённостей картографирования в пикселях. Для повышения точности модели полезно дополнять обучающую выборку в местах с высокой неопределённостью картографирования. Однако нужно понимать, что оценка неопределённости картографирования основана на среднеквадратичном отклонении значений в обучающей выборке от построенной полувариограммы, а значит не всегда учитывает локальные особенности картографируемой территории. Поэтому методы кригинга применяются при достаточно густой сетке данных, чтобы обучающая выборка отражала пространственное варьирование свойств почв и позволяла построить надёжную модель. Таким образом, методы кригинга наилучшим образом подходят для получения непрерывного покрытия территории количественными значениями почвенного свойства по достаточно густой сетке обучающих точек с известным значением картографируемого свойства.

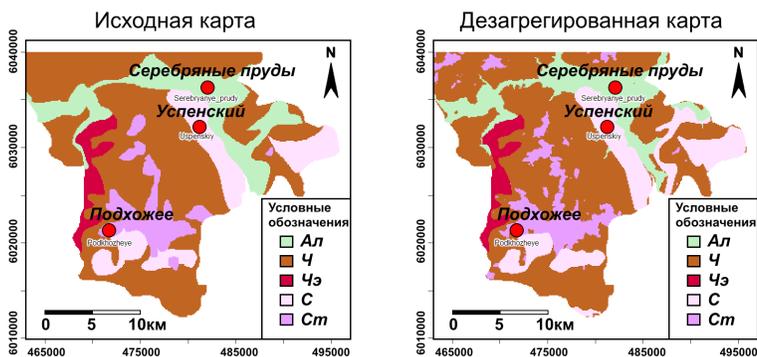
### ***Моделирование связей почва – факторы почвообразования***

Другой широко используемый подход к цифровому картографированию почв и их свойств основан на моделировании связей почв с факторами почвообразования или, по-другому,

почвенно-ландшафтных связей. При таком подходе статистические методы используются для установления статистических взаимосвязей между пространственной информацией о почвах и пространственными данными о факторах почвообразования. Используются факторы почвообразования, описанные в моделях CLORPT, SCORPAN и т. д. Для построения почвенных карт полученные взаимосвязи экстраполируются на другие территории со сходными природными условиями. Используется самая различная информация о почвах и их свойствах, однако можно выделить два типа подходов по виду используемой входной информации: 1) точечные полевые данные и 2) архивные почвенные карты.

В теории для моделирования надёжнее использовать именно точечную информацию о почвах, так как точки представляют собой информацию, полученную непосредственно в поле, в отличие от уже переработанной картографической архивной информации. Поэтому при использовании точечных полевых данных достаточно отобрать наиболее представительные точки в обучающую выборку и выбрать подходящий метод для построения статистической модели. На практике, редко возможно найти достаточно полную и актуальную полевую точечную информацию, в то время как имеются архивные почвенные карты прошлых лет. Поэтому для детального масштаба картографирования для небольших территорий, например, отдельных полей, удобно использовать точечную полевую информацию, но для регионально-го и глобального масштабных уровней использование архивных почвенных карт как основы для моделирования наиболее удобно, так как планомерные полевые исследования больших территорий требуют значительных трудозатрат и времени. Моделирование связей почв с факторами почвообразования по детальным почвенным картам возможно проводить, просто составив обучающую выборку с наиболее представительными точками на архивной почвенной карте.

В случае, когда нужно составить детальную почвенную карту, но архивные почвенные карты имеют более мелкий масштаб, возможно использовать подход дезагрегации. При таком подходе, для моделирования связей почва – факторы почвообразования используется обучающая выборка, построенная по имеющимся почвенным картам относительно мелкого масштаба, но при этом используется пространственная информация о факторах почвообразования выбранного детального масштаба картографирования. Таким образом, проводится дезагрегация архивной почвенной карты относительно мелкого масштаба до выбранного более крупного масштаба или в выбранное более высокое пространственное разрешение с использованием детальной информации о факторах почвообразования (рис. 22).



*Рис. 22. Пример цифровой почвенной карты территории Московской области южнее реки Осётр, полученной путём дезагрегации традиционной почвенной карты масштаба 1:200 000 до разрешения 90 м (Ал – Аллювиальные луговые, Ч – Лугово-чернозёмные, Чэ – Лугово-чернозёмные эродированные, С – Серые лесные, Ст – Тёмно-серые лесные почвы).*

Для моделирования связей почва – факторы почвообразования при картографировании по полевым точечным данным

и по архивным почвенным картам в качестве пространственной информации о факторах почвообразования используются тематические карты или данные дистанционного зондирования. Традиционно используются тематические карты: растительности, климатические, геологические, гидрогеологические, экологические и другие. В зависимости от масштаба картографирования используются данные дистанционного зондирования: космические снимки, либо снимки с беспилотных летательных аппаратов. Пространственное разрешение данных дистанционного зондирования выбирают также исходя из масштаба или разрешения картографирования (Hengl, 2006, 2009). В почвенном картографировании обычно используются цифровые модели рельефа и временные серии спутниковых данных.

Моделирование связей почв с факторами почвообразования для картографирования почв обычно проводится в полностью статистическом виде на основе статистических методов: дискриминантного анализа (McBratney et al., 2003), номинального регрессионного анализа (Kempen et al., 2009), случайных лесов (Hengl, 2014), усиленных деревьев классификации (Odgers et al., 2014), нейронных сетей (Behrens et al., 2005) и других. Однако разработаны методы, где связи устанавливаются в виде доступном также и для экспертного анализа и правки почвоведом без широких знаний в области статистики (Vui, Moran, 2001; Савин, 2012; Odgers et al., 2014). В основе таких методов обычно лежат алгоритмы деревьев принятия решений при условии ограничения величины таких деревьев путём использования данных с заданным уровнем генерализации (Савин, 2012; Жоголев, Савин, 2016; Жоголев, 2016), однако существуют и другие методы, например, на основе моделирования структурными уравнениями (Angelini & Huevelink, 2015). Основная суть наиболее широко распространённых методов на основе деревьев принятия решений заключается в представлении связей почв с факторами почвообра-

зования в виде цепочек условий вида: если почвообразующие породы покровные суглинки и растительность дубовый лес, значит почва серая лесная, а если растительность еловый лес, то почва дерново-подзолистая глееватая.

Один из широко распространённых методов и по совместительству один из первых в цифровой почвенной картографии – метод классификационных и регрессионных деревьев CART (Lagacherie, Holmes, 1997). Особенности алгоритма CART состоят в возможности работы с качественными и количественными данными вместе, алгоритм может работать с неполными данными с помощью суррогатных деревьев, алгоритм непараметрический, скорость работы алгоритма очень высокая, возможна работа с обучающими выборками малого размера, при построении деревьев рассчитывается ошибка Кросс-Валидации (Breiman et al., 1984). Расчёт ошибки Кросс-Валидации проводится путём построения дерева классификации по некоторой части обучающей выборки и использовании оставшейся части для расчёта количества неправильно классифицированных пикселей, затем выбираются другие части выборки для построения дерева и оценки ошибки, количество подобных операций задаётся пользователем, а итоговое значение ошибки рассчитывается как среднее для всех деревьев. Итоговое дерево принятия решений строится по всей обучающей выборке.

Существуют и другие алгоритмы автоматизированного построения деревьев принятия решений на основе обучающей выборки: CART, ID3, C4.5/5.0, CUBIST, CHAID, MARS, Conditional Inference Tree. Подобные алгоритмы используют при построении ветвей индексы, позволяющие учесть увеличение чистоты классов, прирост информации, снижение энтропии или другие характеристики. Перспективным для построения наглядных компактных моделей связей почв с факторами почвообразования в виде деревьев принятия решений выглядит использование метода эволюционно-

го обучения глобально оптимальных деревьев классификации – Evolutionary Learning of Globally Optimal Classification and Regression Trees (Grubinger, Zeileis, Pfeiffer, 2014), а также методов построения деревьев принятия решений на основе нейронных сетей – Neural Decision Trees (Balestriero, Baraniuk, 2017) и Deep Neural Decision Trees (Chimataru et al., 2018). Такие методы позволяют имитировать установление оптимальных правил проведения границ между почвами, которое проводит почвовед-картограф при сопоставлении картографической и другой информации, а также представлять правила картографирования в наглядной и компактной форме, обеспеченной статистической оценкой качества (Жоголев, 2016).

### ***Гибридные подходы***

В связи с ограничениями отдельных подходов в последнее время стало обычным использовать несколько методов в дополнение друг к другу, например, регрессионный анализ с кригингом остатков - регрессионный кригинг (Hengl, Heuvelink, Stein, 2004). Также используются ансамблевые методы, когда для каждой территории (пикселя или района) прогнозируются почвы с помощью разных методов, но в качестве результата прогноза почвы или свойства почвы используется только наилучший прогноз (Minasny, McBratney, 2016).

### **Составление обучающей выборки**

Ключевое значение для построения качественной модели связей почв с факторами почвообразования имеет качество составления обучающей выборки. Самый простой вариант составления представительной обучающей выборки заключается в отборе проб по сетке с фиксированным расстоянием между точками, однако, на практике, для снижения трудоёмкости работ целесообразно отбирать пробы в районах доступных для полевых работ с максимально возможным учётом

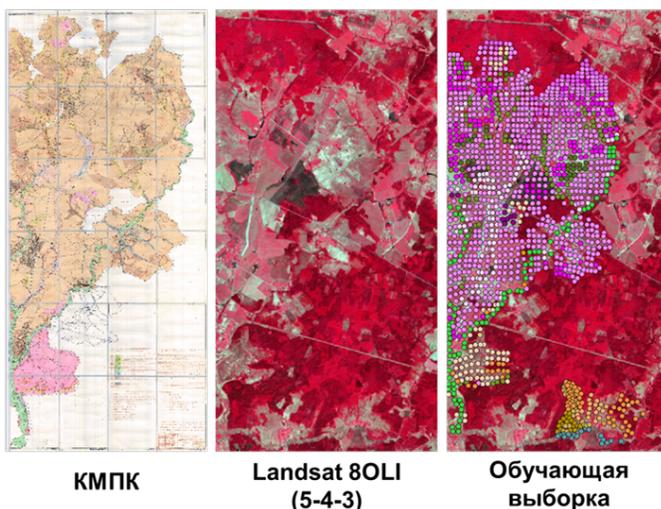
разнообразия почв и факторов почвообразования, распространённых на картографируемой территории.

В традиционной почвенной картографии области ключевых исследований обычно выбирались экспертным путём на основе почвенных, литолого-геоморфологических или других районирований (рис. 23) (Савин, 2012; Савин, Овечкин, 2014; Zhogolev, 2016).



*Рис. 23. Почвенное районирование Московской области (1 – Верхне-Волжская низменность, 2 – Мещёрская низменность, 3 – Смоленская возвышенность, 4 – Московская возвышенность, 5 – Москворецко-Окская равнина, 6 – Заокская часть, 7 – Средне-Русская возвышенность)*

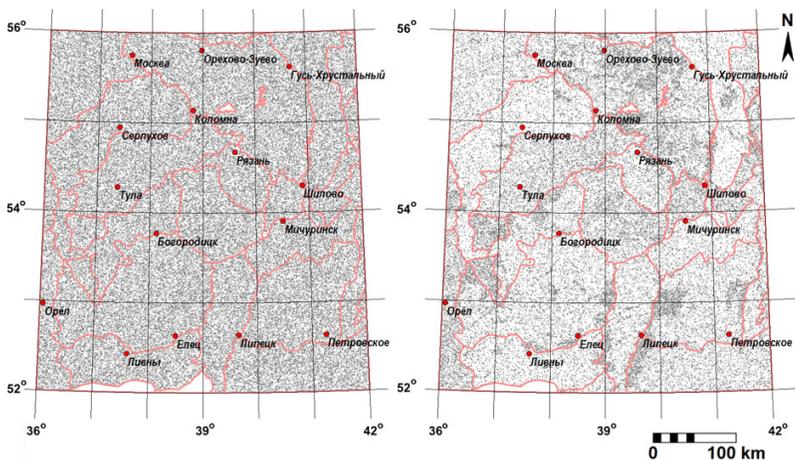
Существуют традиционные требования к количеству почвенных разрезов на определённую площадь в зависимости от масштаба и категории сложности картографирования (Кашанский, 1987). На основе подобных требований возможен расчёт среднего расстояния между точками для составления обучающей выборки при картографировании «по сетке» (рис. 24).



**Рис. 24.** Обучающая выборка

*(точки обучающей выборки показаны кругами разного цвета), составленная вручную по почвенной карте (КМПК) масштаба 1:10 000 с одновременной генерализацией до масштаба 1:200 000 и проверкой по космическому снимку (Landsat 8 OLI)*

В цифровой почвенной картографии для выбора мест отбора проб с учётом доступности для исследования, вариативности почв и факторов почвообразования разработаны различные методы на основе алгоритмов: кластеризации методом k-средних (Brus, Gruijter, Groenigen, 2006), латинского гиперкуба (Minasny, McBratney, 2006), OSPATS (Saby et al., 2017) и других. Например, принцип работы алгоритма латинского гиперкуба состоит в отборе точек так, чтобы захватить каждую градацию факторов, т.е., если мы применим алгоритм латинского гиперкуба к карте рельефа, геологической карте и карте растительности, то на выходе алгоритм распределит точки отбора проб в пространстве так, чтобы точки попали в максимальное количество различных условий рельефа, геологических пород и классов растительности (рис. 25).



*Рис. 25. Обучающие выборки, построенные методом латинского гиперкуба на основе карт рельефа и растительности: слева – без использования архивной почвенной карты, справа – с равным количеством точек каждой почвы в обучающей выборке (точки обучающей выборки обозначены серыми цветом)*

## Ограничения современных подходов

### *Ограничения и допущения при использовании геостатистических и статистических методов*

Основное ограничение методов геостатистики заключается в том, что, в действительности, распределение почв и их свойств не зависит от расстояния между точками. Например, при измерении рН на некотором поле по постоянной сетке с шагом 10 метров, между некоторыми двумя точками может находиться западина, и интерполяция значений рН с помощью простого кригинга по линейному закону никак не учтёт особенностей почвообразования в ней, что приведёт как к ошибкам в величине спрогнозированного рН, так и к неправильной оценке точности прогноза.

Главное ограничение современных подходов картографирования почв и их свойств, основанных на моделировании связей почв с факторами почвообразования, связано с недостатком непосредственных данных о свойствах почв и факторах почвообразования на тематических картах и данных дистанционного зондирования, что приводит к необходимости использования косвенной информации, снижающей точность картографирования (Lagacherie, 2008). В будущем, с развитием методов дистанционного зондирования многие свойства почв можно будет определять с достаточной точностью прямым дешифрированием, а карты почвенных классов строить с помощью агрегации информации о почвенных свойствах (Савин, 2016).

При использовании методов дезагрегации существуют сложности с учётом символов на традиционных почвенных картах, показывающих наличие отдельных свойств в некоторой окрестности (Савин и др., 2015). Возможно, рассматривать их как отдельные полигоны в виде кругов с радиусом, отражающим распространение почвенного свойства (Rositer, 2001).

### **Ограничения программного обеспечения и компьютерной техники**

При использовании статистических и геостатистических методов для построения почвенных карт большое значение имеет программное обеспечение и используемая аппаратная база. В последнее время большое развитие получили языки программирования высокого уровня R и Python, которые значительно упрощают практическое применение статистических методов для реальных данных за счёт возможности гибкой интеграции со многими программами. Команды в языке R очень просты даже при использовании сложных современных методов моделирования и геоинформационной обработки, что в теории позволяет использовать язык

почвоведов без подготовки в программировании. Например, ниже представлен очень компактный и наглядный код для построения карты с помощью метода классификационных и регрессионных деревьев по обучающей выборке и картам рельефа, геологии и растительности.

Код построения карты:

- 1) `require (rgdal) # подключение пакетов для импорта-экспорта пространственных данных (GDAL);`  
`require (raster) # подключение пакетов трансформации пространственных данных;`  
`require (rpart) # построение моделей с помощью алгоритма классификационных и регрессионных деревьев;`
- 2) `covariates <- raster («a.mpr») # загрузка карт факторов почвообразования непосредственно в формате ГИС ILWIS;`
- 3) `sampleset <- raster («s.mpr») # загрузка обучающей выборки;`
- 4) `formula <- «SOIL ~ REGIONS + DEM + SLP + ASP + GEOL + VEG» # выбор переменных для моделирования;`
- 5) `fit <- rpart (formula, covariates, sampleset) # построение статистической модели;`
- 6) `soilmap <- predict (fit, covariates) # построение цифровой почвенной карты на основе установленной статистической модели;`
- 7) `plot (soilmap) # отображение построенной почвенной карты.`

Представленный выше код лишь немного упрощён, но отражает основную суть работы с языком R. Подобный анализ в геоинформационной системе (ILWIS, ArcGIS, QGIS) с использованием статистических программ (Statistica, MathCad, SPSS) потребовал бы сложных операций по приведению растровых карт в табличный текстовый формат данных до-

ступный для анализа статистическими программами. Таким образом, для ряда типовых задач использование языков R и Python значительно проще, чем использование геоинформационных систем, позволяет записывать все шаги картографирования, проводить пакетную обработку данных, а, кроме того, многие скрипты могут быть запущены из тех же самых геоинформационных систем в интерактивном режиме.

Однако, на практике, во многих случаях использование высокоуровневых языков R и Python для автоматизации картографирования имеет свои ограничения: многие пакеты расширений созданы только для определённых видов данных и с другими данными могут работать некорректно, скорость работы некоторых конструкций обычных для языков программирования общего назначения (C++, Pascal), например, циклов, настолько низкая, что зачастую приводит к необходимости специфической оптимизации программного кода или даже встраивание фрагментов кода на языках программирования более низкого уровня. Все эти особенности приводят к тому, что, в широком ряде случаев, очень простая задача, которую мог бы решить почвовед-картограф без особых знаний в программировании с использованием пакетов расширений, в действительности, требует написания сложного кода для учёта мелких недостатков пакетов.

В качестве примера можно привести построение серии из нескольких десятков карт с легендой, линейным масштабом и направлением на север. Оказывается, что пакет для построения линейного масштаба требует указания нахождения линейного масштаба в координатах изображаемой карты, а значит нужно писать отдельный код для расчёта координат легенды, так чтобы она располагалась, например, всегда в левом углу карты. Или, если мы хотим считать значения некоторых пикселов с карты большого размера для составления обучающей выборки, то оказывается, что программа не будет выполняться при недостаточном размере оперативной памя-

ти компьютера. В этом случае можно разбить карту на отдельные куски и считать информацию отдельно для каждого куска (тайла), затем строить отдельные модели для каждого куска, обновить карты для всех кусков, а затем сохранить их. Однако оказывается, что при сохранении в исходной проекции, разрешение каждого куска из-за технических особенностей соответствующего пакета изменяется с 90 метров на различные значения близкие к 89 метрам, что приводит к сложностям склейки в сторонней геоинформационной системе. Если же склеивать куски в единое покрытие в R с помощью соответствующего пакета, то оказывается, что выбранный пакет не умеет склеивать куски шириной менее 15 пикселей, между тем по краям изображения как раз могут быть куски шириной менее 15 пикселей. Очевидно, что все эти небольшие недоработки пакетов, которые почти всегда могут быть довольно легко устранены авторами пакетов, приводят к очень существенному увеличению и усложнению кода построения и анализа карт. Таким образом, использование языков R и Python позволяет полностью автоматизировать и записать процесс цифрового почвенного картографирования в виде программного кода при условии наличия у почвовед-картографа достаточно обширной базы систематических знаний в области программирования.

С использованием высокоуровневых языков программирования созданы практические реализации многих подходов к цифровому почвенному картографированию. Интересно, что многие реализации имеют открытый программный код.

DSMART – алгоритм пространственной дезагрегации почвенных карт на основе усиленных деревьев принятия решений, существуют реализации в виде пакетов для R и Python (Odgers, 2014). Особенность дезагрегации этим алгоритмом заключается во введении дополнительной экспертной информации о вероятности встретить ту или иную почву, например, для территории США были широко распространены карты

хороплет. С помощью алгоритма DSMART было проведено построение карты вероятностей почвенных серий POLARIS для всей территории США на основе имеющейся базы данных SSURGO (Chaney et al., 2016). Для проведения дезагрегации с довольно высоким пространственным разрешением 30 м использовался суперкомпьютер. С помощью DSMART также была обновлена почвенная карта западной части Австралии (Holmes, 2014). Главное ограничение подхода состоит в зависимости от качества карт хороплет с вероятностями нахождения почв в различных областях, а также в высоких требованиях к аппаратной базе для проведения вычислений.

SoilGRIDs представляет собой автоматизированную систему производства пространственной почвенной информации на основе методов машинного обучения, реализованных преимущественно на языке R (Hengl et al., 2014, 2017; ISRIC site). С помощью SoilGRIDs созданы карты многих почвенных свойств, а также карты почвенных классов в терминах классификации WRB2006 и USDA Soil Taxonomy. Особенности системы состоят в том, что автоматизированы алгоритмы установления связей и оформления карты. Для установления связей используются полностью статистические методы, так называемые «чёрные ящики», которые не позволяют проводить полноценный смысловой анализ полученных связей, хотя при наличии представительной обучающей выборки эти методы обычно дают наилучшую точность прогноза. При этом для областей с малым количеством обучающих данных качество карт ниже, чем могло бы быть при использовании других подходов к картографированию (Zhogolev, 2017). Карты почвенных классов и свойств, в настоящее время, представлены в виде нескольких сотен отдельных растровых карт для каждой почвы с вероятностью её наличия в пикселях, аналогично, имеются карты почвенных свойств. Такое представление картографической информации о почвах требует от пользователя возможностей использования пакетно-

го обработки данных для представления карт в более традиционной форме или для включения данных в программы для моделирования.

Кроме подходов на основе высокоуровневых языков программирования существуют и традиционные программные продукты для цифрового почвенного картографирования. Один из таких продуктов – почвенно-земельная система установления взаимосвязей SOLIM (Soil Land Inference System), которая представляет собой набор программных пакетов для создания почвенных карт на основе идей о нечёткой логике (Zhu et al., 1997) и экспертных цепочек обработки данных (Zhu et al., 2001). Процесс картографирования в SOLIM существенно отличается от традиционного процесса картографирования необходимостью знания процедур обработки космических данных и представлением информации о почвах в виде вероятности нахождения классов в пикселе. Между тем, выглядит возможным создание более удобных для традиционных почвоведов программ с разделением непосредственно почвенных знаний и технической обработки космических снимков.

Интересно, что многие геоинформационные системы (ArcGIS, ERDAS, QGIS, SAGA, ILWIS и другие) имеют инструменты для построения цепочек обработки данных, которые могут быть использованы для воспроизведения большинства подходов цифрового почвенного картографирования без использования программирования.

### ***Подготовка пространственных данных для моделирования***

Поскольку в настоящее время только немногие диагностические и нужные практически свойства почв могут быть непосредственно дешифрованы по космическим данным (Mulder et al., 2011), то картографирование почв проводится на основе подхода В.В. Докучаева по факторам

почвообразования (Савин, Симакова, 2012). Используется вероятностный подход к цифровому почвенному картографированию, так как информации о факторах почвообразования почти всегда недостаточно для однозначного выделения почв или их свойств (McBratney, Minasny, 2003; Lagacherie, 2008). В качестве источника информации о факторах почвообразования наиболее широко используются скорректированные цифровые модели рельефа (Gallant, Read, Dowling, 2012; Zhogolev, Savin, 2017) и пространственно-временные серии космических снимков с рассчитанными по ним индексами (Mulder et al., 2011), которые подробно описаны в соответствующей главе настоящей монографии. По аналогии с традиционным почвенным картографированием используются данные с близким пространственным разрешением или одного масштаба (Hengl, 2006; Malone, McBratney, Minasny, 2013).

Существует два основных подхода к выбору пространственных данных (ковариатов) для моделирования: использование всех возможных данных (Hengl et al., 2014) и отбор только наиболее представительных данных для разделения почв и их свойств (Soderstrom et al., 2016). Подход с использованием различных данных имеет ограничение, связанное с взаимной корреляцией ковариатов, что может приводить к появлению ошибок на почвенной карте при выделении одного и того же свойства по разным немного различающимся данным.

### ***Оценка качества почвенных карт***

Одним из главных преимуществ направления цифровой почвенной карты называют возможность оценки ошибок картографирования (Lagacherie, 2008). Конечно, и в традиционной почвенной картографии существовали критерии оценки качества построенных карт (Кашанский, 1987; Rossiter, 2001), но именно в цифровой почвенной картографии появилась полноценная возможность статистической оценки каче-

ства моделей и возможность построения карт распространения неопределённости прогноза (Lagacherie, 2008).

При цифровом почвенном картографировании с использованием классификации почв наиболее широко используются методы оценки качества, отражающие соответствие между почвенным покровом на карте и действительным почвенным покровом (Rossiter, 2001), которые можно условно разделить на общие и пространственные.

#### Общие методы оценки качества карты:

1. общей точности, точности продюсера и точности пользователя на основе матрицы ошибок (Congalton, 1984);
2. каппа-статистики (Rossiter, 2001);
3. агрегированные пространственные показатели точности (Rossiter, 2001; Жоголев, 2016);
4. показатели качества построенной модели: ошибка кросс-валидации и параметр сложности для классификационных и регрессионных деревьев; коэффициент детерминации, уровни значимости и доверительные интервалы для коэффициентов, полученных при множественном регрессионном анализе и другие;
5. экспертный смысловой анализ адекватности установленных связей.

#### Пространственные методы оценки качества карты:

1. неопределённость прогноза в пикселе;
2. отражение нескольких наиболее вероятных классов в пикселе;
3. визуальное сопоставление с другими почвенными картами;
4. визуальное сопоставление с тематическими картами;
5. визуальное сопоставление с космическими снимками.

Интересно, что подход имитации или моделирования традиционного процесса представления связей почв с фактора-

ми почвообразования на основе деревьев принятия решений позволяет проводить экспертный смысловой анализ качества построенных связей (рис. 26) (Жоголев, Савин, 2016), при этом возможна и полноценная статистическая оценка качества с помощью представленных выше критериев.

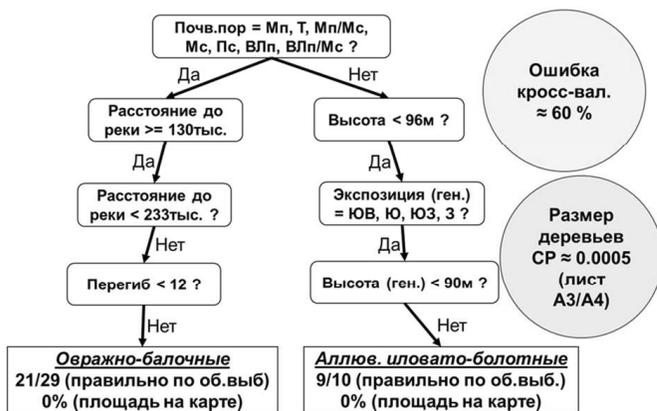
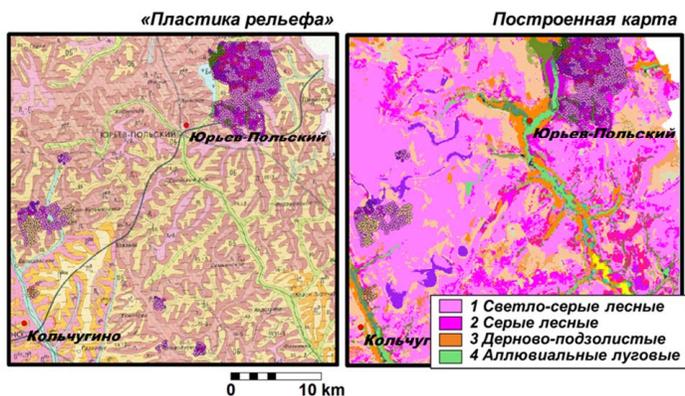


Рис. 26. Фрагмент дерева принятия решения для картографирования почв во Владимирской области.

В случае картографирования количественных почвенных свойств обычно рассчитываются доверительные интервалы для значений свойств в каждом пикселе (Goovaerts, 2001), также рассчитывают показатели качества моделирования, различные для разных статистических методов, например, для простого кригинга рассчитывают параметры вариограммы: самородок (nugget), диапазон (range) и порог (sill) (Heuvelink, 1998). При оценке по независимым проверочным данным часто рассчитывают среднеквадратичное отклонение (Hengl et al., 2015) и коэффициент корреляции с проверочными данными (Vaysse, Lagacherie, 2015). В целом, несмотря на широкую распространённость подходов для количественного картографирования свойств почв, методы оценки качества

подобных карт очень различны и было бы полезно разработать единую систему критериев качества таких карт.

И для карт свойств почв, и для карт почвенных таксонов в качестве эталонной информации для количественной оценки качества построенной карты обычно используют данные систематических ключевых обследований, либо почвенные карты масштаба равного или более крупного, чем масштаб картографирования. Возможна дополнительная экспертная проверка соответствия построенной почвенной карты с различными данными: картами меньшего масштаба, районированиями, спорадическими полевыми данными, литературными данными, тематическими картами (рис. 27) и спутниковыми данными (рис. 28).

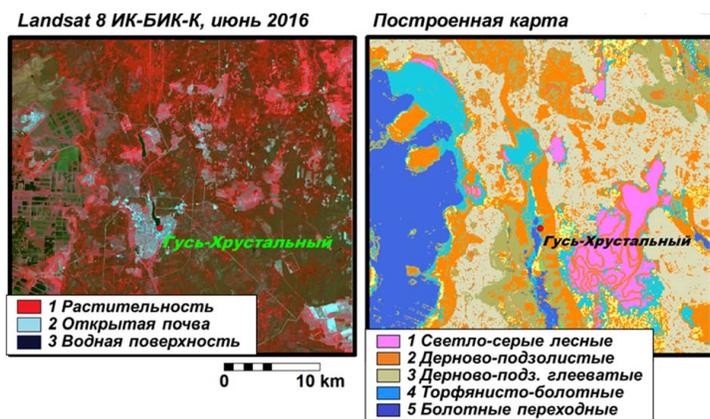


*Рис. 27. Оценка качества построенной цифровой почвенной карты путём сравнения с почвенной картой «пластики рельефа» одного масштаба.*

### **Картографирование структуры почвенного покрова**

Обычно почвенный покров представляет собой чередование повторяющихся почв, взаимосвязанных друг с другом. Для картографирования таких повторяющихся комбинаций почв с их взаимосвязями был разработано учение о структуре

почвенного покрова (Фридланд, 1972). Структура почвенного покрова состоит из различных комбинаций элементарных почвенных ареалов. Выделяют структуры почвенного покрова цепи – связи между почвами тесные и ряды – связей между компонентами нет или они слабые. Различаются структуры почвенного покрова и по контрастности входящих в них почв, например, комплексы и пятнистости, сочетания и вариации, мозаики и ташеты.



*Рис. 28. Оценка качества цифровой почвенной карты путём сравнения со спутниковым снимком близкого пространственного разрешения*

Картографирование структуры почвенного покрова – отдельная, до настоящего времени, нерешённая задача в цифровой почвенной картографии, однако имеются работы по картографированию экологических группировок СПП Сорокиной Н. П. (2003) и Козлова Д. Н. (2009), существуют подходы к картографированию структур почвенного покрова, включающих антропогенно-трансформированные почвы (Жоголев, Савин, Голосная, 2014; Жоголев, 2014). Картографирование микроструктур почвенного покрова, линейные

размеры которых обычно составляют не более десятков метров, в среднем масштабе возможно по аналогии с обычным картографированием по преобладающей почве путём прогнозирования определённой микроструктуры почвенного покрова в пикселе (Жоголев, 2016) (Рис. 29). Однако в случае картографирования мезоструктур почвенного покрова ситуация оказывается сложнее, так как их размеры составляют десятки и сотни метров, а соответственно требуется агрегация информации с нескольких пикселей.

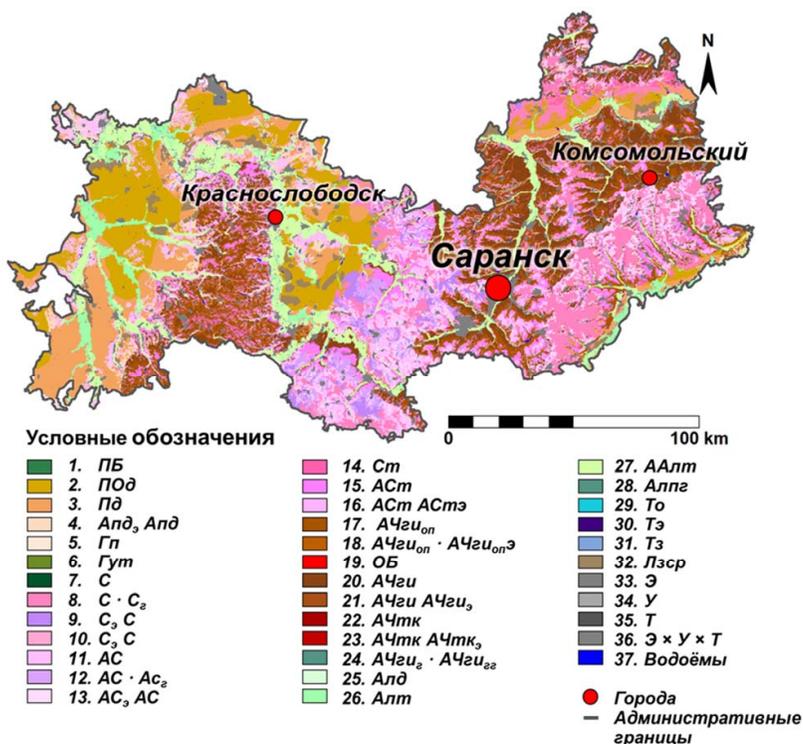


Рис. 29. Карта почвенного покрова республики Мордовия с разрешением 90 м.

### ***Учёт локальных особенностей при составлении общих правил***

Особенность статистического моделирования заключается в составлении общих правил для картографирования почв на основе имеющейся информации о факторах почвообразования, то есть имеются ограничения на сложность модели, например, «штраф» за добавления нового ковариата при регрессионном анализе с включением переменных или увеличение индекса сложности при использовании деревьев классификации. Однако для картографирования редких или занимающих малую площадь почв, модель картографирования, действительно, должна быть сложной. Эта проблема отчасти решается ограничением на минимальную площадь картографируемых почв по аналогии с традиционным почвенным картографированием.

### ***Адаптация к классификации почв***

Разные классификации почв имеют разные диагностические критерия выделения почв, что приводит к сложностям при использовании архивной почвенной информации для актуальных задач. Перевод в новую классификацию почв на основе имеющейся информации не всегда оказывается очевидным, например, в северной части Заокской части Московской области на почвенной карте 2002 года были представлены дерново-подзолистые почвы по Классификации почв 1977 года, которые в терминах Классификации почв 2004 года могут быть: светло-серыми, дерново-подзолистыми, дерново-подбурами, дерново-подзолами и другими почвами. При выезде в поле оказалось, что на этой территории распространены различные дерново-подбуры в терминах Классификации почв 2004 года (рис. 30) (Жоголев, 2016). Интересно, что дерново-подбуры были встречены только в нескольких точках и для полноправного отражения именно дерново-подбуров, а не других описанных выше почв, на обновлённой среднемасштабной почвенной карте требуется как

минимум экспертное обоснование большой площади их распространения. С точки зрения цифрового почвенного картографирования, по-видимому, правильным будет дать также статистическое обоснование большой площади распространения дерново-подбуров.

Ещё одна сложность при цифровом почвенном картографировании – малое диагностическое различие между картографируемыми почвенными единицами, причём различия в диагностических признаках почв даже одного таксономического уровня могут быть очень малыми для их разделения на основе картографической и спутниковой информации о факторах почвообразования. Например, разделение типов чернозёмов в Классификации почв 2004 года по границе вскипания при добавлении HCl, указанной с точностью до сантиметров, требует разработки отдельного метода для её достаточно точного установления в пространстве.



*Рис. 30. Изображения почвенных профилей на севере Заокской части Московской области (Классификация и диагностика почв, 1977)*

## ***Вариант технологии обновления (составления) почвенных карт***

1. Составление базы данных
  - одинаковый масштаб тематических и дистанционных данных
2. Районирование
  - единые закономерности почвенного покрова внутри почвенных районов: сходные связи почв с факторами почвообразования.
3. Составление легенды карты
  - на основе легенд архивных почвенных карт
4. Составление карт факторов почвообразования
  - расчёт морфометрических показателей по цифровой модели рельефа
  - дешифрирование растительности по спутниковым или аэроснимкам
  - использование геологических баз данных
5. Составление дерева правил картографирования почв
  - автоматическое с помощью метода эволюционного обучения глобально оптимальных деревьев классификации и регрессии (Evolutionary Learning of Globally Optimal Classification and Regression Trees), реализация на языке R, для почвенных районов на основе обучающей выборки с равным количеством точек для каждой почвы
6. Обновление почвенной карты
  - автоматическое на основе полученных деревьев принятия решений с помощью скриптов на языке R и в ГИС ILWIS.
7. Верификация построенной карты
  - расчёт каппа-статистики и точности картографирования: общей, продюсера и пользователя

- расчёт отклонения площадей на построенной карте от проверочной карты для квадратов со сторонами, соответствующими минимальному размеру выдела в масштабе картографирования
- расчёт ошибки кросс-валидации для деревьев принятия решений
- смысловой анализ адекватности построенных деревьев принятия решений
- расчёт неопределённости картографирования в каждом пикселе с учётом расстояния в пространстве карт факторов почвообразования до центрального образа выделенного почвенного класса
- визуальное сопоставление с другими почвенными картами
- визуальное сопоставление с другими тематическими картами
- визуальное сопоставление с космическими снимками

#### 8. При необходимости – коррекция карты

- корректировка карт факторов почвообразования
- корректировка деревьев принятия решений
- корректировка обучающей выборки
- корректировка построенной почвенной карты

Таким образом, современные подходы к цифровому почвенному картографированию во многом основаны на использовании статистического и геостатистического моделирования для установления взаимосвязей между почвами и факторами почвообразования, что, по сути, представляет собой развитие идей В. В. Докучаева о почвах, как результате взаимодействия факторов почвообразования. Однако использование численного моделирования позволяет описывать качество установленных взаимосвязей и почвенных карт не

только качественно, но и количественно. Достаточно хорошо изучены методы оценки качества цифровых почвенных карт классов. Однако, для карт количественных почвенных свойств, для которых возможно использование обычных статистических методов оценки результатов, в действительности, пока нет общей методологии сравнения их друг с другом и, в целом, общепринятой оценки их качества с учётом пространственных ошибок.

Направление цифровой почвенной картографии во время своего зарождения методически во многом отделилось от традиционного почвенного картографирования и, в течение, нескольких десятилетий развивалась относительно обособленно. В результате, ряд продуктов с пространственной информацией о почвах в региональном и глобальном масштабах были построены на основе полностью статистических спорных подходов.

Возможно создание технологий, имитирующих или, другими словами, моделирующих традиционный процесс составления почвенных карт с помощью статистического и геостатистического моделирования, интегрирующие традиционные экспертные и численные методы. Удобство подобных технологий состоит в возможности одновременно экспертной и статистической оценки качества, возможности внесения и получения объективных экспертных данных.

Для реализации подходов и методов цифровой почвенной картографии наибольшую гибкость предоставляют свободные высокоуровневые языки программирования, такие как R и Python, однако многие подходы и методы могут быть реализованы и в традиционных геоинформационных системах: QGIS, ArcGIS, ILWIS и других.

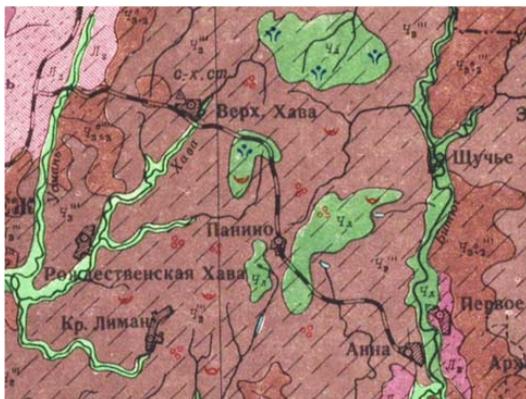
Существуют сложности с цифровым почвенным картографированием структуры почвенного покрова, а также с точным картографированием почв с использованием традиционных почвенных классификаций (КиДПП, WRB, Soil Taxonomy).

## МАСШТАБ В СОВРЕМЕННОЙ ПОЧВЕННОЙ КАРТОГРАФИИ

Традиционное картографирование почв является трудоемкой и дорогостоящей процедурой. Именно поэтому до сих пор во всем Мирове невозможно создание детальных или хотя бы крупномасштабных почвенных карт на большие территории. Это же является причиной того, что в традиционной (и не только почвенной) картографии является принятым выделение набора уровней обобщения (масштабов) для решения практических задач (Салищев, 1987). Так в советское время создание почвенных карт для решения производственных задач осуществлялось на уровне хозяйства (масштаб 1:10000–1:50000), на уровне административного района (масштаб 1:50000–1:100000), на уровне областей (масштаб 1:200000–1:500000) и на уровне всей страны (масштаб 1:1000000–1:4000000) (Долгова, 1979; Савин и др., 2015).

На каждом уровне обобщения почвенные карты создавались с использованием разных подходов. В основе создания крупномасштабных почвенных карт лежала крупномасштабная топооснова, иногда детальные аэрофотоснимки, а также результаты полевых обследований маршрутным или маршрутно-ключевым методами. Почвенные карты средних масштабов создавались в основном с использованием среднemasштабных топокарт, иногда результатов дешифрирования растительности и почв по космическим снимкам, а также результатов генерализации имеющихся крупномасштабных почвенных карт. Очень редко, но все же использовались результаты маршрутных наблюдений и обследований. Почвенные карты мелких масштабов всегда были концептуальными и составлялись преимущественно путем генерализации среднemasштабных почвенных карт и уложению результатов генерализации на мелкомасштабную топооснову (Долгова, 1979; Составление областных..., 1990).

А



Б



**Рис. 31.** Традиционная картографическая генерализация изображения почвенного покрова на почвенных картах

(А – фрагмент листа Государственной почвенной карты с показом сопутствующих почв внесматбными знаками;

Б – фрагмент геометрической части ЕГРПР России (2013) с утрированным изображением выделов аллювиальных почв (выдел показан стрелкой))

Необходимо отметить, что генерализация карт очень редко осуществлялась чисто механическим уменьшением контурной части карты до нужного масштаба. Этот процесс всегда был творческим, экспертным. Почвовед-картограф всегда пытался сохранить характерные особенности почвенного покрова той или иной территории и отразить их, пусть даже

и утрированно, на карте более мелкого масштаба. Так, к примеру, утрированно на картах мелкого и даже среднего масштаба показаны пойменные почвы многих рек, многие интразональные почвы. Часто не выражающиеся в масштабе карты, но важные для понимания строения почвенного покрова почвы, показывались на карте немасштабными знаками, которые могли быть как локализованными, так и равномерно распределенными по контуру карты (рис. 31).

Ситуация качественно изменилась с переходом на цифровые технологии создания и хранения почвенных карт (Берлянд, 1997, 2006; Кошкарев, Зинчук, 1990; Лурье, 1997). На первом этапе развития этих технологий бумажные почвенные карты, созданные традиционно, векторизовались, а их легенда превращалась в атрибутивную часть получаемой почвенно-географической базы данных (Столбовой, 1993).

Уже на этом этапе появилась возможность представления и распечатки векторных почвенных карт в ГИС в любом масштабе. То есть, любую изначально крупномасштабную карту можно было показать на экране монитора или распечатать в мелком масштабе и наоборот. При этом, конечно же, увеличение мелкомасштабной почвенной карты до крупного масштаба не приводило к увеличению ее информативности и точности, а сильное уменьшение крупномасштабных карт вело к оптической генерализации мелких выделов, излишней изрезанности границ и потере части информации. При этом в базе данных ГИС вся информация хранилась в неизменном виде и никак не изменялась (Савин, 2004).

Дальнейшее «размывание» традиционного понятия масштаба почвенных карт произошло при переходе от векторных почвенных карт к растровым при попытках использования цифровых спутниковых данных для картографирования почв (Korolyuk, Shcherbenko, 1994; Кравцова, 2000) и при развитии методов так называемого «цифрового» картографирования почв (Цифровая почвенная..., 2012; Кравцова, 2014).

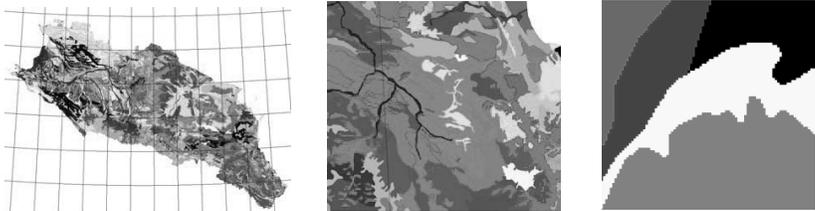
Известно, что растровые карты отличаются от векторных тем, что элементарной пространственной единицей информации на растровой карте является пиксель, а на векторной – непосредственно почвенно-географический выдел. То есть, в базе данных ГИС хранится информация о почвах именно этих объектов (выдела или пикселя). И как бы ни изменялся масштаб визуализации карты, информация в базе данных ГИС не прирастает и не исчезает. А уровень генерализации представленной на карте информации определяется тем, каков размер пикселя (на растровой карте) и минимального выдела (на векторной карте), и какая информация о почвенном покрове к ним привязана, а не масштабом, в котором карта визуализирована на экране монитора или выведена на печать.

Из вышесказанного следует несколько важных заключений:

*1. Уровень генерализованности цифровой почвенной карты определяется не масштабом ее представления и визуализации, а уровнем обобщения исходной информации, которая служила в качестве основы для создания карты.*

Если векторная почвенная карта создавалась путем оцифровки (векторизации) традиционно составленной бумажной почвенной карты известного масштаба, то уровень генерализованности представленной на ней информации полностью соответствует уровню генерализованности исходной почвенной карты. Если почвенная карта изначально создана на основе растровой информации, то уровень генерализованности информации о почвенном покрове определяется размером пикселя и той информацией о почвенном покрове и почвах, которая к нему привязана.

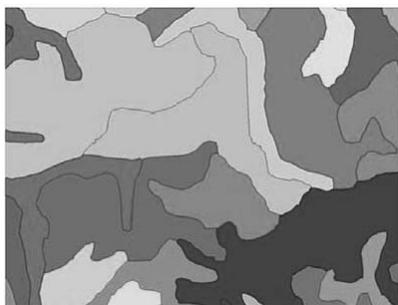
Компьютерная техника в настоящий момент позволяет визуализировать (на экране монитора или в виде распечатки) цифровую карту в любом масштабе, но количество отраженной на карте информации и уровень ее обобщения при этом не изменяются (рис. 32).



**Рис. 32.** Цифровая почвенная карта Северного Кавказа (Драгавцева и др., 2016) и ее фрагменты (слева в масштабе 1:5 млн (нанесена градусная сетка), в центре – увеличено до масштаба 1:500000, справа – увеличено до масштаба 1:50000).

Конечно же, пользователь видит визуальную разную картину. Но при этом информация в базе данных ГИС остается и хранится в неизменном виде при любом варианте визуализации. И для цифрового анализа почвенных данных это наиболее важно.

2. Для растровых почвенных карт более логично оперировать понятием «размер пикселя» вместо «масштаб». Для векторных почвенных карт важнее указывать масштаб исходной почвенной карты (которая была векторизована), а не масштаб их визуализации.



**Рис. 33.** Фрагмент контурной части векторной почвенной карты исходного масштаба 1:2500000, визуализированный в масштабе 1:300000

Масштаб визуализации карты также может быть указан, но он не будет нести той информации об уровне генерализованности карты, которую он имеет на традиционной бумажной почвенной карте (рис. 33).

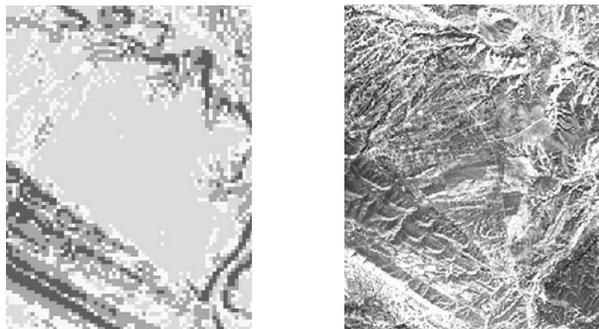
То, что фрагмент карты на рисунке 31 визуализирован в среднем масштабе, не означает, что карта действительно среднемасштабная. Уровень генерализации отображения на ней почвенного покрова остается мелкомасштабным. И именно для того, чтобы можно было это понять, необходимо указывать масштаб исходной почвенной карты.

*3. При создании растровых почвенных карт нельзя использовать исходные материалы разных масштабов без их приведения к единому уровню генерализованности.*

Современные цифровые технологии открыли широкие возможности для одновременного, сопряженного, анализа любой пространственной информации. То есть, при создании цифровой почвенной карты могут быть собраны в единую базу данных ГИС все имеющиеся карты отдельных факторов почвообразования, данные дистанционного зондирования и результаты их анализа, архивные почвенные карты и т. п. Все эти пространственные данные могут быть приведены к единой географической проекции и совмещены друг с другом (наложены друг на друга).

Но уровень генерализованности информации на этих первоисточниках может оставаться разным. Так, например, в последние годы для анализа рельефа местности часто используют цифровые модели SRTM с пространственным разрешением (размером пикселя) 90 метров (<http://srtm.csi.cgiar.org/>). Но анализировать эти данные совместно с космическими изображениями с размером пикселя 1–2 метра (и даже 10–20 метров) вряд ли правильно без предварительной генерализации спутниковых данных. Это связано с тем, что объекты, которые хорошо дешифрируются по спутниковым данным свервысо-

кого пространственного разрешения, на SRTM часто генерализованы. Поэтому совместный анализ этих двух источников данных может привести к неправильным выводам и моделям пространственной организации почвенного покрова. Например, по данным SRTM участок представляет собой ровную территорию (рис. 34).



*Рис. 34. Уклоны тестового участка по SRTM (размер пикселя 90 метров, слева, зеленым цветом показаны уклоны менее 2 градусов) и изображение Landsat (размер пикселя 30 метров)*

Но на космическом изображении Landsat на этом участке (рис. 33. справа) четко видны эрозионные неоднородности. В этом случае совместный анализ этих источников может привести к ошибочному выводу, что эродированные почвы расположены на ровной поверхности, а не на крутых склонах.

Также часто встречаются случаи, когда по SRTM детектируются крутые склоны, но на спутниковых изображениях на них видны потяжины с переувлажненными почвами. И совместный анализ этих данных может привести к ошибочному заключению, что переувлажненные почвы приурочены к крутым склонам.

Отсюда следует, что при анализе данных с разным пространственным разрешением, они должны быть изначально

приведены к одному уровню обобщения информации, либо более детальная информация должна быть сначала проанализирована, а затем результаты анализа - генерализованы, после чего станет возможным совместный анализ данных.

*4. Масштаб визуализации цифровой почвенной карты не важен при компьютерном (цифровом) прикладном анализе почвенных данных.*

Прикладной анализ почвенных данных (например, при оценке пригодности почв и земель) в ГИС проводится в большинстве случаев на уровне пикселя. Даже в случае использования векторных почвенных карт они, как правило, сначала трансформируются в растровый формат. Это делается потому, что прикладной анализ почвенной карты в большинстве случаев проводится совместно с другими пространственными слоями информации; чаще всего информации о рельефе и о климате территории (Савин, 2004; Иванов и др., 2014). И совмещение всех этих пространственных данных наиболее рационально проводить именно на пиксельном уровне. То есть, например, для геоинформационного анализа пригодности земель какой-либо территории для возделывания той или иной культуры создается база данных, включающая в себя пространственные слои параметров почв, рельефа, климата, которые приводятся к единой географической проекции и к единому размеру пикселя. Их пересечение друг с другом ведет к карте, к каждому пикселю которой привязаны в качестве атрибутов все параметры, имеющиеся в базе данных (почвенные, рельефа и климата). И по-сути, в этом случае, пространственным объектом оценки на основе созданного пользователем алгоритма является каждый пиксель. Из этого следует, что не в зависимости от того, в каком масштабе информация визуализируется на экране монитора или распечатывается на бумаге, оценка ведется по-пиксельно и степень генерализованности информации зависит от размера пиксе-

ля, а не от того, в каком масштабе данные визуализированы на экране монитора компьютера.

Таким образом, одной из особенностей перехода от традиционной почвенной картографии к цифровым технологиям составления и использования почвенных карт является качественное изменение как понятия «карта», так и понятия «масштаб карты». Под картой в цифровой картографии понимается пространственно-координированная база данных, которая может состоять из многих слоев информации и может быть визуализирована в любом масштабе.

Масштаб традиционно составленных бумажных почвенных карт имеет большое значение для понимания смысловой нагрузки карты и степени ее генерализованности. При использовании цифрового картографирования почв понятие «масштаб» теряет свое значение, так как уровень генерализованности информации о почвах в этом случае определяется не тем, в каком масштабе карта визуализирована на экране монитора компьютера или распечатана, а тем, с каким размером пикселя карта создана (в случае растровых карт) или тем, какая карта служила основой для создания векторного слоя почвенной карты.

Для растровых почвенных карт более логично оперировать понятием «размер пикселя» вместо «масштаб». Для векторных почвенных карт важнее указывать масштаб исходной почвенной карты (которая была векторизована), а не масштаб их визуализации.

Масштаб визуализации цифровой почвенной карты не важен при компьютерном (цифровом) прикладном анализе почвенных данных.

При создании растровых почвенных карт нельзя использовать исходные материалы разных масштабов без их приведения к единому уровню генерализованности.

Все это необходимо учитывать при использовании цифровых технологий картографирования почв.

## ГЕОРАДАРНЫЕ МЕТОДЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПОЧВ

Принцип действия георадара основан на зондировании электромагнитными импульсами земной поверхности на различную глубину и восстановлении картины раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью по отраженному сигналу (Резников и др., 2000; Методические рекомендации..., 2003; Подповерхностное зондирование..., 2012). Такой подход можно рассматривать в качестве одного из направлений гносеологического познания природных объектов, в том числе и почвенного покрова, и формирования картины пространственной организации территории. Механизм такой организации, её векторная составляющая важны для реализации создаваемых управленческих моделей природных объектов. Именно фактор универсальности, малой затратности, высокой скорости проведения полевых исследований может явиться приоритетом в использовании данного направления в реализации различных экономических, экологических, природоохранных проектов страны.

За последние десятилетия, у нас в стране и за рубежом, метод георадиолокации уверенно занял достойное место среди неразрушающих методов исследования и мониторинга подповерхностных сред. Специалистами накоплен огромный опыт, как в проведении полевых работ, так и в приёмах обработки и интерпретации георадиолокационных данных (Владов, Старовойтов, 2001; Калинкевич и др., 2007; Любушкин, 2007; Fisher, 2013).

Интерес за рубежом к использованию подповерхностного радиолокационного зондирования Ground Penetrating Radar (GPR) не являлся стабильным. Выйдя из стадии лабораторных разработок, GPR в семидесятые годы привлёк к себе внимание, которое потом ослабло примерно на 10 лет. Затем, в середине 80-х годов в связи с бурным развитием электро-

ники, вычислительной микропроцессорной техники и одновременным ростом потребностей в инженерной разведке интерес к GPR снова возрастает, но, натолкнувшись на несовершенную технику обработки, снова несколько снижается. За последние три года интерес к использованию GPR находится в стадии постоянного бурного роста. Бурно развивается аппаратурная база. Ведущими фирмами, занимающимися производством георадаров, являются GSSI (Нью Гемпшир, США), Sensor and Software Inc. (Канада), Era Technology (Великобритания), MALA (Швеция), Radar Systems (Латвия), OYO corporation (Япония), Geozondas (Литва).

В СССР первый наземный радиолокатор с ударным возбуждением антенн был разработан в 1976–1977 годах в проблемной лаборатории Рижского Краснознаменного института инженеров гражданской авиации (РКИИГА). Подобные работы велись также в Ленинградском Арктическом и Антарктическом Научно-исследовательском институте (ЛААНИИ).

В середине 90-х годов НПО «ИНФИЗПРИБОР» (г. Троицк Московской области) разработало переносной георадар «Грот» характеризующийся повышенной мощностью и имеющий дипольные неэкранированные антенны.

Правдинским заводом радиорелейной аппаратуры малой серией выпускался георадар «Локас-2», который базировался на шасси грузового автомобиля.

С конца 80-х годов начались работы по созданию портативных георадаров в ООО «Логические системы» совместно с НИИ Приборостроения им. В.В.Тихомирова (г. Жуковский, Московской обл.). В разработке антенн георадаров приняли участие специалисты кафедры распространения радиоволн МФТИ. За это время было выполнено несколько НИР и ОКР в интересах различных ведомств. Среди них можно выделить разработку портативного георадара для обследования однородных грузов в таможенных органах РФ (шифр ОКР «ОКО»

и «ЗОНД»). Созданный прибор представлял собой портативный георадар со сменными антенными блоками АБ-700 и АБ-1200, имеющими средние частоты 700 и 1200 МГц соответственно. Эта разработка послужила основой, на базе которой в дальнейшем был разработан и начал выпускаться ряд георадаров сначала типа «ОКО-М» с антенными блоками АБ-500, АБ-400, АБ-250, АБ-150 и АБД (дипольный вариант, шифр ОКР «ГЕОН»), а затем ряд георадаров «ОКО-М1».

Георадар «Лоза», являясь продолжением серии «Грот», относится к лучшим мировым образцам данного типа приборов. Основной характерной чертой георадара «ЛОЗА», как и всех георадаров серии «ГРОТ», является высокий реальный потенциал зондирования (не хуже 120 дБ), что позволяет успешно выполнять обследование в самых сложных грунтах (влажных глинах).

Георадары серии «ЛОЗА» запатентованы, патент Комитета РФ по патентам и товарным знакам № 2205424 от 29 декабря 2001 года и имеют сертификат соответствия и санитарно-эпидемиологическое заключение №77.ФУ.02.401.П.000327.04.02 от 02.04.2002.

Области применения георадарных обследований обширны – геология, строительство, археология, экология и др. (Методические рекомендации..., 2003). Однако, в почвоведении таких работ мало (Воронин, Фрид, 1991; Золотая и др., 2004; Воронин и др., 2013; Воронин, 2015). Это связано со спецификой функционирования почвенного тела, как целостного образования с определенным генетическим профилем, системой почвенных режимов и плодородием.

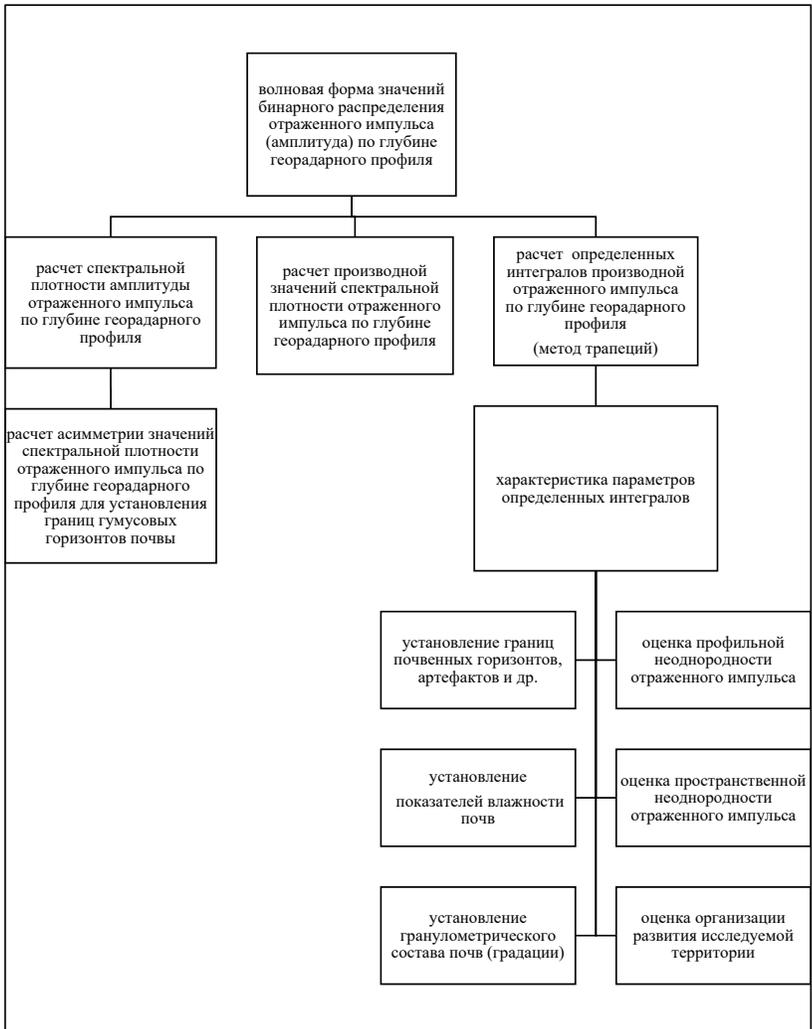
Одной из основных причин, препятствующих широкому распространению георадарных технологий в почвоведении, является неясность интерпретации данных, отсутствие методов идентификации почв, требующая на современном этапе привлечения высококвалифицированных специалистов.

Практически во всех программах обработки георадарных данных предусмотрен стандартный набор приёмов цифровой обработки сигналов – частотная фильтрация, вычитание среднего, сглаживание, обострение, выделение огибающей сигналов, настройка параметров визуализации и т. п., а в некоторых «Георадар-эксперт» реализована возможность автоматизированного выделения и анализа поля обратного рассеяния и построения разреза по целому ряду атрибутов волнового поля и параметров исследуемой среды, вычисленных на основе данных атрибутов (Денисов, Капустин, 2010). Но этого недостаточно для выделения значимых критериев идентификации почв при анализе динамических характеристик радарограмм.

Использование георадара для картографирования и мониторинга почв состоит из комплекса полевого профилирования и зондирования почвенно-грунтовой толщи на глубину до нескольких метров, различных стадий и методов обработки и интерпретации георадиолокационных сигналов, необходимых для оценки строения и состояния почвенного покрова, объяснения пространственной и временной вариабельности почвенных свойств, предсказания трендов развития (направления) в будущем. Схема обработки данных георадарного профилирования приведена на рисунке 35.

Предварительная обработка включает выполнение следующих процедур: а) удаление реализаций или выявление интервалов реализаций с бракованной записью; б) выбор нулевой линии отчета по глубине (определение поверхности исследуемой среды);

- привязка георадарограмм к картографической подоснове и их масштабирование;
- коррекция (регулировка) амплитуд волн;
- фильтрация аппаратурных электрических шумов систематического и случайного характера.



*Рис. 35. Схема обработки данных георадарного профилирования для целей почвенных исследований*

Анализ, обработка георадарного разреза и подготовка отчетного представления осуществляется в специализированной программе КРОТ, поставляемой фирмой изготовителем георадара «Лоза-В» (Резников и др., 2000; Подповерхностное зондирование..., 2012). Алгоритм обработки в программе «Крот» включает:

- установку параметров георадарных профилей (блок 2);
- цифровую фильтрацию данных (блок 3);
- вычисление средней скорости распространения волны в грунте (блок 4);
- ручную прорисовку нижней границы слоев с разной диэлектрической проницаемостью (блок 4);
- перевод георадарных данных в формат TXT, Surfer dat и др.

Режим цифровой фильтрации, в этой же программе, реализован в двух опциях вертикальной и горизонтальной одномерной фильтрации.

Проводятся:

- одномерная фильтрация по временной шкале задержек (вертикальная фильтрация) реализует опция «фильтр 1».
- одномерная фильтрация по точкам  $j$  каждого временного пакета  $i$  (горизонтальная фильтрация) реализует опция «фильтр 2».

Фильтрации выполняются по стандартной процедуре прямоугольным фильтром (скользящее среднее).

Первичная интерпретация результатов георадарного зондирования представляет собой процесс построения временного разреза радарограммы и преобразования его в глубинный (Денисов, Капустин, 2010):

а) *Построение временного разреза* базируется на получении достоверной информации о временах прихода полезных волн на георадарограмме. Эта задача решается посредством процедуры корреляции волн. Знание приближенного времени про-

бега волны по траектории передатчик – граница - приемник и фазы волны на границе, позволяет выделить временные координаты осей синфазности волн, соответствующих отражениям от основных границ дорожной одежды. Линию, соединяющую одинаковые фазы одной и той же волны на разных реализациях, называют *осью синфазности*.

б) *Преобразование временного разреза в глубинный.*

– для преобразования временного разреза в глубинный необходимо знать скорости распространения электромагнитных волн по слоям на частоте зондирования. Используют несколько способов определения скоростей электромагнитных волн в разрезе радарограммы.

Для получения информации об изменчивости состава необходимо проанализировать динамические характеристики волнового поля. Этот анализ выполняется в рамках выявления пространственно-временных возмущений волнового поля, восстановления точек дифракции, соответствующих локальным объектам, определения частотных спектральных характеристик возмущений электромагнитных нерегулярных полезных волн.

Результаты зондирования в волновых формах при открытии в программе КРОТ представляются красочной цветной картинкой. Палитра из 128 цветов отражает амплитуду сигнала: максимальная амплитуда «+» фазы (условно) передается красным цветом, минимальная амплитуда «-» фазы отражается черно-фиолетовыми оттенками палитры. Цветовое представление позволяет получить наглядную картину амплитудно-фазовых характеристик георадарного разреза.

*Метод полиномиальных функций предусматривает расчет тренда изменений амплитуды.*

Тренд, или тенденция  $f(t)$ , представляет собой вероятностную устойчивую закономерность, наблюдаемую в течение определенного периода времени. При георадарном профилировании разрешение экрана составляет 512 нс. Обычно тренд

(тенденция) описывается с помощью той или иной функции  $f(t)$ , аргументом которой является время, как правило, монотонной. Тренды могут быть описаны различными уравнениями – линейными, логарифмическими, степенными и т. д. В нашем случае рассматриваются полиномиальные функции первого и второго порядка.

Расчет проводится в программе Крот, Excel, Statistica. Подстановкой в модель (уравнение тренда) соответствующего значения фактора времени проводится точечный прогноз. Прогнозирование методом экстраполяции базируется на предположениях затухания амплитуды импульса описывающегося плавной кривой и учета случайности, которая позволяет оценить вероятность отклонения от закономерного развития.

Выделяют нисходящие и восходящие типы трендов, которые отражают изменение полярности амплитуды отраженных импульсов в подповерхностной среде отдельных георадиолокационных трасс.

Среди причин появления смены фаз сигнала при прохождении трассы выделяются электродинамические законы прохождения зондирующих импульсов в неоднородной среде, а также усложнения системы за счет появления или удаления нового рассеивающего слоя.

Визуальный анализ результатов исследований георадарных профилей, проведенный на большом экспериментальном материале показал, что уже на этом этапе интерпретации радарограмм можно говорить, что они отражают неоднородности почвенного профиля, дают возможность получать предварительные умозаключения по установлению вероятностных функций связей почвенных свойств с амплитудами отраженных электромагнитных сигналов и соответственно группировать радарограммы для дальнейшего построения прогностических моделей пространственного распределения этих свойств.

Анализ обобщенных временных рядов показал, что в определенных участках спектра зондирующий сигнал затухает гораз-

до слабее, что позволяет зондирующему импульсу проникать на глубины большие, чем допускает теория, предполагающая стационарность коэффициента диэлектрической проницаемости и его простую зависимость от частоты волны. Оказалось, что наиболее четко и просто оценка отклонений может быть проведена по изменению асимметрии отраженного импульса в различных пространственно-временных точках. Преимущество подхода состоит в том, что известна заданная норма – степень асимметрии отраженного сигнала равная единице, отклонения от которой и может являться потенциальным индикатором.

*Применение спектрального анализа* позволяет разложить электромагнитный сигнал, создаваемый источником, на более простые составляющие. Такой процесс называется анализом Фурье (spectral (Fourier analysis)). Среди атрибутов спектрального преобразования выделяется параметр спектральной плотности сигнала (spectral density), т.е. его распределение в частотной области, состоящей из многих близких частот, которые вносят наибольший вклад в периодическое поведение всего ряда длительности импульса. Чтобы убрать случайные колебания, периодограмму сглаживают, например, методом взвешенного скользящего среднего. Показатели спектральной плотности являются в целом достаточным условием для выявления почвенных границ верхней части георадарного профиля, совпадающих с гумусовыми горизонтами.

Апериодичность электромагнитного импульса в подповерхностной среде обуславливает применение нетрадиционных статистических методов в интерпретации его поведения по глубине. Непараметрические статистические методы позволяют справиться с поставленными почвенными задачами (Дмитриев и др., 1974).

*К ним относятся и расчеты производной и определенного интеграла* выделенных периодов спектральной плотности отраженного импульса в подповерхностной среде при длительности сигнала 512 нс:

$$f'(x) = \frac{f_{(i+1)} - f_{(i)}}{(x_{(i+1)} - x_{(i)})}$$

$$\text{и } \int f(x) = \sum f(x_i)(x_{i+1} - x_i) + (f(x_{i+1}) - f(x_i))(x_{(i+1)} - x_{(i)})/2$$

Каждый из выделенных горизонтов представляет собой слой, имеющий специфическую периодическую последовательность пиков в затухающем амплитудном спектре суммарного отраженного импульса от кровли до подошвы этого пласта. Сколько периодов спектральной плотности в интегральном выражении – столько слоев подповерхностной среды. Ширина периода – гранулометрический состав в минеральных почвах; в органических горизонтах – мера разложения. Значения производной и определенного интеграла периодов спектральной плотности - характеристика плотности сложения слоя и его влажность. Расчет тангенса производной – критерий выделения слоев в подповерхностной толще.

Такой универсум основан на учете приращений первообразной функции распределения импульса на определенной отрезке его длительности и включает расчеты производной и определенных интегралов периодов спектральной плотности отраженного импульса по всей глубине длительности в 512 нс. Только этот метод позволяет получать истинные значения границ неоднородностей, совпадающих с границами почвенных слоев, устанавливать степень влажности и интервалы оценки гранулометрического состава почв.

*Аналитический метод оценки вектора трансформации почвенного покрова по фрактальным параметрам отраженных сигналов трасс георадиолокационного профилирования территории.*

В качестве статистического аппарата фрактального анализа данной функции можно использовать программу Fractan по которой проводится расчет показателя Херста. Величина  $0.5 < H \leq 1$  этого показателя соответствует фрактальной размерности, более близкой к кривой линии. Это персистентный

ряд, дающий гладкую, менее зазубренную линию, чем случайное блуждание. Чем выше данная величина, тем мощнее выражена транзитная зона потока.

*Аналитический метод оценки пространственной однородности ПТК по критериям схожести и различий параметров отраженных сигналов трасс георадиолокационного профилирования территорий.*

Статистическая обработка помимо расчета средних значений, стандартных отклонений, показателей вариабельности распределения амплитуды отраженных сигналов единичных временных рядов радарограмм включала и расчет корреляционных матриц зависимости распределения амплитуды отраженных импульсов в подповерхностной среде длительносью 256 нс соседних георадарных временных рядов (кадров) и их кластерный анализ, который основан на использовании иерархического агломеративного метода.

Задачей кластерного анализа является выделение групп временных рядов, имеющих общие свойства. Критерием для определения схожести и различий кластеров является расчет расстояний между рассматриваемыми объектами на диаграмме рассеивания. Наиболее распространенным методом расчета расстояния между объектами ( $D_{ij}$ ) является вычисление Евклидова расстояния между двумя соседними объектами  $i$  и  $j$  на плоскости с известными координатами  $X$  и  $Y$ . В широком смысле расстояния являются отражением такого понятия как различие, что двойственно понятию сходства. Неоднородность выявляют путем сопоставления элементов множества в отношении некоторого свойства, установления мер сходства (близости межкластерного расстояния) и связи между элементами.

Если элементы неразличимы по изучаемому свойству (малые величины межкластерного расстояния характеризуют высокую степень сходства кадров), то объект считают однородным. Если меры сходства высокие, а характер мер свя-

зей элементов различен, то объект по изучаемому свойству неоднороден. Это несколько рекламный подход к анализу неразличимости, тождественности и, конечно, универсальности. Используя данные георадарного профилирования можно добиться более глубокого взгляда на проблему универсалий и, таким образом, истинность умозаключений не будет связана с баталией номиналистов, реалистов и т. п.

Многолетние исследования возможностей использования георадара на практике показали его эффективность для картографирования влажности почв, детектирования мощности торфяной толщи, определения глубины залегания подстилающих пород, определения мощности гумусового горизонта в черноземах. По-видимому, это только малая толика того, что потенциально из свойств почв может быть определено по результатам георадарного профилирования. Но для указания на конкретные свойства почв и почвенного профиля на настоящий момент нет достаточного количества достоверных данных.

В качестве примеров использования данных георадарного профилирования для идентификации строения профиля почв и их свойств приведем результаты наших двух исследований за последние годы.

В 2015 году были проведены исследования возможностей использования георадара в условиях российской Арктики (район Нарьян-Мара).

На трех тестовых участках были установлены глубины залегания грунтовых вод, наличие линз льда в профиле, мощность торфов, границы сезонной и вечной мерзлоты, гранулометрический состав минеральной части подповерхностной среды.

Морфометрические характеристики биоценозов болотных комплексов рассматривались в совокупности с морфогенетическими особенностями абиотических факторов среды формирования данного типа болот в пределах местного водосбора изучаемой экосистемы. Профиль рельефа водосбора участка лесотундры представляет ясно выраженную асимметричную

котловину с перепадом высот до 3 м. Отмечаются мягкие перепады высот при компактной площади водосбора участка.

В краевой части Большеземельской тундры болотный комплекс приурочен к дренированной наклонной равнине со значительной площадью водосбора. Форма понижения – корытообразная котловина с превышением высот в поперечнике (7 км) до 18 м. Понижение асимметричное, имеет меридианное простираие. На участках рельефа с выраженными уклонами поверхности наблюдается закономерное возрастание активной инфильтрации. Общая дренированность территории высокая. Инертные участки водосбора со слабопроточной инфильтрацией значительны. «Бессточных» ареалов занятых комплексом плоскобугристых болот насчитывается более 20 массивов. Именно здесь и имеет место локальное развитие деградации болот. Стадии инверсии включают:

- деградацию межбугрового понижения с отложением или отсутствием переходного торфа;
- разрушение склона бугра;
- вытаивание льда под вершиной бугра и его погружение в топь (Батуев, 2012).

Результатом обработки данных георадарного зондирования, полученных на стадии полевого профилирования на изучаемом участке, является база данных, включающая в себя информацию о прохождении отраженного сигнала по каждому метру реального подповерхностного пространства в точках стояния антенны.

Основная информация о среде заключена в амплитуде отраженного импульса, его полярности, времени задержки и ширине осцилляций. На амплитуду, полярность и время задержки влияют геометрические размеры слоев и их параметры  $\varepsilon$ ,  $\sigma$ , а на ширину осцилляций – ширина границы. Выделены границы слоев разного гранулометрического состава – суглинки и пески, определены границы торфяных го-

ризонтов, границы сезонной и вечной мерзлоты, линзы льда, переувлажненных и водонасыщенных песков (рис. 36–38).

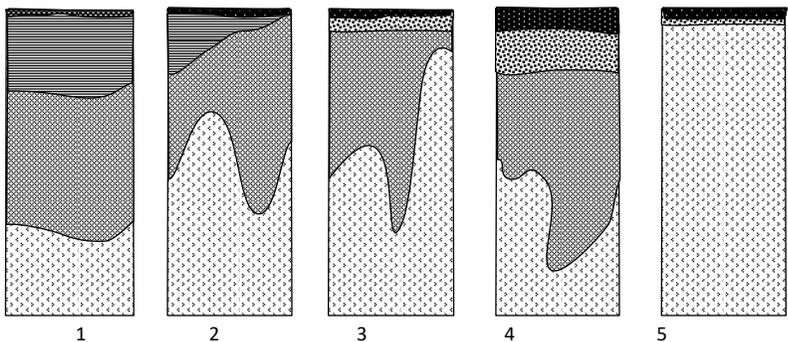
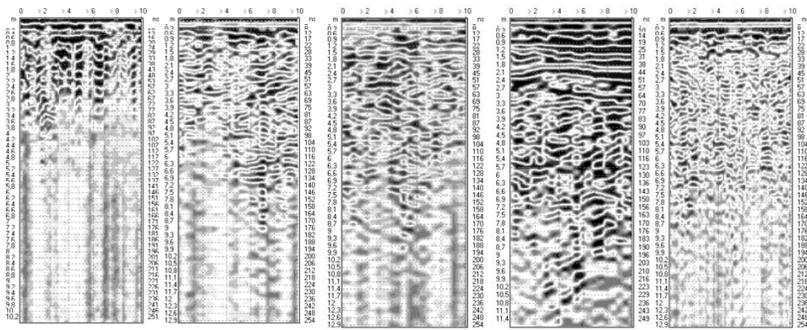
Некоторые показатели мощности выделенных слоев и пластов содержатся в таблице 13.

Таблица 13

**Показатели мощности выделенных слоев и пластов**

показатели	Номера трасс георадиолокационного зондирования для рассматриваемых ландшафтов экосистем					
	1		2		3	
	"кормящий" ландшафт	"вмещающий" ландшафт	"кормящий" ландшафт	"вмещающий" ландшафт	"кормящий" ландшафт	"вмещающий" ландшафт
суглинки	0	-	0	-	-	-
пески	300	45	300	50	0	50
Мощность торфа (бугры)	-	45	0	120	-	80
В. т. ч. Мерзлый торф	-	-	-	70	-	30
Сезонная мерзлота	700	50	600	50	600	50

Предложенный метод интерпретации данных (метод полиномиальных функций трендовых значений амплитуды сигнала на произвольный отрезок времени отражения сигнала по глубине георадарного профиля) – это один из способов статистической идентификации подповерхностных структур при георадарном профилировании в одной точке (трассе). Высокая эффективность этого метода при идентификации динамических объектов в условиях сильной зашумленности сигнала, какими являются песчаные и мерзлые грунты, обуславливает его использование.



Номера профилей

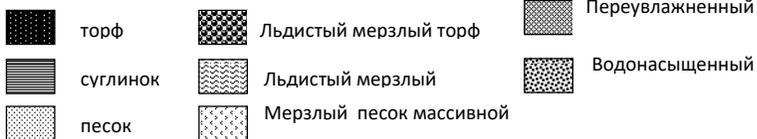
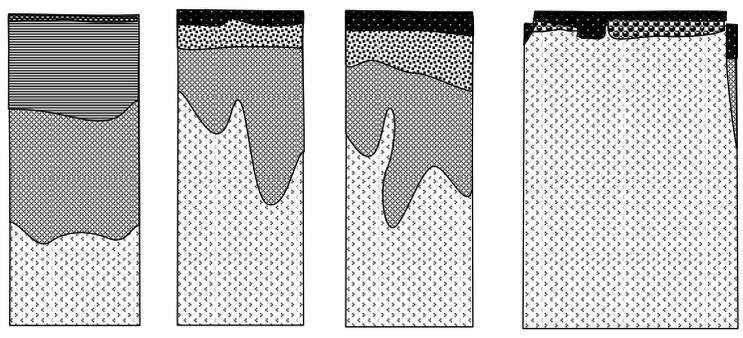
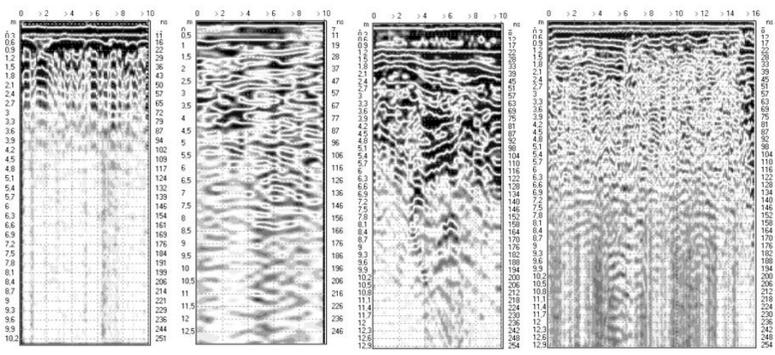
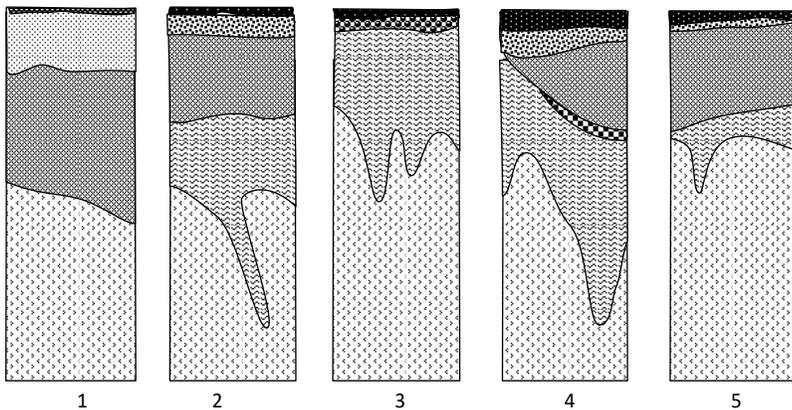
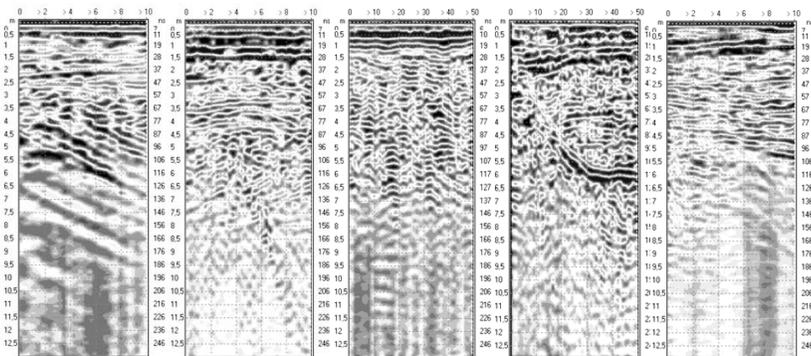


Рис. 36. Георадарные профили трассы 1 и их интерпретация



*Рис. 37. Георадарные профили трассы 2 и их интерпретация*



Номера профилей

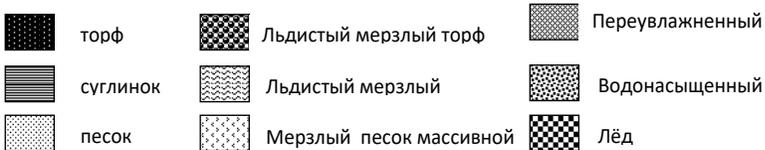


Рис. 38. Георадарные профили трассы 3 и их интерпретация

Метод полиномиальных функций предусматривает расчет тренда изменений амплитуды. Тренд, или тенденция  $f(t)$ , представляет собой вероятностную устойчивую закономерность, наблюдаемую в течение определенного периода времени. При георадарном профилировании разрешение экрана составляет 512 нс. Обычно тренд (тенденция) описывается с помощью той или иной функции  $f(t)$ , аргументом которой является время, как правило, монотонной. Тренды могут быть описаны различными уравнениями – линейными, логарифмическими, степенными и т. д. В нашем случае рассматриваются полиномиальные функции первого и второго порядка.

Расчет проводится в программе Крот, Excel, Statistica. Подстановкой в модель (уравнение тренда) соответствующего значения фактора времени проводится точечный прогноз.

Для склоновых участков исследуемых первой и второй трасс георадиолокационного зондирования характерно наличие с поверхности суглинистого плаща, перекрывающего мощные толщи песков различного происхождения. Глубина проникновения электромагнитного сигнала определяется мощностью этого суглинистого чехла и глубиной криолитозоны в песчаных отложениях (более 7 м). Угловой коэффициент функции затухания сигнала в таком регионе (трасса 1, профиль 1) достаточно высокий  $\alpha^\circ = 1,2^\circ$  и при достаточной крутизне обеспечивает высокую скорость проникновения сигнала в подповерхностной среде. Вектор направленности – восходящий. Георадарный профиль 3 трассы 1 характеризует сами бугры массива плоскобугристого болота. Вектор направленности меняется на нисходящий. Угловой коэффициент показывает крутизну наклона прямой ( $\alpha^\circ = 2,3^\circ$ ), что обуславливает усиление затухания импульса с глубиной. Значительная мощность и близкое залегание к поверхности уровня сезонной мерзлоты и обуславливает толчок этому процессу. Мощность торфа незначительна. Необходимым компонентом болотного массива являются мочажины. Процесс протаивания

мерзлоты характеризует увеличение и глубины проникновения электромагнитного сигнала вслед за растаявшей мерзлотой. Отмечается самый низкий наклон линии графика расчетной функции к оси абсцисс ( $\alpha^\circ = 0,5^\circ$ ).

Сравнение векторов направленности линий графиков изменения параметров амплитуды импульса по глубине зондирования при частоте 100 МГц на других трассах показывало уменьшение мощности отраженного сигнала и его скорости затухания в профилях бугристого болота 3 трассы. Оптимальные условия водного режима территории обуславливают сохранение инерционного режима роста бугров и увеличение торфяного горизонта. Сохраняется низкий уровень variability сезонной мерзлоты. В мочажинах появляются значительные линзы льда на границе вечной мерзлоты.

Вторая трасса зондирования, также, как и первая, в склоновой части перекрыта суглинками. Отмечается восходящий тип зависимости роста значений амплитуды от глубины профилирования. В болотном комплексе отмечается зависимость мягкого затухания сигнала с глубиной. Признаки деградации бугров выражены сильно. Наблюдается рост мочажин и вложенных мочажин.

Таким образом, исследования показали, что каждый из выделенных горизонтов представляет собой слой, имеющий специфическую периодическую последовательность пиков в затухающем амплитудном спектре суммарного отражения импульса от кровли до подошвы этого пласта. Изменчивость мощности его рассчитываются через амплитудные максимумы этого горизонта. Максимум модуля принятой реализации параметров амплитуды является основным критерием идентификации выделения границ почвенных горизонтов.

В 2016 году были проведены исследования возможности определения мощности гумусового горизонта пахотных черноземных почв на примере ключевого участка в Тульской области.

Объектами исследований являлись пахотные оподзоленные черноземы в условиях парового поля Тульского НИИСХ (Плавский район Тульской области). На поле преобладают черноземы оподзоленные среднемощные среднесуглинистые сформированные на лессовидных суглинках. В понижении верховья балки они сменяются намытыми почвами, а на склонах мезорельефа – черноземами в различной степени смытыми.

В момент исследований (июль 2015 года) почвы поля были вспаханы на глубину до 25 см, растительность и стерня на поверхности отсутствовали.

Георадиолокационное профилирование проводилось в репрезентативных точках, выбранных с учетом рельефа и почвенной карты. Всего было отобрано 12 точек. Необходимо отметить, что точки 11 и 12 были заложены не на поле, а в соседней с полем лесополосе. Географические координаты георадиолокационного профилирования определялись в поле прибором Garmin GPSmap 76CS. Профилирование проводилось георадаром «Лоза-В» с частотой 100 Мгц. В каждой точке проводилось 30 георадарных отсчетов.

Анализ и обработка данных георадарного профилирования осуществлялась в специализированной программе «Крот» (Подповерхностное зондирование..., 2012).

Определение мощности гумусового горизонта в точках георадарного профилирования проводилось бурением. Нижняя граница гумусового горизонта определялась визуально по окраске и слоению. То есть, фактически определялась нижняя граница горизонта переходного горизонта АВ, а под мощностью гумусового горизонта в данном контексте (и ниже) имеется ввиду суммарная мощность горизонтов А и АВ.

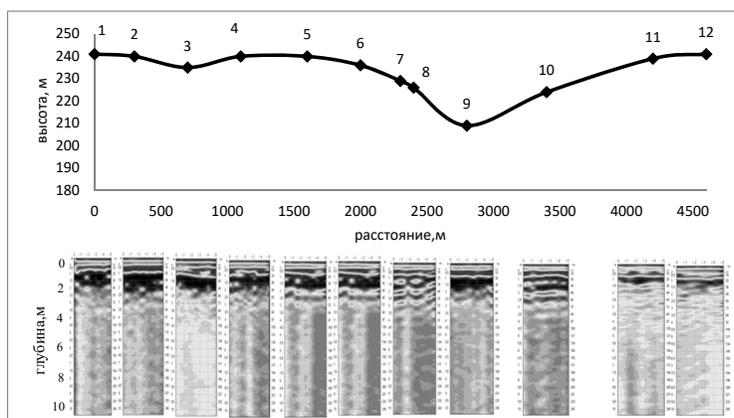
Как показали результаты бурения, мощность гумусового горизонта почв на поле варьирует в среднем от 45 до 59 см, уменьшаясь на смытых почвах потяжин и мезосклонов рельефа.

На рисунке 39 представлено распределение амплитудно-фазовых характеристик георадарного разреза почвенного

профиля по точкам профилирования. Судя по рисунку, на территории опытного поля выделяются участки резкого изменения распределения амплитуд сигналов по глубине профиля, связанных с векторами движения поверхностных водных потоков – группа точек № 3, 8, 9, 10.

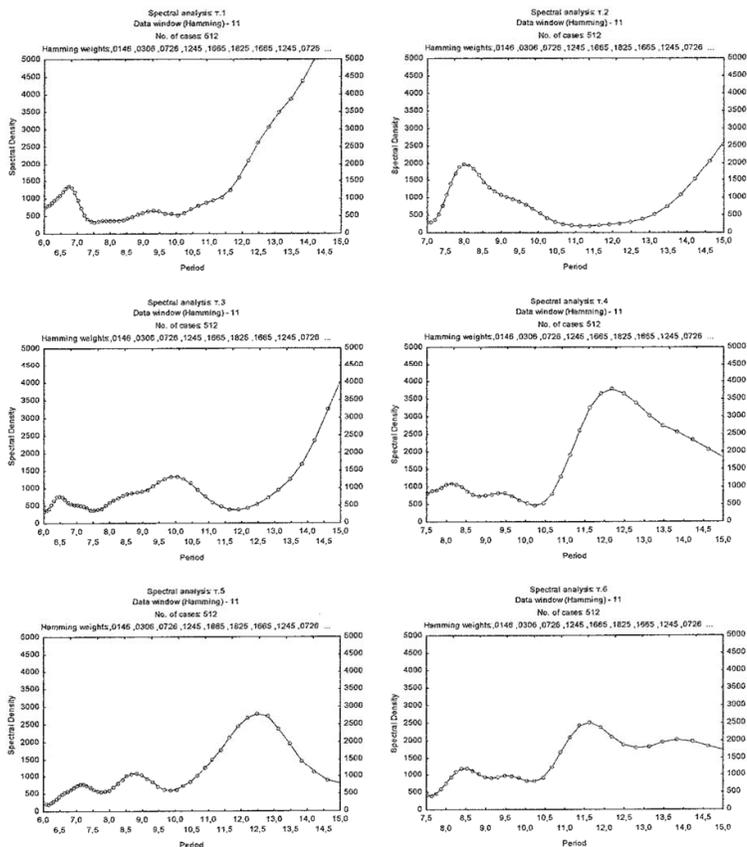
Профиль радарограммы строится из 10 отдельных кадров отраженных импульсов, полученных в каждой точке измерений. Для всех рассматриваемых точек были рассчитаны статистические параметры средних значений амплитуды импульса, их вариабельность и достоверность, которые стали статистической основой для расчета обобщенных временных рядов точек георадиолокационного профилирования рассматриваемой территории.

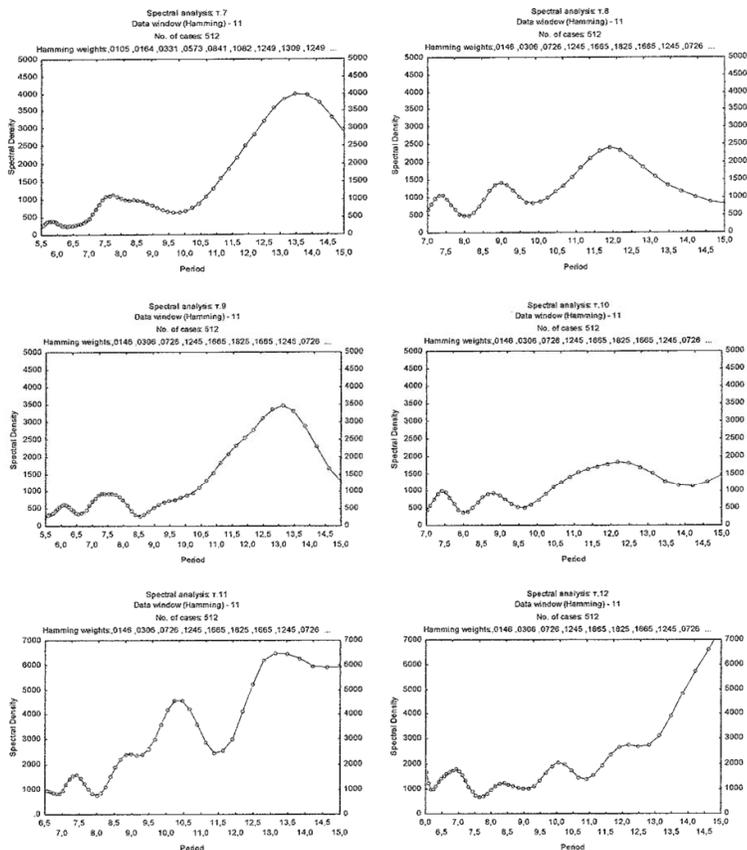
Анализ обобщенных временных рядов показал, что в определенных участках спектра зондирующий сигнал затухает гораздо слабее, что позволяет зондирующему импульсу проникать на глубины большие, чем допускает теория, предполагающая стационарность коэффициента диэлектрической проницаемости и его простую зависимость от частоты волны.



*Рис. 39. Визуализация радарограмм по точкам маршрута георадиолокационного профилирования*

Экспертный анализ полученных данных цифровой визуализации показал, что увеличение мощности гумусового горизонта приводит к усилению асимметричности полуволн первого периода отраженных электромагнитных импульсов. Это позволяет предположить, что в качестве предиката мощности гумусового горизонта может выступать параметр, характеризующий эту асимметричность, например, коэффициент асимметрии. В нашем случае, мы анализировали верхнюю и нижнюю границы интервала первого периода импульса, выраженные в наносекундах (рис. 40).





**Рис. 40.** Средние значения начальных периодов спектральной плотности амплитуды бинарного распределения отраженного импульса по точкам георадиолокационного профилирования

Теоретически, мощность гумусового горизонта почв ( $H_A$ , см) в этом случае может определяться по формуле:

$$H_A = (t^*V)As_i$$

где –  $t$  – длительность (координата) отраженного импульса, соответствующая нижней границе периода, нс; –  $V$  – рас-

четная скорость импульса, см/нс; –  $As_i$  – модальное значение коэффициента асимметрии.

Была проведена цифровая фильтрация амплитуды бинарного распределения отраженного импульса для всех точек георадарного профилирования и рассчитаны коэффициенты асимметрии (табл. 14).

Таблица 14

**Средние значения первого и второго периодов  
спектральной плотности амплитуды бинарного  
распределения отраженного импульса для расчета  
коэффициента асимметрии его по точкам  
георадарного профилирования**

Номер точки	Координаты первого периода спектральной плотности, нс			Координаты нижней границы второго периода, нс	Коэффициент асимметрии, $As_i$	Ошибка асимметрии, $Sas$
	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_4$		
1	5,8	6,5	7,8	10,0	0,85	0,42
2	6,2	6,8	8,0	11	0,92	0,42
3	5,8	7,0	7,8	9	-0,62	0,42
4	6,2	6,8	7,7	10,2	0,58	0,42
5	6,4	7,1	8,2	9,8	0,64	0,42
6	6,7	7,2	8,0	10,2	0,58	0,42
7	6,8	7,4	8,2	9,6	0,49	0,42
8	6,4	7,1	7,6	9,8	-0,49	0,42
9	5,8	6,4	6,8	8,5	-0,33	0,42
10	5,6	6,1	6,5	9,6	-0,27	0,42
11	6,1	6,6	7,4	11,0	0,67	0,42
12	6,3	6,8	7,4	11,1	0,76	0,42

Для проверки статистической гипотезы наличия асимметрии у рассматриваемых распределений использовалось отношение коэффициента асимметрии к ее ошибке. Коэффициент асимметрии рассчитывался по 10 кадрам каждого георадарного профиля. Использовалась выборка из 30 чисел-отсчетов каждой исследуемой точки профилирования.

О степени асимметричности распределения можно судить и по рассчитанным квантилям. Если распределение симметрично, то разности  $x_n(0,50) - x_n(0,25)$  и  $x_n(0,75) - x_n(0,50)$  должны быть близки (Благовещенский и др., 1987). Увеличение одной из разностей говорит об асимметрии: если первая разность больше второй, то асимметрия отрицательная (левая), в противном случае – положительная (правая). Чаще встречается положительная асимметрия (табл. 15). В качестве примера приведем изменение квантилей спектральной плотности в первом периоде распределения по точкам георадарного профилирования (табл. 15).

*Таблица 15*

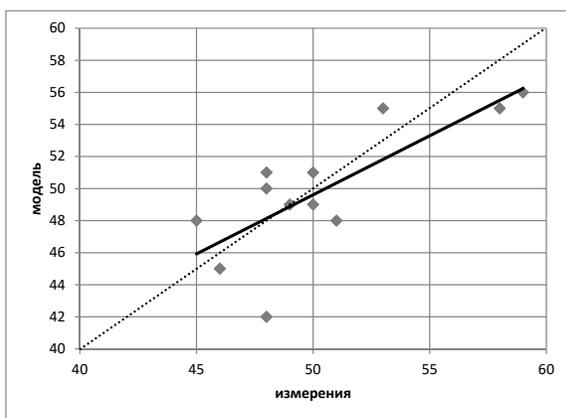
**Расчет квантилей спектральной плотности  
первого периода распределения по точкам  
георадарного профилирования**

№№ точки	средняя	медиана	Ошибка средней	сумма	Min	Max	квантили	
							25%	75%
1	6,7	6,5	0,98	201,4	5,5	8,7	5,9	7,4
2	7	6,8	0,87	209,8	5,7	8,7	6,3	7,5
3	6,9	7,0	0,98	206,5	5,4	8,8	6,1	7,6
4	6,9	6,8	0,69	207,2	5,8	8,3	6,5	7,3
5	7,3	7,0	1,0	217,8	5,6	10,0	6,3	8,0
6	7,3	7,2	0,62	219,4	6,3	8,7	6,9	7,8
7	7,5	7,4	0,63	224,8	6,6	8,9	7,0	7,9
8	7,1	7,0	0,62	211,9	6,0	8,1	6,6	7,5
9	6,3	6,4	0,49	190,4	5,3	7,1	6,1	6,7
10	6,0	6,1	0,45	181,5	5,2	7,1	5,7	6,4
11	6,7	6,6	0,62	200,5	5,3	8,1	6,3	7,0
12	6,8	6,7	0,54	204,8	6,0	8,2	6,5	7,0

Известно, что оценки, основанные на квантилях, устойчивы к поведению распределения на хвостах и более стабильны при отклонениях от нормальности.

Отрицательная асимметрия в нашем случае оказалась приурочена к точкам, находящимся на склонах с ареалами в различной степени эродированных почв.

На практике, однако, оказалось, что расчет мощности гумусового горизонта по самому коэффициенту асимметрии дает несколько худшие результаты, чем расчет по одному из исходных параметров, которые используются для расчета асимметрии: по координате нижней границы второго периода ( $t_4$ ). Если расчет по формуле позволяет моделировать мощность гумусового горизонта с  $R^2=0.74$ , то регрессия с  $t_4$  ( $H_A = 4.86t_4 + 1.44$ ) характеризуется  $R^2=0.86$ .



*Рис. 41. Графическое сопоставление измеренных и модельных значений мощности гумусового горизонта*

Из рисунка 41 следует, что эта регрессионная модель несколько завышает расчетную мощность гумусового горизонта при ее низких значениях и занижает при высоких значениях мощности, что может быть связано со спецификой исполь-

зованного георадарного оборудования (длина волны и чувствительность прибора к детектированию свойств слоев малой мощности), а также с уменьшением содержания гумуса в гумусовом горизонте почв при их эродированности, то есть с запасами гумуса в гумусовом горизонте почв.

Таким образом, в результате проведенных исследований был установлен новый показатель - коэффициент асимметрии модального значения вершины спектральной плотности георадарного импульса первого периода отраженного сигнала, получаемого с частотой 100 МГц, который демонстрирует хорошую статистическую связь с мощностью гумусового горизонта почв.

Для расчета мощности горизонта А+АВ предложено использовать нижнюю границу второго периода спектральной плотности отраженного сигнала. Для региона исследований построена регрессионная модель этой связи с коэффициентом детерминации около 0,86.

Асимметрия сигнала обусловлена различием содержания гумуса в горизонте. Поэтому перспективным направлением дальнейших исследований может служить уточнение связи значений периодов спектральной плотности электромагнитного импульса с запасами гумуса.

Разработанный подход может быть использован для картографирования мощности гумусового горизонта в черноземных почвах региона исследований. Теоретически, данный подход может быть распространен и на почвы других регионов, но для более уверенного вывода требуются дополнительные исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате развала в 90-е годы прошлого века государственной системы инвентаризации и мониторинга почв и земель, составление почвенных карт и площадной мониторинг почв и земель на государственном уровне были прекращены. В настоящее время органы власти России все в большей степени осознают необходимость восстановления государственной земельной службы, одной из задач которой было бы возобновление работ по инвентаризации и мониторингу почв и земель страны. Спрос на почвенно-картографическую информацию растет и со стороны бизнеса и землевладельцев, так как ресурс использования почвенных карт, наиболее «актуальные» из которых составлены уже более 40 лет назад, уже давно исчерпан. На настоящий момент является очевидным, что они должны регулярно обновляться, и что без актуальных почвенных карт невозможно качественное решение многих как сельскохозяйственных, так и экологических и кадастровых задач.

В результате непрерывно продолжающихся с советского периода научных исследований в последние десятилетия создана надежная методическая и технологическая основа для организации работ по обновлению и составлению почвенных карт на основе самых современных цифровых технологий.

В монографии проведен обзор современного состояния в области составления и обновления почвенных карт. Показано, что опыт почвенного картографирования, заложенный в советское время, с успехом может быть использован в качестве основы для разработки новых методов и подходов картографирования почв, основанных на использовании геоинформационных технологий, компьютерного анализа данных дистанционного зондирования, георадарного профилирования, а также недавно возникших технологий цифрового кар-

тографирования почв, основанного на компьютерном моделировании.

Основное внимание в монографии уделено методическим разработкам Почвенного института им. В. В. Докучаева, который с советского времени являлся и до сих пор является методическим центром страны в области почвенного картографирования.

Отдельный раздел посвящен Единому государственному реестру почвенных ресурсов России: официальному документу, принятому Минсельхозом России и рекомендованному Российской академией наук для практического использования.

Таким образом, монография отражает современный уровень развития картографирования почв в России. Она без сомнения будет полезна специалистам в области картографирования и мониторинга почв и земель, студентам профильных ВУЗов, пользователям информации о почвах при решении кадастровых, сельскохозяйственных и экологических задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Акимцев В. В. Почвенные ресурсы Дагестана, Труды первой научной сессии 8–11 октября 1947. – Махачкала, 1948. – С. 143–162.
2. Андроников В. Л. Аэрокосмические методы изучения почв. – М.: Колос, 1979. – 280 с.
3. Ачасов А. Б., Бидолах Д. И. Использование материалов космической и наземной цифровой фотосъемок для определения содержания гумуса в почвах // Почвоведение. 2008. №. 3. С. 280–286.
4. Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. М.: Наука. – 1990. – С. 8–15.
5. Батуев В. И. Формирование стока с бугристых болот (на примере Западной Сибири)// Вестник ТГПУ, 2012. 7. С. 146–152
6. Берлянд А. М. Геоинформационное картографирование. – М.: МГУ, 1997. – 62 с.
7. Берлянд А. М. Теория геоизображений. – М.: ГЕОС, 2006. – 262 с.
8. Благовещенский, Ю. Н., Самсонова В. П., Дмитриев Е. А. Непараметрические методы в почвенных исследованиях // М., Наука, 1987, 31–32 стр.
9. Васильев Л. Н., Полуаршинова А. Г. Методика дешифрирования почвенного покрова распаханых полей по спектральным яркостям, измененным по космическим снимкам // Исследование Земли из космоса. – 1984. – № 1. – С. 51–57.
10. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Интерпретация данных георадиолокационных наблюдений // Разведка и охрана недр – 2001, № 3.– С. 11–14.
11. Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – Наука, 1984.

12. Воронин А. Я. Критерии идентификации строения и функциональных свойств почвенного профиля в георадио-локационных исследованиях с использованием георадара «лоза-В» // Бюлл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2015. Вып. 80. С. 106–226.

13. Воронин А. Я., Пягай Э. Т., Белобров В. П., Айдиев А. Я., Куленкамп А. Ю. Георадарный метод изучения почвенного покрова (на примере типичных черноземов). – Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. Курск, 2013. – С. 33–38.

14. Воронин А. Я., Фрид А. С. Модели плодородия для почвенного покрова // Почвенное плодородие: информационные системы, модели, методы исследования / Науч. Тр. Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева – М., 1991. с. 43–51

15. Временные указания по составлению ПК областей (краев, АССР) РСФСР. М. ГИЗР, РОСЗЕМПРОЕКТ, 1976. 44 с.

16. Геологическая карта СССР (масштаб 1:4 млн.). – М.: ГУГК, 1984. – 4 л.

17. Герасимов И. П. Государственная почвенная карта СССР // Почвоведение. 1947. № 1. С. 7–15.

18. Герасимов И. П. Проект программы Государственной почвенной карты СССР // Почвоведение. 1949, № 10. С. 611–618

19. Герасимов И. П. Государственная почвенная карта СССР в масштабе 1:1 000 000 и проект сводной шкалы условных обозначений. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 19 с. И вкладка условных обозначений.

20. Герасимова М. И., Гаврилова И. П., Богданова М. Д. Мелкомасштабное почвенное картографирование. М.: МГУ, 2010.

21. Государственная почвенно-эрозионная карта России, масштаб 1:2 500 000 на 4-х листах. М.: Изд-во ЭКОР, 1999, (Европейская часть) и издание Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева на Азиатскую часть России, того же масштаба на 12 листах. 2001.

22. Гурлев И. А. Природные зоны Дагестана. – Махачкала: Мах. ГУ, 1972. – 212 с.
23. Денисов Р. Р., Капустин В. В. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме // Геофизика, № 4, 2010. – С. 76–80.
24. Дмитриев Е. А., Самсонова В. П., Рожков В. А. Об использовании теории случайных функций при изучении почвенного покрова // Вестник МГУ, биология, почвоведение, 1974, № 3. стр. 43–53
25. Докучаев В. В. Картография русских почв: Объяснительный текст к почвенной карте Европейской России, изданной Департаментом земледелия и сельской промышленности / сост. по поручению Департамента; В. В. Докучаев, магистр геологии и минералогии; М-во гос. имуществ. – Санкт-Петербург: Типография Киришбаума, 1879. – 114 с.
26. Докучаев В. В. Сочинения. Т. 4. Ч 1. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 413 с.
27. Долгова Л. С. Методика составления мелкомасштабных почвенных карт. – М.: МГУ, 1979. – 80 с.
28. Жоголев А. В. Актуализация региональных почвенных карт на основе спутниковых и геоинформационных технологий (на примере Московской области): дис. – Автореф. дис. к. с.-х. н. М., 2016. 22 с.
29. Жоголев А. В., Савин И. Ю. Автоматизированное обновление среднемасштабных почвенных карт // Почвоведение. – 2016. – № 11. – С. 45–54. – DOI: 10.7868/S0032180X16110125.
30. Жоголев А. В., Савин И. Ю., Голосная А. О. Изменение площади нарушенных почв садово-дачных участков в Подмоскowie, выявляемое по спутниковым данным Landsat // Науки о земле. – 2014. – № 1/2. – С. 76–83.
31. Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М.: Наука, 1970. 219 с.

32. Залибеков З. Г. Методы изучения почвенного покрова в условиях интенсификации антропогенного воздействия. – М.: Наука, 1993. – 93 с.

33. Залибеков З. Г. Опыт экологического анализа почвенного покрова Дагестана. – Махачкала: Мах. ГУ, 1995. – 140 с.

34. Золотая Л. А., Калищева М. В., Хмелевской В. К. Возможности геофизических методов при изучении состава и структуры почвенного покрова // Разведка и охрана недр – 2004, № 5. стр. 47–50

35. Зонн С. В. Почвы Дагестана, Сельское хозяйство горного Дагестана, – М. – Л.: АН СССР, 1940. – С. 97–156.

36. Иванов А. Л., Савин И. Ю., Егоров А. В. Методология оценки ресурсного потенциала земель России для сельскохозяйственного производства (на примере хмеля) // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2014. № 73. С. 29–94.

37. Калининвич А. А., Кутуза Б. Г., Крылова М. С. – Об опыте использования георадарных данных для интерпретации РЛИ, получаемых с помощью ИМАРК. – Труды 2-й Международной конференции «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации» (ARMIMP – 2007), Россия, Суздаль, сентябрь 25–27, 2007, с. 9–16.

38. Карта почвенно-географического районирования СССР. Масштаб 1:8 000 000. Ред. Г. В. Добровольский. ГУГК, 1983.

39. Карта почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины, масштаб 1:2 500 000. Ред. Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская. М.: ТОО ЭКОР, 1997.

40. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. масштаб 1:2 500 000 / Под ред. Г. В. Добровольского, И. С. Урусевской. ООО «Талка+» Москва, 2013. – 16 л.

41. Карта природно-сельскохозяйственного районирования СССР. Масштаб 1:8 000 000. М. ГУГК, 1984.

42. Карта «Растительность ДАССР». Масштаб 1:300000. М.: ГУГК, 1986.

43. Кашанский, А. Д. Составление и использование почвенных карт. – М.: Агропромиздат, 1987. – 273 с.

44. Кельчевская Л. С. Влажность почв Европейской части СССР. – Л.: Гидромет., 1983. – 250 с.

45. Керимханов С. У. Почвы Дагестана. – Махачкала: Мах. ГУ, 1976. – 118 с.

46. Кириллова Н. П., Силева Т. М., Ульянова Т. Ю., Савин И. Ю. Метод «совпадений» и его применение для построения цифровой крупномасштабной почвенной карты // Почвоведение. – 2014. – № 10. – С. 1193–1203.

47. Кирсанов А. Т. Заключение // Тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 1935. Т. 12. С. 297–304.

48. 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.

49. Кирюшин В. И., Кирюшин С. В. Агротехнологии. – СПб.: Лань. 2015. – 464 с.

50. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.

51. Козлов, Д. Н. Цифровой ландшафтный анализ при крупномасштабном картографировании структур почвенного покрова. автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Д. Н. Козлов. – Москва, 2009. – 26 с.

52. Козлов Д. Н., Сорокина Н. П. Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные

исследования. М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – 2012. – С. 35–57.

53. Королук, Т. В., Овечкин, С. В. Подходы к модернизации государственной почвенной карты России на основе методов цифровой картографии. Почвоведение, 2010, (5), 527–537.

54. Кошкарев А. В., Зинчук Л. Н. Произведения автоматической картографии. – М.: Наука, 1990. – 108 с.

55. Кравцова В. И. Генерализация аэрокосмического изображения: континуальные и дискретные снимки. – М.: МГУ, 2000. – 255 с.

56. Кравцова В. И. Дискретная пиксельная стереомодель: графическое моделирование. – М.: Научный мир, 2014. – 172 с.

57. Крупенио Н. Н. Радиолокационное картирование влажности открытых почв // Исследование Земли из космоса. – 1985. – № 1. – С. 88.

58. Крылатов А. К. Физико-химическая характеристика сельскохозяйственных земель и баланс гумуса на пашне Российской Федерации. – М.: Руслит, 1996. – 392 с.

59. Кузнецов В. В., Карлов Е. М. Числовой метод оценки условий почвообразования с использованием ЭВМ – Почвоведение, 1971, № 9, с. 134–143.

60. Левицкий А. П. В защиту докучаевского почвоведения // Почвоведение. 1907. № 4. С. 381–404.

61. Ливеровский Ю. А. Почвенный покров и земельные фонды Зейско-Буреинской равнины в связи с дальнейшим их освоением. // Вопросы развития сельских хозяйств Приамурья. – Благовещенск, 1955. – с. 34–50

62. Ливеровский Ю. А., Рубцова Л. П. Почвенно-географическое районирование Приамурья // Вопросы природного районирования Советского Дальнего Востока в связи с районной планировкой. М., 1962, с. 149–170.

63. Лурье И. К. Геоинформатика. Учебные геоинформационные системы. М. Изд-во МГУ. 1997. 115 с.
64. Любушкин А. А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М., Наука, 2007. – 228 С.
65. Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. Министерство транспорта Российской Федерации, (Росавтодор). М., 2003
66. Мешалкина, Ю. Л., Васенев, И. И., Кузякова, И. Ф., & Романенков, В. А. Геостатистика в почвоведении и экологии. М.: РГАУ-МСХА. 2010.
67. Молчанов Э. Н., Можаров Н. В., Стасюк Н. В., Федоров К. Н. Почвенный покров Дагестанской АССР (Пояснительный текст к Почвенной карте Дагестанской АССР). – М.: ГУГК, 1990. – 27 с.
68. Моррисон Д. Л. Картография нового тысячелетия. – Геодезия и картография, 1996, 8, с. 45–48
69. Нефедов Г. Ф. О почвенной картографии. Саратов: Тип. об-ва книгопеч., 1914. 57 с.
70. Ногина Н. А. Почвенное районирование Байкальской Сибири. Улан-Удэ, 1960. – 36 с.
71. Общесоюзная инструкция по крупномасштабным почвенным и агрохимическим исследованиям территорий колхозов и совхозов и составлению почвенных карт территорий производственных колхозно-совхозных управлений. М.: Колос, 1964. 110 с.
72. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Колос, 1973. 95 с.
73. Орлов Д. С. Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 175 с.
74. Подповерхностное зондирование с помощью геофизического комплекса «ЛОЗА», «ЛОЗА-М» (поиск протяжен-

ных подземных сооружений) (методические рекомендации) – ВНИИЛМИ, 2012. 16 С.

75. Почвенная карта Дагестанской АССР, м-б 1:300000. – М.: ГУГК, 1990.

76. Почвенная карта Российской Федерации и сопредельных государств. Масштаб 1:4 000 000. Науч. ред. М. А. Глазовская. – М.: Роскартография, 1995.

77. Почвенная карта Российской Федерации масштаб 1:2 500 000. Редактор В. М. Фридланд. М. ГУГК, 1998 на 16 листах.

78. Почвенно-агрохимическая карта земледельческих районов СССР, масштаб 1:8 000 000, редакторы: А. В. Соколов, Н. Н. Розов, Е. Н. Руднева. 1965. Фонды Почв. ин-та им. В. В. Докучаева.

79. Почвы комплексной равнины Северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика. М.: Наука, 1964. 292 с.

80. Программа почвенной карты масштаба 1:2 500 000. Под ред. В. М. Фридланда. М.: 1972.

81. Прудникова Е. Ю. Автоматизированное картографирование пахотных почв по спутниковым данным для проектирования АЛСЗ (на примере тестовых полей в Саратовской области): Дисс. канд. биол. наук. М.: РГАУ-МСХА, 2013. 237 с.

82. Прудникова Е. Ю., Савин И. Ю. Спутниковая оценка дегумификации пахотных почв в Саратовском Поволжье // Почвоведение. 2015. № 5. Т. 48 С. 533–539.

83. Прудникова Е. Ю., Савин И. Ю. Исследование оптических свойств открытой поверхности почв // Оптический журнал. 2016. Том 3. Выпуск 10. С. 79–86.

84. Пузаченко, Ю. Г. Оценка запасов органического вещества в почвах мира: методика и результаты / Ю. Г. Пузаченко, Д. Н. Козлов, Е. В. Сиунова, А. Г. Санковский // Почвоведение. – 2006. – № 12. – С. 1427–1440.

85. Пузаченко, М. Ю., Пузаченко, Ю. Г., Козлов, Д. Н., Федяева, М. В. Картографирование мощности органогенного и гумусового горизонтов лесных почв и болот южнотаежного ландшафта (юго-запад Валдайской возвышенности) на основе трехмерной модели рельефа и дистанционной информации (Landsat-7) // Исследование Земли из космоса. 2006. № 4. С. 70.

86. Рамазанов Н. Г., Савин И. Ю. Геоинформационное моделирование системы землепользования Южного Дагестана. – Тез. Международной конференции «Анализ систем на рубеже тысячелетий: теория и практика–1998», Москва, 15–17 дек. 1998, 1998, – с. 204–205.

87. Резников А. Е., Копейкин В. В., Морозов П. А., Щеко-тов А. Ю. Разработка аппаратуры, методов обработки данных для электромагнитного подповерхностного зондирования и опыт их применения / Успехи физических наук, № 5. / РАН. М., 2000

88. Рожков В. А. Почвенная информатика. – М.: Агропромиздат, 1989. – 222 с.

89. Розов Н. Н. (при участии Лобовой Е. В.) Почвенная карта СССР. Масштаб 1:4 000 000. М.: ГУГК, 1954

90. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. – Л.: Гидромет., 1977. – 280 с.

91. Рубцова Л. П. Материалы к познанию почвенного покрова юго-западной части Зейско-Буреинской низменности. – в кн.: Почвенная и агромелиоративная характеристика южной части Зейско-Буреинского междуречья. Благовещенск, 1959. – с. 29–64.

92. Руководство по среднемасштабному картографированию почв на основе ГИС / [М. С. Симакова, Д. И. Рухович, В. П. Белобров, Э. Н. Молчанов, Н. П. Чижикова, И. П. Гаврилова, М. И. Герасимова, М. Д. Богданова; под. ред. М. С. Симаковой; отв. ред. Н. Б. Хитров]; Российская акад. с.-х. наук, Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева. – Москва, 2008. – 243 с.

93. Рухович Д. И., Королёва П. В., Вильчевская Е. В., Калинина Н. В. Цифровая тематическая картография как смена доступным первоисточников и способов их использования. В сб.: Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М., 2012. С. 58–86.

94. Савин И. Ю. Автоматизированная инвентаризация почв на основе материалов дистанционных съемок: возможности и перспективы. – Сб.: Региональные проблемы экологии, географии и картографии почв, МГУ, 1998. – с. 91–101.

95. Савин И. Ю. Дешифрирование почвенного покрова лесостепи Центрально-Черноземного района по среднемасштабным космическим снимкам. – Дисс. канд. геогр. н., М., 1990. – 300 с.

96. Савин И. Ю. Компьютерная инвентаризация почвенного покрова. – Почвоведение, 1999, № 7, с. 899–904.

97. Савин И. Ю. Инвентаризация почв с использованием гис технологий // Почвоведение. 2003. № 10. С. 1189–1196.

98. Савин И. Ю. Анализ почвенных ресурсов на основе геоинформационных технологий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Почвенный институт. Москва, 2004. – 47 с.

99. Савин, И. Ю. Компьютерная имитация картографирования почв // в сб.: Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. – М.: Почв. Ин-т им. В. В. Докучаева. – 2012. – С. 26–34.

100. Савин И. Ю. Классификация почв и земледелие // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2016. – №. 84.

101. Савин, И. Ю., Докукин, П. А., Вернюк, Ю. И., & Жоголев, А. В. О влиянии засоренности на NDVI посевов ярового ячменя, определяемый по спутниковым данным MODIS. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017, 14(3), 185–195.

102. Савин И. Ю., Овечкин С. В. Об обновлении средне-масштабных почвенных карт // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1184.

103. Савин И. Ю., Прудникова Е. Ю. Об оптимальном сроке спутниковой съемки для картографирования пахотных почв // Бюллетень Почвенного Института имени В. В. Докучаева. 2014. № 74. С. 66–77.

104. 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.

105. Савин И. Ю., Симакова М. С., Овечкин С. В. Перспективы развития картографии почв в России // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. – 2015. – С. 274–279.

106. Савин И. Ю., Столбовой В. С. Спектрально-отражательная способность красноцветных почв Сирии. – Почвоведение, 1998, 4, с. 427–434.

107. Салищев К. А. Проектирование и составление карт. Общая часть. Теория и процессы лабораторного изготовления карт: Учеб. для студентов ун-тов, обучающихся по спец. «География». – 2. изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 240 с.

108. Симакова М. С. Картографирование почвенного покрова с использованием материалов аэро- и космической фотосъемки. Реф. дисс. доктора с-х. наук. М. 1984. 43 с.

109. Симакова М. С. О новом методе картографирования почв с используем пластики рельефа // Почвоведение. 1988. № 6. С. 121–127.

110. Симакова М. С. От визуального дешифрирования аэрофотоснимков и полевого картографирования почв до автоматизированного дешифрирования и картографирования

по космическим снимкам // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 2014. – №. 74.

111. Симакова М. С., Андроников В. Л. Почвенные карты. // Картографическая изученность России. М.: Изд-во ин-та географии Рос. А.Н 1999. С. 113–133.

112. 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.

113. Соболев С. С., Садовников И. Ф. Почвенно-эрозийная карта СССР, масштаб 1:5 000 000. ГУГК СССР, 1968 на 16 листах.

114. Сорокина Н. П. Применение статистических методов при уточнении диагностики черноземов // Крупномасштабное картографирование почв (методы, теория и практика). М., 1971. С. 123–128.

115. Сорокина, Н. П. Структура почвенного покрова пахотных земель: Типизация, картографирование, агроэкологическая оценка: дис. ... д-ра с.-х. наук / Н. П. Сорокина. – Москва, 2003. – 276 с.

116. Сорокина Н. П., Козлов Д. Н. Возможности цифрового картографирования структуры почвенного покрова // Почвоведение, 2009, № 2. С. 198–210.

117. Составление областных среднемасштабных почвенных карт Нечерноземья с показом структуры почвенного покрова (рекомендации). – М.: Агропромиздат, 1990. – 80 с.

118. Степанов И. Н., Абдуназаров У. К., Брынских М. Н., Деева Н. Ф., Ильина А. А., Пейдо Л. П., Поветухина З. Ф., Хакимов Ф. И. Временная методика по составлению карт пластики рельефа крупного и среднего масштаба. Рекомендации. – Пушино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1983. – 20 с.

119. Столбовой В. С. Компьютерная картография почв и ее применение для планирования экологического землепользования. – в сб.: География и картография почв, М., 1993, с. 291–301.
120. Столбовой В. С., Савин И. Ю. Опыт использования технологии SOTER для создания цифровой базы данных почв и суши России // Почвоведение, 1996, 11, с. 1295–1302.
121. Столбовой В. С., Савин И. Ю., Шеремет Б. В., Сизов В. В., Овечкин С. В. Геоинформационная система деградации почв России // Почвоведение. 1999. № 5. С. 646–651.
122. Столбовой В. С., Шеремет Б. В. Новая почвенная карта ФАО на территорию России. Почвоведение, 1985, № 2, 149–158.
123. Столбовой В. С., Шеремет Б. В. Почвенная карта России М 1:8 млн. в системе Почвенной Таксономии США. Почвоведение, 1995, N 12, с. 1453–1459.
124. Столбовой В. С., Шеремет Б. В. Корреляция легенд Почвенной карты СССР масштаба 1:2.5 млн и Почвенной карты мира ФАО. Почвоведение, 2000, № 3, с. 1–11.
125. Столбовой В., Монтанарелла Л., Медведев В., Сменян Н., Шишов Л., Унгурян В., Добровольский Г., Жамань М., Кинг Д., Рожков В., Савин И. Интеграция данных о почвах России, Белоруссии, Молдавии и Украины в почвенную географическую базу данных Европейского союза. – Почвоведение, 2001, № 7, с. 773–790.
126. Терехов А. Г., Кауазов А. М. Методика оценки содержания гумуса в пахотных землях Северного Казахстана на основе спутниковых данных // Четвёртая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН. 2006. С. 13–17.
127. Тюремнов С. И. Северная граница чернозема в центральной части европейского СССР // Почвоведение. 1925 № 1–2. С. 77–94.

128. Флоринский, И. В. Почвенная гипотеза Докучаева как основа цифрового прогнозного почвенного картографирования // Почвоведение. – 2012. – № 4. – С. 500–506.

129. Фридланд В. М. Структура почвенного покрова. – М.: Мысль, 1972, – 423 с.

130. Фридланд В. М., Ильина Л. П. Макет перфокарты для описания почвенных комбинаций и структуры почвенного покрова. – В кн.: Почвенные комбинации и их генезис. М.: Наука, 1972. с. 195–201.

131. Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования (ред. Иванов А. Л., Савин И. Ю., Сорокина Н. П., Самсонова В. П., Мешалкина Ю. Л., Конюшкова М. В.). – М.: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2012. – 333 с.

132. Чижиков П. Н. Карта почвообразующих пород Европейской части СССР (масштаб 1:4 млн.). – 1968.

133. Шишов Л. Л., Рожков В. А., Столбовой В. С. Информационная база классификации почв. Почвоведение, 1985, № 9, с. 9–20.

134. Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена. 2004. – 341 с.

135. Щербенко Е. В. Опыт машинного дешифрирования и мелкомасштабного картографирования почвенного покрова по космическим снимкам // Современные методы исследования почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. – 1983. – С. 126–127.

136. Эрозия почв России и сопредельных стран, М.: Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, 2001. 57 с.

137. Эрозия почв России. М.: Изд-во Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, 2004. 78 с.

138. Янутш Д. А., Афанасьев Н. Ф. Основные результаты микрофотометрических исследований аэрофотоизображе-

ния природных объектов // Аэросъёмка и её применение. Л., 1967. С. 30–37.

139. Adhikari, K. Constructing a Soil Class Map of Denmark Based on the FAO Legend Using Digital Techniques / K. Adhikari, B. Minasny, M. B. Greve, M. H. Greve // *Geoderma*. – 2014. – Vol. 214–215. – P. 101–113.

140. Angelini, M. E., Heuvelink, G. B., Kempen, B., Morras, D. M., & Rodriguez, D. M. (2015). Digital soil mapping of an Argentinian pampa region using structural equation modelling. In *Book of Abstracts of the Wageningen Soil Conference 2015: Soil Science in a Changing World* (pp. 134–134).

141. Apan, A., Kelly, R., Jensen, T., Butler, D., Strong, W., Basnet, B. Spectral discrimination and separability analysis of agricultural crops and soil attributes using ASTER imagery // 11th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference. 2002. P. 396–411.

142. Arrouays D., Richer-de-Forges A., McBratney A., Hartemink A., Minasny B., Savin I., Grundy M., Leenaars J., Poggio L., Roudier P., Libohova Z., McKenzie N., van den Bosch H., Kempen B., Mulder V., Lacoste M., Chen S., Saby N., Martin M., Román Dobarco M., Cousin I., Loiseau T., Lehmann S., Caubet M., Lemerrier B., Walter C., Vaudour E., Gomez C., Martelet G., Krasilnikov P., Lagacherie P. The GLOBALSOILMAP project: past, present, future, and national examples from France. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018; (95): 3–23. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-95-3-23>.

143. Arrouays, D., Savin, I., Leenaars, J., & McBratney, A. B. (Eds.). *GlobalSoilMap-Digital Soil Mapping from Country to Globe: Proceedings of the Global Soil Map 2017 Conference, July 4–6, 2017, Moscow, Russia*. CRC Press. 2017.

144. Baghdadi N., Gaultier S., King C. Retrieving surface roughness and soil moisture from synthetic aperture radar (SAR) data using neural networks // *Canadian Journal of Remote Sensing*. 2002. V. 28. №. 5. P. 701–711.

145. Balestrieri R. Neural Decision Trees //arXiv preprint arXiv:1702.07360. – 2017.
146. Balestrieri R., Baraniuk R. A spline theory of deep learning // Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning, PMLR. 2018. V. 80. P. 374–383.
147. Bannari, A., Guedon, A. M., El-Harti, A., Cherkaoui, F. Z., El-Ghmari, A., 2008. Characterization of slightly and moderately saline and sodic soils in irrigated agricultural land using simulated data of advanced land imaging (EO-1) sensor. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39 (19), 2795–2811.
148. Barnes, E. M., Baker, M. G. Multispectral data for soil mapping: possibilities and limitations // *ASAE Paper*. 1999. № 99. P. 1138–1153.
149. Barnes R. J., M. S. Dhanoa and S. J. Lister, Standard Normal Variate Transformation and Detrending of Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectra, *Appl. Spectrosc.*, 1989, 43, 772–777.
150. Batjes N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world // *European Journal of Soil Science*. – 1996. – Vol. 47. – P. 151–163.
151. Beck, R., 2003. EO-1 User Guide. USGS Earth Resources Observation Systems Data Center. Cincinnati, Ohio.
152. Behrens T., Förster H., Scholten T., Steinrücken U., Spies E. D., & Goldschmitt M. Digital soil mapping using artificial neural networks. *Journal of plant nutrition and soil science*, 2005, 168 (1), 21–33.
153. Belinaso, H., Demattê, J. A. M., Remerio, S. A. Soil spectral library and its use in soil classification // *R. Bras. Ci. Solo*. 2010. № 34. P. 861–870.
154. Bell, D., Menges, C., Ahmad, W., van Zyl, J. J. The application of dielectric retrieval algorithms for mapping soil salinity in a tropical coastal environment using airborne polarimetric SAR / *Remote Sensing of Environment*, 2001, 75 (3). p. 375–384.

155. Bellon-Maurel, V., Fernandez-Ahumada, E., Palagos, B., Roger, J. M., & McBratney, A. (2010). Critical review of chemometric indicators commonly used for assessing the quality of the prediction of soil attributes by NIR spectroscopy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29 (9), 1073–1081.

156. Ben-Dor E., Irons J. R., Epema G. F. Soil reflectance // *Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for Earth Science*; Rencz, AN, Ryerson, RA, Eds. – 1999. – C. 111–187.

157. Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., & Olshen, R. A. 1984. *Classification and regression trees*. Florida: CRC press.

158. Brevik, E. C., and A. E. Hartemink. 2013. Soil Maps of the United States of America. *Soil Science Society* 77: 1117–1132. doi: 10.2136/sssaj2012.0390.

159. Breunig F. M. The combined use of reflectance, emissivity and elevation Aster / Terra data for tropical soil studies // *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2009. V. 33. №. 6. P. 1785–1794.

160. Bowers, S. A., Hanks, R. J. Reflectance of radiant energy from soils // *Soil Sci*. 1965. V. 100. P. 130–138.

161. Brown, D. J., Shepherd, K. D., Walsh, M. G., Mays, M. D., Reinsch, T. G. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy // *Geoderma*. 2006. № 132. P. 273–290.

162. Brown, D. J. Using a global VNIR soil-spectral library for local soil characterization and landscape modeling in a 2nd-order Uganda watershed. *Geoderma*, 2007, 140 (4), 444–453.

163. Brus D. J., De Gruijter J. J., Van Groenigen J. W. Designing spatial coverage samples using the k-means clustering algorithm. *Developments in Soil Science*, 2006, 31, 183–192.

164. Bui E.N., Moran C.J. Disaggregation of polygons of surficial geology and soil maps using spatial modelling and legacy data // *Geoderma*. – 2001. – V. 103. – №. 1–2. – P. 79–94.

165. Burgess T.M., Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties // *Journal of soil science*. – 1980. – V. 31. – № 2. – P. 315–331.

166. Burrough P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. – N. Y., 1986. – 193 p.
167. Chabrillat, S., Goetz, A. F., Krosley, L., Olsen, H. W. Use of hyperspectral images in the identification and mapping of expansive clay soils and the role of spatial resolution // Remote Sensing of Environment. 2002. V. 82. № 2. P. 431–445.
168. Chaney N. W., Wood E. F., McBratney A. B., Hempel J. W., Nauman T. W., Brungard C. W., Odgers N. P. POLARIS: A 30-meter probabilistic soil series map of the contiguous United States. Geoderma, 2016, 274, 54–67.
169. Chimatapu R., Hagrais H., Starkey A., Owusu G. Explainable AI and Fuzzy Logic Systems // International Conference on Theory and Practice of Natural Computing. Springer, Cham. 2018. P. 3–20.
170. Clark R. N. et al. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy // Manual of remote sensing. – 1999. – T. 3. – №. 3–58. – C. 2. 2–4.
171. Cochrane T. T., Sanchez L. G., de Azevedo L. G., Porras J. H., Garves C. L. Land in tropical America. – CIAT, Cali, 1985. – 318 p.
172. Coleman, T. L., Agbu, P. A. Montgomery O. L. Spectral differentiation on surface soils and soil properties: Is it possible from space platforms? // Soil Sci. 1993. V. 155. № 4. P. 283–293.
173. Congalton, R. (1984). A comparison of five sampling schemes used in assessing the accuracy of land cover/land use maps derived from remotely sensed data. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University. 1984, 146 p (Doctoral dissertation, Tese (Ph. D.) – Virginia Polytechnic Institute and State University).
174. Cressie N. A. C. Statistics for spatial data. – Wiley, N.-Y., 1993. – 900 p.
175. Daughtry, C. S. T. Bausch, W. C. Remote – and Ground-Based Sensor Techniques to Map Soil Properties // Photogramm. Eng. Remote Sens. 2003. V. 69. № 6. P. 619–630.

176. Day J. H. (ed). The Canada soil information system (CanSIS), Manual for describing soils in the field. – Agriculture Canada, Research Branch, Ottawa, 1983. – 184 p.

177. Eldeiry, A. A., Garcia, L. A. Detecting soil salinity in alfalfa fields using spatial modeling and remote sensing / Soil Water Management and Conservation, 2008. Vol. 72. № 1. p. 201–211.

178. Engelen V. W. P. van, Wen Ting-tiang (ed). Global and national soil and terrain digital databases (SOTER): procedures manual. – ISRIC, 1993. – 115 p.

179. Eswaran H., Van den Berg E., Reich P., Kimble J., 1995. Global Soil Carbon Reserves // Soils and Global Change (eds Lal r., Kimble J., Levine E., Stewart B.A.). – ISBN 1-56670-117-1. – P. 27–43.

180. FAO Soil map of the world, Revised legend // World Soil Resources Report 60. – FAO, Rome, 1988.

181. FAO Guidelines for soil description. 3rd Edition (Revised). – FAO, Rome, 1990.

182. FAO-ISRIC soil database // World Soil Resources Report 64. – FAO, Rome, 1989. – 94 p.

183. FAO-Unesco Soil Map of the World. – Paris: Unesco, 1988. – Vols. II–X.

184. Farifteh, J., Van der Meer, F., Atzberger, C., & Carranza, E. J. M. (2007). Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: A comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN). Remote Sensing of Environment, 110(1), 59–78.

185. Fernandez-Buces, N., Siebea, C., Cramb, S., Palacio, J. L. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texaco, Mexico / Journal of Arid Environments, 2006, 65 (4). p. 644–667.

186. Fisher M. Ground-penetrating radar used to uncover mysteries beneath our feet / Soil Horizons. Vol. 54, No. 6, 2013. 54.

187. Fox, G. A., Sabbagh G. J. Estimation of soil organic matter from red and near-infrared remotely sensed data using a soil line

Euclidian distance technique // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. № 66. P. 1922–1928.

188. Gallant J. C., Read A. M., and Dowling T. I. (2012). Removal of tree offsets from SRTM and other digital surface models. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XXXIX-B4, 275–280. doi: 10.5194/isprsarchives-XXXIX-B4-275-2012, 2012.

189. Galvão, L. S., Formaggio, A. R., Couto, E. D., Roberts, D. A., 2008. Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 63 (2), 259–271.

190. Gogé, F.; Gomez, C.; Jolivet, C.; Joffre, R. Which strategy is best to predict soil properties of a local site from a national Vis-NIR database? *Geoderma* 2014, 213, 1–9.

191. Gomez C., Lagacherie P., Coulouma G. Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements // *Geoderma*. – 2008. – T. 148. – №. 2. – C. 141–148.

192. Goossens, R., Alavi Panah, S.K., De Dapper, M., Kissiyar, O. The use of thermal band of Landsat TM for the study of soil salinity in Iran (Ardakan area) and Egypt (Ismailia Province) / In: *Proceedings International Conference on Geoinformatics for Natural Resource Assessment, Monitoring and Management*. Indian Institute of Remote Sensing, NRSA, Dehradun (India), 1999. p. 454–459.

193. Goovaerts P. Geostatistical modelling of uncertainty in soil science // *Geoderma*. – 2001. – T. 103. – №. 1. – P. 3–26.

194. Greve M. H., Breuning–Madsen H. Soil mapping in Denmark. – *European Soil Bureau Research Report*, 1999. – №. 6. – C. 49–56.

195. Grissa, M., Abdelfattah, R., Mercier, G., Zribi, M., Chahbi, A., Lili-Chabaane, Z. Empirical model for soil salinity mapping from SAR data // *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2011 IEEE International. IEEE, 2011. P. 1099–1102.

196. Grubinger T., Zeileis A., Pfeiffer K.P. Evtree: Evolutionary Learning of Globally Optimal Classification and Regression Trees in R. *Journal of Statistical Software*. – 2014. – V. 61. – № 1. – P. 1–29. <http://www.jstatsoft.org/v61/i01/>

197. Grunwald S., Thompson J. A., & Boettinger J. L. Digital soil mapping and modeling at continental scales: Finding solutions for global issues. *Soil Science Society of America Journal*, 2011, 75 (4), 1201–1213.

198. Guidelines for the assessment of the status of human-induced soil degradation in south and southeast Asia. – ISRIC, 1995. – 86 p.

199. Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture. Rome: FAO, 1983. 237 p.

200. Guo, S., Zhu, A. X., Meng, L., Burt, J. E., Du, F., Liu, J., & Zhang, G. (2016). Unification of soil feedback patterns under different evaporation conditions to improve soil differentiation over flat area. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 49, 126–137.

201. Hartemink, A. E., & Sonneveld, M. P. (2013). Soil maps of the Netherlands. *Geoderma*, 204, 1–9.

202. Hengl T. GSIF: Global Soil Information Facilities. R Package Version 0.4–1. – 2014.

203. Hengl T. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 2006, 32 (9), 1283–1298.

204. Hengl T., de Jesus J. M., Heuvelink G. B., Gonzalez M. R., Kilibarda M., Blagotić A., Guevara M. A. SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PloS one*, 2017, 12 (2): e0169748.

205. Hengl T., Gerard B. M. Heuvelink, Bas Kempen, Johan G. B. Leenaars, Markus G. Walsh, Keith D. Shepherd, Andrew Sila, Robert A. MacMillan, Jorge Mendes de Jesus, Lulseged Tamene, Jérôme E. Tondoh. Mapping soil properties of Africa at

250 m resolution: Random forests significantly improve current predictions // *PloS one*. – 2015. – V. 10. – № 6. – P. e0125814.

206. Hengl T., Heuvelink G. B. M., Stein A. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging // *Geoderma*. – 2004. – T. 120. – №. 1. – C. 75–93.

207. Hengl T., Reuter H. I., editors. *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Amsterdam: Elsevier. 2009. 465 p.

208. Heuvelink, G. B. (1998). *Error propagation in environmental modelling with GIS*. CRC Press.

209. Heuvelink G. B. M., Webster R. Modelling soil variation: past, present, and future // *Geoderma*. – 2001. – V. 100. – № 3–4. – P. 269–301.

210. Holmes, K. W. Spatial disaggregation of conventional soil mapping across Western Australia using DSMART. *GlobalSoil-Map: Basis of the global spatial soil information system*. London: Taylor & Francis (2014): 273–279.

211. Holmes. *Physical geology*. – Wiley and Sons Ltd., New York, 1968. – 256 p.

212. Hubbard, B.E., Crowley, J.K., 2005. Mineral mapping on the Chilean-Bolivian Altiplano using co-orbital ALI, ASTER and Hyperion imagery: data dimensionality issues and solutions. *Remote Sens. Environ.* 99 (1–2), 173–186.

213. Hubbard, B. E., Crowle, J. K., Zimelman, D. R., 2003. Comparative alteration mineral mapping using visible to shortwave infrared (0.4–2.4  $\mu\text{m}$ ) Hyperion, ALI, and ASTER imagery. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 41, pp. 1401–1410.

214. ISRIC-UNEP. *Guidelines for general assessment on the status of human-induced soil degradation*. Working paper and preprint 88/4. – ISRIC, Wageningen, 1988. – 11 p.

215. Jabbar, M. T., Chen, X., 2008. Land degradation due to salinization in arid and semi-arid regions with the aid of geoinformation techniques. *Geo spatial Inf. Sci.* 11 (2), 112–120.

216. Jenny H. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. McGraw-Hill, New York, 1941.

217. Jenny H. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. – Courier Corporation, 1994.

218. Journel A. G. Geostatistics: Models and Tools for the Earth Sciences // Mathematical Geology. – 1986. – Vol.18. – No. 1. – P. 269–187.

219. Kauth R. J., Thomas G. S. The tasseled cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat // LARS Symposia. 1976. P. 159.

220. Kempen, B., Brus, D. J., Heuvelink, G. B., & Stoorvogel, J. J. Updating the 1: 50,000 Dutch soil map using legacy soil data: A multinomial logistic regression approach. *Geoderma*, 2009, 151 (3), 311–326.

221. Knadel, M., Deng, F., Thomsen, A., & Greve, M. H. (2012, July). Development of a Danish national Vis-NIR soil spectral library for soil organic carbon determination. In *Digital Soil Assessments and Beyond: Proceedings of the 5th Global Workshop on Digital Soil Mapping* (pp. 403–408).

222. Korolyuk T. V., Shcherbenko H. V. Compiling soil maps on the basis of remotely-sensed data digital processing: soil interpretation // *International Journal of Remote Sensing*. 1994. T. 15. № 7. C. 1379–1400.

223. Kruse, F. A., Boardman, J. W., Huntington, J. F., 2003. Comparison of airborne hyperspectral data and EO-1 Hyperion for mineral mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, pp. 1388–1400.

224. Lagacherie P. Digital soil mapping: To state-of-the-art. In *Digital soil mapping with limited data* (pp. 3–14). Dordrecht: Springer. 2008.

225. Lagacherie P., Holmes S. Addressing geographical data errors in a classification tree for soil unit prediction // *Internation-*

al Journal of Geographical Information Science. – 1997. – T. 11. – №. 2. – C. 183–198.

226. Lagacherie P., McBratney A., Voltz M. Digital soil mapping: an introductory perspective. – Elsevier, 2006. – T. 31. pp. 12–28.

227. Lasne, Y., Paillou P., Ruffie G., Seradilla C., Demontoux F., Freeman A., Farr T., McDonald K. C., Chapman B., Malézieux G. – M. 2008. Effect of salinity on the dielectric properties of geological materials: implication for soil moisture detection by means of radar remote sensing. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 46 (6), 1674–1688.

228. Le Bas C., Jamagne M. Soil databases to support sustainable development. – INRA-JRC, 1996. – 150 p.

229. Lesaignoux, A., Fabre, S., Briotter, X., Olioso, A. Influence of surface soil moisture on spectral reflectance of bare soil in the 0.4–15 $\mu$ M domain // *Geosciences and Remote Sensing Letters*. 2011. V. 8. № 1. P. 143–147.

230. Liu, F.; Geng, X.; Zhu, A. X.; Fraser, W.; Waddell, A. Soil texture mapping over low relief areas using land surface feedback dynamic patterns extracted from MODIS. *Geoderma* 2012, 171, 44–52.

231. Maeda H., Y. Ozaki, M. Tanaka, N. Hayashi, and T. Kojima, «Near Infrared Spectroscopy and Chemometrics Studies of Temperature-Dependent Spectral Variations of Water: Relationship between Spectral Changes and Hydrogen Bonds,» *J. Near Infrared Spectrosc.* 3, 191–201 (1995).

232. Mahoney, S., James, P., Mauger, A., Heinson, G., 2002. Geologic and regolith mapping for mineral exploration in the Gawler Craton of South Australia using Hyperion and other remote sensing techniques. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) '02. Proceedings. 2002 IEEE International*, pp. 1779–1781.

233. Malley, D. F., Martin, P. D., McClintock, L. M., Yesmin, L., Eilers, R. G., & Haluschak, P. (2000, June). Feasibility of analysing archived Canadian prairie agricultural soils by near infrared reflectance spectroscopy. In *Near infrared spectroscopy: Proceeding of the 9th International Conference*, Norwich, UK, NIR Publications (pp. 579–585).

234. Malone B. P., Minasny B., McBratney A. B. *Using R for digital soil mapping*. – Springer International Publishing, 2017.

235. Marchetti, A., Piccini, C., Francaviglia, R., Santucci, S., Chiuchiarelli, I. (2010). Estimating Soil Organic Matter Content by Regression Kriging // *Digital Soil Mapping*. Springer Netherlands, 2010. P. 241–254.

236. Melendez-Pastor, I., Navarro-Pedreño, J., Koch, M., Gómez, I., 2010. Applying imaging spectroscopy techniques to map saline soils with ASTER images. *Geoderma* 158 (1–2), 55–65.

237. Mendonça-Santos, M. L., Dart, R. O., Santos, H. G., Coelho, M. R., Berbara, R. L. L., Lumberras, J. F. Digital soil mapping of topsoil organic carbon content of Rio de Janeiro State, Brazil // *Digital Soil Mapping*. Springer Netherlands, 2010. P. 255–266.

238. Metternicht, G. I. Fuzzy classification of JERS-1 SAR data: an evaluation of its performance for soil salinity mapping/ ecological Modelling, 1998, 111 (1). p. 61–74.

239. Metternicht, G., Zinck. J. A. *Remote Sensing of soil salinization. Impact on land management*. New York: CRC Press. 2009. 307 p.

240. McBratney A. B., Santos M. L. M., Minasny B. On digital soil mapping // *Geoderma*. – 2003. – V. 117. – №. 1–2. – P. 3–52.

241. Minasny, B., & McBratney, A. B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & geosciences*, 2006, 32 (9), 1378–1388.

242. Minasny B., McBratney A. B. Methodologies for global soil mapping // *Digital Soil Mapping: Bridging Research, Envi-*

ronmental Application, and Operation, Springer. – 2010. – T. 2. – C. 429–436.

243. Minasny B., McBratney A. B. Digital soil mapping: A brief history and some lessons // *Geoderma*. – 2016. – T. 264. – P. 301–311.

244. Moore A., Russel J. S. Potential use of numerical analysis and Adanssonian concepts in soil science — *Austr. J. Soil Sci.*, 1966, v. 29, N 1, pp. 141– 43.

245. 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. V. 162. – №. 1. P. 1–19.

246. Munsell color charts. – N.-Y., 1990.

247. Nield S. J., Boettinger J. L., Ramsey R. D. Digitally mapping gypsic and natric soil areas using Landsat ETM data // *Soil Science Society of America Journal*. 2007. V. 71. №. 1. P. 245–252.

248. Ninomiya Y., Fu B., Cudahy T. J. Detecting lithology with Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) multispectral thermal infrared «radiance-at-sensor» data // *Remote Sensing of Environment*. 2005. V. 99. №. 1. P. 127–139.

249. Odeh, I. O. A., Onus, A., 2008. Spatial analysis of soil salinity and soil structural stability in a semi-arid region of New South Wales, Australia. *Environ. Manage.* 42 (2), 265–278.

250. Odgers N. P., Sun W., McBratney A. B., Minasny B., & Clifford D. Disaggregating and harmonising soil map units through re-sampled classification trees. *Geoderma*, 2014, 214, 91–100.

251. Oliver M. A., R. Webster. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems // *Int. J. Geographical Information Systems*. – 1990. – Vol. 4. – N 3. – P. 313–332.

252. Oliviera J. B., van de Berg M. Application of the SOTER methodology for a semi – detailed survey (1–100000) in the Paraciba region (Sao Paulo, Brazil). – ISRIC, Wageningen, 1992. – 115 p.

253. Ostrowski J. Potrzely i zasady sporzadzania kartoteki profilow glebowych na kartach perforowanych – Roczniki Gleboznawaze. Warszawa. 1965. t. XV. S. 477–482

254. Radeloff V., J. Hill, W. Mehl. Forest mapping from space. Enhance satellite data processing by spectral mixture analysis and topographic corrections. – JRC, 1997. – 90 p.

255. Rahman M. M., Moran M. S., Thoma D. P., Bryant R., Collins C. H., Jackson T., Orr B. J., Tischler M. Mapping surface roughness and soil moisture using multi-angle radar imagery without ancillary data // Remote Sensing of Environment. – 2008. V. 112. №. 2. P. 391–402.

256. Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R. G., Dutter, R. Statistical data analysis explained: applied environmental statistics with R (No. Sirsi i9780470985816). Chichester: Wiley. 2008. 186 p.

257. Remmelzwaal A. Classification of land use, first approach. – FAO, Rome (unpublished), 1990.

258. Resumes Summaries of 16 World Congress of Soil Science. – Montpellier, 1998. – Vol1. P. 347–371.

259. Rinnan Å., van den Berg F., Engelsen S. B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2009. – T. 28. – №. 10. – C. 1201–1222.

260. Rogowski A.S. Quantifying soil variability in GIS applications: II Spatial distribution of soil properties // Int. J. Geographical Information Systems. – 1996. – Vol.10. – No 4. – P. 455–475.

261. Rossel, R. V., Walvoort, D. J. J., McBratney, A. B., Janik, L. J., & Skjemstad, J. O. (2006). Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Geoderma, 131 (1–2), 59–75.

262. Rossel, R. A.; Webster, R. Predicting soil properties from the Australian soil visible–near infrared spectroscopic database. European J. of Soil Sci. 2012, 63, 6, 848–860.

263. Rossiter D. G. Assessing the thematic accuracy of area-class soil maps // Soil Science Division, ITC. Enschede, Holland. Waiting publication. – 2001.

264. Saby N., Minasny B., Arrouays D., De Gruitjer J., Malone B. P., Mcbratney A. B. Designing soil monitoring schemes for large areas based on high resolution digital soil mapping products: a case study from France. In *Pedometrics 2017* (pp. 298–p).

265. Saha, S. K., Kudrat, M., Bhan, S. K. Digital processing of Lansat TM data for watershed mapping in parts of Aligarh District, Uttar Pradesh, India/ *International Journal of Remote Sensing*, 1990. Vol. 11. p. 485–492.

266. Salisbury J. W., D’Aria D. M. Emissivity of terrestrial materials in the 8–14  $\mu\text{m}$  atmospheric window // *Remote Sensing of Environment*. 1992. V. 42. №. 2. P. 83–106.

267. Sanaeinejad, S. H. Astarei, A., P. Mirhoseini. Mousavi and Ghaemi, M. Selection of band combination for soil salinity studies using ETM+ satellite images (A case study: Nyshaboor Region, Iran)/ *World Academy of Science, Engineering and Technology* 30, 2009. p. 514–516.

268. Sankey, J. B.; Brown, D. J.; Bernard, M. L.; Lawrence, R. L. Comparing local vs. global visible and near-infrared (VisNIR) diffuse reflectance spectroscopy (DRS) calibrations for the prediction of soil clay, organic C and inorganic C. *Geoderma* 2008, 148, 149–158.

269. Shepherd, K. D.; Walsh, M. G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002, 66, 3, 988–998.

270. Shi, Z.; Wang, Q.; Peng, J.; Ji, W.; Liu, H.; Li, X.; Viscarra Rossel, R. A. Development of national VNIR soil-spectral library for soil classification and the predictions of organic matter. *Sci. China Earth Sci.* 2014, 57, 1–10.

271. Shi, Z., Ji, W., Viscarra Rossel, R. A., Chen, S., & Zhou, Y. (2015). Prediction of soil organic matter using a spatially constrained

local partial least squares regression and the Chinese vis-NIR spectral library. *European Journal of Soil Science*, 66 (4), 679–687.

272. Shrestha, D. P., Farshad, A. Mapping salinity hazard: an integrated application of remote sensing and modeling-based techniques / In: *Remote sensing of soil salinization. Impact on land management*, 2009. p. 257–272

273. Sinha, A. K. Spectral reflectance characteristics of soil and its correlation with soil properties and surface conditions // *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 1986. V.14. № 1. P. 1–9.

274. Singh D., Kathpalia A. An efficient modeling with GA approach to retrieve soil texture, moisture and roughness from ERS-2 SAR data // *Progress In Electromagnetics Research*. 2007. V. 77. P. 121–136.

275. Soderstrom, M., Sohlenius, G., Rodhe, L., & Piikki, K. (2016). Adaptation of regional digital soil mapping for precision agriculture. *Precision Agriculture*, 17(5), 588–607.

276. Soil Survey Staff. *Soil taxonomy*. US Dep. of Agr., handbook No438. – Government printer, W., D. C., 1975.

277. SOTER manual, procedures for small scale digital map and database compilation of soil and terrain conditions. – ISRIC, 1991. – 92 p.

278. Stein A. *Spatial statistics for soils and environment*. – ITC lecture notes, 1998. – 47 p.

279. Stevens, A.; van Wesemael, B.; Bartholomeus, H.; Rosillon, D.; Tychon, B.; Ben-Dor, E. Laboratory, field and airborne spectroscopy for monitoring organic carbon content in agricultural soils. *Geoderma* 2008, 144, 395–404.

280. Stolbovoi V. Soils of Russia correlated with the Revised legend of the FAO Soil Map of the World and World Referenced Base for Soil resources. – IIASA, Laxenburg, 2000. – 121 p.

281. Taghizadeh Mehrjardi, R., Mahmoodi Sh., Taze, M., Saheb-jalal, E. Accuracy assessment of soil salinity map in Yazd-Ardakan

Plain, Central Iran, basrd on Landsat ETM+ imagery / *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci.*, 2008. № 3. p. 708–712.

282. Taylor, G. R., Mah A. H., Kruse F. A., Kierein-Young K. S., Hewson R. D., Bennett, B. A. 1996. Characterization of saline soils using airborne radar imagery. *Remote Sens. Environ.* 57 (3), 127–142.

283. Vaysse, K., & Lagacherie, P. (2015). Evaluating digital soil mapping approaches for mapping GlobalSoilMap soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France). *Geoderma Regional*, 4, 20–30.

284. Verhasselt Y. Essai de mise au point d`une mesure de longueur et de surface // *Bull. Soc. Royale Belge Geogr.* – 1961. Vol. 85. – N 1–4. – P. 131–144.

285. Vulfson L., Genis A., Blumberg D. G., Sprintsin M., Kotlyar A., Freilikher V., Ben-Asher J. Retrieval of surface roughness parameters of bare soil from the radar satellite data // *Journal of Arid Environments*. 2012. V. 87. P. 77–84.

286. Wen Tin-tiang. Draft physiographic map for Central and South America. – FAO, Rome, (unpublished), 1993.

287. Weng, Y., Gong, P., Zhu, Z., 2008. Reflectance spectroscopy for the assessment of soil salt content in soils of the Yellow River Delta of China. *Int. J. Remote Sens.* 29 (19), 5511–5531.

288. West L. T., Singer M. J., Hartemink A. E. (ed.). *The Soils of the USA.* – Springer, 2016.

289. Zeng, C., Zhu, A. X., Liu, F., Yang, L., Rossiter, D. G., Liu, J., & Wang, D. (2017). The impact of rainfall magnitude on the performance of digital soil mapping over low-relief areas using a land surface dynamic feedback method. *Ecological indicators*, 72, 297–309.

290. Zhogolev A. V. Using regionalization maps in Digital Soil Mapping // *Book of abstracts: 7-th Global Workshop on Digital Soil Mapping 2016.* – Aarhus: Aarhus University. – 2016. – P. 80.

291. Zhogolev A. V. A comparison of SoilGRIDs with the disaggregated State Soil Map of Russia // GlobalSoilMap – Digital Soil Mapping from Country to Globe: Proceedings of the Global Soil Map 2017 Conference, July 4–6, 2017, Moscow, Russia. P. 49–52.

292. Zhogolev, A., Savin, I. The influence correction of boreal forest vegetation on SRTM data. Geocarto International, 2017, 1–14.

293. Zhu A. X. et al. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic // Soil Science Society of America Journal. – 2001. – T. 65. – №. 5. – C. 1463–1472.

294. Zhu, A. X., Band, L., Vertessy, R., & Dutton, B. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). Soil Science Society of America Journal, 1997, 61 (2), 523–533.

295. Zhu, A.; Liu, F.; Li, B.; Pei, T.; Qin, C.; Liu, G.; Wang, Y.; Chen, Y.; Ma, X.; Qi, F.; Zhou, C. Differentiation of soil conditions over low relief areas using feedback dynamic patterns. Soil Science Society of America Journal 2010, 74, 3, 861–869.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### Номенклатурный список почв ЕГРПР (выделы легенды Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2,5 млн)

ID	Наименование	Символ
1	Арктические пустынные	Арп
2	Арктические	Ар
3	Арктические карбонатные	Арк
4	Арктические гидроморфные неглеевые	Арг
5	Глееземы арктические	Га
6	Арктотундровые слабооглеенные гумусные (глееземы и слабоглеевые гумусные тундровые)	Гтсг
7	Арктотундровые перегнойно-глеевые (глееземы перегнойные тундровые)	Гтп
8	Тундровые глеевые торфянистые и торфяные (глееземы торфянистые и торфяные тундровые)	Гтт
9	Тундровые глеевые торфянисто-перегнойные (глееземы торфянистые и перегнойные тундровые)	Гтпн
10	Тундровые поверхностно-глеевые дифференцированные торфянисто-перегнойные (глееземы дифференцированные, в том числе оподзоленные, тундровые)	Гто
11	Подбурь темные тундровые	ПБтт
12	Подбурь светлые тундровые	ПБтс
13	Подбурь тундровые (без разделения)	ПБт
14	Перегнойно-карбонатные тундровые	Пкт

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
15	Почвы тундровых луговин	ТЛ
16	Почвы пятен, в том числе засоленные, арктические и тундровые слабобиогенные деструктивные	ТП
17	Таежные глеевые гумусово-перегнойные (глееземы слабоглеевые гумусово-перегнойные таежные)	Гп
18	Таежные глеевые торфянисто-перегнойные (глееземы торфянисто-перегнойные таежные)	Гтп
19	Таежные глеевые и глееватые недифференцированные (глееземы таежные)	Г
20	Таежные глеево-дифференцированные (глееземы и слабоглеевые дифференцированные, в том числе оподзоленные таежные)	Го
21	Таежные глеево-дифференцированные торфянистые (глееземы и слабоглеевые дифференцированные торфянистые, в том числе оподзоленные таежные)	Гот
22	Таежные торфянисто-перегнойные высокогумусные неоглеенные	Тж
23	Глее-подзолистые	Пг
24	Глее-подзолистые со вторым осветленным горизонтом	Пго
25	Подзолистые, преимущественно мелкоподзолистые	П1
26	Подзолистые, преимущественно неглубокоподзолистые	П2
27	Подзолистые, преимущественно глубокоподзолистые	П3
28	Подзолистые, преимущественно сверхглубокоподзолистые	П4
29	Подзолистые (без разделения)	П
30	Подзолистые со вторым осветленным горизонтом	По
31	Подзолистые со вторым гумусовым горизонтом	Пв
32	Подзолистые остаточно-карбонатные	Пк
33	Подзолистые поверхностно-глееватые	Ппг

ID	Наименование	Символ
34	Подзолистые глубокоглееватые и глеевые (местами с поверхностной глееватостью), преимущественно глубокие и сверхглубокие	Пгг
35	Подзолистые надмерзлотно-глееватые	Пнг
36	Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	Пгт
37	Торфяно- и торфянисто-подзолистые глеевые со вторым гумусовым горизонтом	Пгтв
38	Дерново-подзолистые преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые	П1д
39	Дерново-подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые	П2д
40	Дерново-подзолистые преимущественно глубокоподзолистые	П3д
41	Дерново-подзолистые преимущественно сверхглубокоподзолистые	П4д
42	Дерново-подзолистые (без разделения)	Пд
43	Дерново-подзолистые со вторым осветленным горизонтом	Пдо
44	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом преимущественно глубокие	Пдв
45	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом глубокоглееватые преимущественно глубокие	Пдвг
46	Дерново-подзолистые поверхностно-глееватые преимущественно глубокие и сверхглубокие	Пдпг
47	Дерново-подзолистые глубокоглееватые и глееватые (в том числе поверхностно-глееватые) преимущественно глубокие	Пдгг
48	Дерново-подзолистые остаточно-карбонатные	Пдк
49	Дерново-подзолистые остаточно-карбонатные со вторым гумусовым горизонтом	Пдкв
50	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	Пдж

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
51	Дерново-подзолистые слабонасыщенные и вторично-насыщенные	Пнд
52	Дерново-палево-подзолистые и подзолисто-буроземные	Пдп
53	Дерново-палево-подзолистые и подзолисто-буроземные глубокоглееватые и глеевые	Пгдп
54	Дерново-подзолисто-глеевые	Пгд
55	Дерново-подзолисто-глеевые со вторым гумусовым горизонтом	Пгдв
56	Подзолы иллювиально-железистые (подзолы иллювиально-малогумусовые)	По1иг
57	Подзолы иллювиально-гумусовые (подзолы иллювиально-многогумусовые)	По2иг
58	Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые без разделения (подзолы иллювиально-мало- и многогумусовые)	Поиг
59	Подзолы сухоторфянистые	Пост
60	Подзолы со вторым осветленным горизонтом (контактно-глееватые)	Поо
61	Подзолы охристые	Пох
62	Подзолы глеевые торфянистые и торфяные, преимущественно иллювиально-гумусовые	Пог
63	Подбуры темные таежные	ПБт
64	Подбуры светлые таежные	ПБс
65	Подбуры таежные (без разделения)	ПБ
66	Подбуры сухоторфянистые	ПБст
67	Подбуры охристые	ПБх
68	Буро-таежные иллювиально-гумусовые (буроземы грубогумусовые иллювиально-гумусовые)	Бриг
69	Буро-таежные (буроземы грубогумусовые)	Бргр

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
70	Буро-таежные перегнойно-аккумулятивно-гумусовые (буроземы перегнойно-аккумулятивно-гумусовые)	Брпаг
71	Буро-таежные глеевые (буроземы грубогумусовые глеевые)	Брггр
72	Дерново-таежные кислые (дерново-буроземные кислые)	Брд
73	Дерново-таежные насыщенные (дерново-буроземные слабонасыщенные и насыщенные)	Брдн
74	Дерново-таежные железистые (дерново-буроземные железистые)	Брж
75	Дерново-таежные глееватые и глеевые (дерново-буроземные глееватые и глеевые)	Брдг
76	Палевые перегнойные	Плп
77	Палевые типичные	Пл
78	Палевые оподзоленные	Плоп
79	Палевые карбонатные	Плк
80	Палевые осолоделые	Плсд
81	Серопалевые	Плс
82	Перегнойно-карбонатные	Пк
83	Дерново-карбонатные (включая выщелоченные и оподзоленные)	Дк
84	Дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	Дг
85	Дерново-глеевые оподзоленные	Дгоп
86	Грануземы	Гр
87	Грануземы глеевые	Грг
88	Вулканические иллювиально-гумусовые тундровые	Втиг
89	Вулканические слоисто-пепловые	Всп
90	Вулканические сухоторфянистые	Вст
91	Вулканические торфянисто-перегнойные	Втип

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
92	Вулканические охристые, включая оподзоленные	Вх
93	Вулканические светло-охристые, включая оподзоленные	Вхс
94	Вулканические подзолисто-охристые	Впх
95	Вулканические слоисто-охристые	Всх
96	Бурые лесные кислые (буроземы кислые)	Бркс
97	Бурые лесные кислые оподзоленные (буроземы кислые оподзоленные)	Броп
98	Бурые лесные слабонасыщенные (буроземы слабонасыщенные)	Брн
99	Бурые лесные слабонасыщенные оподзоленные (буроземы слабонасыщенные оподзоленные)	Брно
100	Бурые лесные остаточно-карбонатные (буроземы остаточно-карбонатные)	Брк
101	Бурые лесные глееватые и глеевые (буроземы глееватые и глеевые)	Брг
102	Светло-серые лесные	СЛс
103	Серые лесные	СЛ
104	Темно-серые лесные	СЛт
105	Буровато-светло-серые лесные и серые лесные (переходные к бурым лесным)	СЛб
106	Буровато-темно-серые лесные (переходные к бурым лесным)	СЛбт
107	Серые лесные остаточно-карбонатные	СЛк
108	Серые лесные осолоделые (в том числе со вторым гумусовым горизонтом)	СЛсд
109	Светло-серые лесные со вторым гумусовым горизонтом, в том числе глубинно-глееватые	СЛсв
110	Серые лесные со вторым гумусовым горизонтом, в том числе глубинно-глееватые	СЛв

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
111	Темно-серые лесные со вторым гумусовым горизонтом, в том числе глубинно-глееватые	СЛТВ
112	Серые лесные неоподзоленные	СЛн
113	Серые лесные неполноразвитые	СЛv
114	Серые лесные глееватые и глеевые	СЛг
115	Боровые пески	БП
116	Черноземы оподзоленные	Чоп
117	Черноземы выщелоченные	Чв
118	Черноземы типичные	Чт
119	Черноземы обыкновенные	Чо
120	Черноземы южные	Чю
121	Черноземы оподзоленные мицеллярно-карбонатные (черноземы оподзоленные глубокие)	Чгоп
122	Черноземы выщелоченные мицеллярно-карбонатные (черноземы глубокие выщелоченные)	Чгв
123	Черноземы типичные мицеллярно-карбонатные (черноземы глубокие слабовыщелоченные)	Чгс
124	Черноземы южные и обыкновенные мицеллярно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные)	Чгк
125	Черноземы языковатые и карманистые выщелоченные	Чяв
126	Черноземы языковатые обыкновенные	Чяо
127	Черноземы языковатые южные	Чяю
128	Черноземы мучнисто-карбонатные, включая выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные (черноземы промытые)	Чпр
129	Черноземы глубоковскипающие и бескарбонатные на легких породах	Чбк
130	Черноземы остаточного-карбонатные	Чк

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
131	Черноземы осолоделые	Чсд
132	Черноземы солонцеватые	Чсн
133	Черноземы слитые	Чсл
134	Черноземы без разделения, преимущественно неполноразвитые	Чв
135	Серопески	СП
136	Лугово-черноземные	Чл
137	Лугово-черноземные выщелоченные	Члв
138	Лугово-черноземные карбонатные	Члк
139	Лугово-черноземные осолоделые	Члсд
140	Лугово-черноземные солонцеватые и солончаковатые	Члсн
141	Лугово-черноземные слитые	Члсл
142	Лугово-черноземовидные Амурских прерий	ЛЧ
143	Темно-каштановые	Кт
144	Каштановые	К
145	Светло-каштановые	Кс
146	Темно-каштановые мицелярно-карбонатные (темно-каштановые глубокие)	Кгт
147	Каштановые мицелярно-карбонатные (каштановые глубокие)	Кг
148	Светло-каштановые мицелярно-карбонатные (светло-каштановые глубокие)	Кгс
149	Каштановые мучнисто-карбонатные без разделения (каштановые промытые)	Кпр
150	Темно-каштановые остаточно-карбонатные и карбонатные	Ктк
151	Темно-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Ктсн

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
152	Каштановые солонцеватые и солончаковатые	Ксн
153	Светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Кссн
154	Каштановые неполноразвитые	Кв
155	Лугово-каштановые	Кл
156	Лугово-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Клсн
157	Бурые	Б
158	Бурые солонцеватые и солончаковатые	Бсн
159	Лугово-бурые	Блг
160	Подзолисто-желтоземные	Пж
161	Коричневые типичные	Кч
162	Лугово-коричневые	Кчл
163	Торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)	Тдр
164	Торфяные болотные верховые	Тв
165	Торфяные болотные переходные	Тп
166	Торфяные болотные низинные	Тн
167	Торфяные болотные солончаковатые	Тск
168	Торфяно-пепловые слоистые болотные	Тпс
169	Торфяные болотные (без разделения)	Т
170	Торфянисто- и торфяно-глеевые болотные (глееземы торфянистые и торфяные болотные)	Гт
171	Иловато-болотные	Би
172	Лугово-болотные	Бл
173	Лугово-болотные солончаковатые и солонцеватые	Блск
174	Луговые карбонатные	Лгк
175	Луговые дифференцированные (в том числе осолоделые)	Лго

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
176	Луговые солонцеватые и солончаковатые	Лгсн
177	Луговые слитые	Лгсл
178	Луговые (без разделения)	Лг
179	Солоди	Сд
180	Солоди болотные	Сдг
181	Солонцы (автоморфные)	Сн
182	Солонцы луговатые (полугидроморфные)	Снпл
183	Солонцы луговые (гидроморфные)	Снл
184	Солончаки типичные	Ск
185	Солончаки луговые	Скл
186	Солончаки соровые	Скс
187	Пойменные кислые	А
188	Пойменные слабокислые и нейтральные	Ан
189	Пойменные карбонатные	Ак
190	Пойменные засоленные	Аск
191	Пойменные слитые	Асл
192	Пойменные заболоченные	Ат
193	Пойменные луговые	Ал
194	Маршевые засоленные и солонцеватые	М
195	Высокогорные дерново-гольцовые	ВГд
196	Высокогорные степные	ВГс
197	Горные примитивные	Гпр
198	Горные щепнисто-органогенные	Гощ
199	Горно-луговые дерново-торфянистые	Глт
200	Горно-луговые дерновые	Глг

<b>ID</b>	<b>Наименование</b>	<b>Символ</b>
201	Горно-луговые черноземовидные	Глгч
202	Горные лугово-степные	Глс
203	Горные степные и холодно-степные (без разделения)	Гс
204	Горные лесные черноземовидные	Глч
205	Горные лесо-луговые	Глл

**Список наименований почвенных комплексов  
(выделы легенды Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2,5 млн).**

ID	Наименование выдела легенды	Символ	Композиция комплекса (ID почвы, непочвенного образования)		
206	Арктические и каменные многоугольники	Ар	2	308	
207	Арктические глеевые и каменные многоугольники	Га	5	308	
208	Тундровые глеевые торфянисто-перегнойные и каменные многоугольники	Гтп	9	308	
209	Подбуры темные тундровые, почвы пятен и каменные многоугольники	ПБт	11	16	308
210	Подбуры светлые тундровые, почвы пятен и каменные многоугольники	ПБс	12	16	308
211	Арктические, почвы пятен и мерзлотных трещин	Ар	2	16	308
212	Арктотундровые и тундровые слабооглеенные, гумусные, почвы пятен и мерзлотных трещин	Гтсг	6	16	308
213	Арктотундровые перегнойно-глеевые, почвы пятен и мерзлотных трещин	Гтп	7	16	308
214	Тундровые глеевые торфянистые и торфяные почвы мерзлотных трещин	Гтт	8	308	
215	Тундровые глеевые торфянисто-перегнойные, почвы пятен и мерзлотных трещин	Гтп	9	16	308

ID	Наименование выдела легенды	Символ	Композиция комплекса (ID почвы, непочвенного образования)		
216	Тундровые поверхностно-глеевые дифференцированные торфянисто-перегнойные, почвы пятен, арктотундровые перегнойно-глеевые и почвы мерзлотных трещин	Гто	10	16	7
217	Подбуры темные тундровые, почвы пятен и мерзлотных трещин	ПБтт	11	16	308
218	Подбуры светлые тундровые, почвы пятен и мерзлотных трещин	ПБтс	12	16	308
219	Подбуры тундровые (без разделения), почвы пятен и мерзлотных трещин	ПБт	13	16	308
220	Почвы пятен, арктотундровые слабооглеенные гумусные и почвы мерзлотных трещин	ТП	16	6	308
221	Таежные глеевые гумусово-перегнойные и почвы мерзлотных трещин	Гп	17	308	
222	Таежные глеевые торфянисто-перегнойные, почвы пятен и мерзлотных трещин	Гтп	18	16	308
223	Таежные глеевые и глееватые недифференцированные и почвы мерзлотных трещин	Г	19	308	
224	Таежные глеево-дифференцированные, почвы пятен и мерзлотных трещин	Го	20	16	308
225	Тундровые глеевые торфянистые и торфяные, торфянистые и торфяные болотные	Гтт	8	170	
226	Таежные глеевые гумусово-перегнойные, таежные глеевые торфянисто-перегнойные и торфянисто-и торфяно-глеевые болотные	Гп	17	18	170

ID	Наименование выдела легенды	Символ	Композиция комплекса (ID почвы, непочвенного образования)		
227	Таежные глеевые торфянисто-перегнойные и торфянистые и торфяно-глеевые болотные	Гтп	18	170	
228	Таежные глеево-дифференцированные и торфянистые и торфяно-глеевые болотные	Го	20	170	
229	Арктотундровые и тундровые слабооглеенные гумусные, почвы пятен и тундровые глеевые торфянистые и торфяные	Гтсг	6	16	8
230	Арктотундровые перегнойно-глеевые, почвы пятен и тундровые глеевые торфянистые и торфяные	Гтп	7	16	8
231	Тундровые глеевые торфянистые и торфяные, торфянисто и торфяно-глеевые болотные и почвы пятен	Гтт	8	170	16
232	Тундровые глеевые торфянисто-перегнойные, тундровые глеевые торфянистые и торфяные	Гтп	9	8	
233	Тундровые поверхностно-глеевые дифференцированные торфянисто-перегнойные тундровые глеевые торфянистые и торфяные	Гто	10	8	
234	Подбуры темные тундровые, тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы пятен	ПБтт	11	8	16
235	Подбуры светлые тундровые, тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы пятен	ПБтс	12	8	16
236	Подбуры тундровые (без разделения), тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы пятен	ПБт	13	8	16

ID	Наименование выдела легенды	Символ	Композиция комплекса (ID почвы, непочвенного образования)		
237	Подзолы иллювиально- мало- и многогумусовые и подзолы глеевые торфяные и торфянистые	Поиг	59	63	
238	Подбуры сухоторфянистые и подбуры темные тундровые	ПБст	66	11	
239	Тундровые поверхностно-глеевые дифференцированные, тундровые глеевые торфянисто-перегнойные и почвы пятен	Гто	10	9	16
240	Подбуры светлые тундровые и почвы пятен	ПБтс	13	16	
241	Таежные глеевые и глееватые недифференцированные и почвы пятен	Г	19	16	
242	Таежные глеевые гумусово-перегнойные и почвы пятен	Гп	17	16	
243	Таежные глеевые торфянисто-перегнойные и почвы пятен	Гтп	18	16	
244	Таежные глеево-дифференцированные и почвы пятен	Го	20	16	
245	Глееземы арктические и почвы мерзлотных трещин	Га	5	308	
246	Торфянисто- и торфяно-глеевые болотные и почвы мерзлотных трещин	Гт	170	308	
247	Пойменные заболоченные и почвы мерзлотных трещин	Ат	192	308	
248	Торфянисто- и торфяно-глеевые болотные, тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы мерзлотных трещин	Гт	170	8	308
249	Торфяные болотные переходные, тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы мерзлотных трещин	Тп	165	8	308

ID	Наименование выдела легенды	Символ	Композиция комплекса (ID почвы, непочвенного образования)		
250	Пойменные заболоченные, тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы мерзлотных трещин	Аг	192	8	308
251	Торфяные болотные верховые и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)	Тв	164	163	
252	Торфяные болотные переходные и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)	Тп	165	163	
253	Торфяные болотные низинные и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)	Тн	166	163	
254	Торфяные болотные верховые и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)	Тв	164	163	
255	Торфяные болотные переходные и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)	Тп	165	163	
256	Торфяные болотные верховые и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся)	Тв	164	163	
257	Торфяные болотные верховые и торфяные болотные переходные	Тв	164	165	
258	Торфяные болотные переходные и торфяные болотные низинные	Тп	165	166	
259	Торфяные болотные низинные и торфяные болотные переходные	Тн	166	165	
260	Торфяные болотные верховые и торфяные болотные переходные с мелкими термокарстовыми озерами	Тв	164	165	

ID	Наименование выдела легенды	Символ	Композиция комплекса (ID почвы, непочвенного образования)		
261	Черноземы солонцеватые и солонцы (автоморфные)	Чсн	132	181	
262	Темно-каштановые солонцеватые и солончаковатые и солонцы (автоморфные)	Ктсн	151	181	
263	Каштановые солонцеватые и солончаковатые и солонцы (автоморфные)	Ксн	152	181	
264	Светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые и солонцы (автоморфные)	Кссн	153	181	
265	Солонцы (автоморфные) и каштановые солонцеватые и солончаковатые	Сн	181	152	
266	Солонцы (автоморфные) и светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Сн	181	153	
267	Светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые, солонцы луговатые (полугидроморфные) и лугово-каштановые	Кссн	153	182	155
277	Каштановые, лугово-каштановые и солонцы луговатые (полугидроморфные)	К	144	155	182
278	Темно-каштановые солонцеватые и солончаковатые, солонцы луговатые (полугидроморфные) и лугово-каштановые	Ктсн	151	182	155
279	Солонцы луговатые (полугидроморфные), светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые и лугово-каштановые	Снпл	182	153	155
280	Солонцы луговатые (полугидроморфные), лугово-каштановые и светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Снпл	182	155	153
281	Солонцы луговатые (полугидроморфные) и лугово-черноземные	Снпл	182	136	

ID	Наименование выдела легенды	Символ	Композиция комплекса (ID почвы, непочвенного образования)		
282	Подбуры тундровые (без разделения) и каменные многоугольники	ПБТ	13	308	
288	Солонцы луговатые (полугидроморфные) и лугово-каштановые	Снпл	182	155	
289	Солонцы (автоморфные) и солоди	Сн	181	179	
290	Лугово-черноземные и солонцы луговатые (полугидроморфные)	Чл	136	182	
291	Лугово-черноземные солонцеватые и солончаковатые и солонцы луговатые (полугидроморфные)	Члсн	140	182	
292	Темно-каштановые и солонцы (автоморфные)	Кт	143	181	
293	Каштановые солонцеватые и солончаковатые и солонцы (автоморфные)	Ксн	152	181	
294	Светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые и солонцы (автоморфные)	Кссн	153	181	
295	Бурые солонцеватые и солонцы (автоморфные)	Бсн	158	181	
296	Луговые солонцеватые и солончаковатые и солонцы луговые (гидроморфные)	Лгсн	176	183	
297	Солонцы (автоморфные) и каштановые солонцеватые и солончаковатые	Сн	181	152	
298	Солонцы (автоморфные) и светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Сн	181	153	
299	Солонцы (автоморфные) и бурые солонцеватые	Сн	181	158	
300	Солонцы луговые (гидроморфные) и солончаки луговые	Снл	183	185	

ID	Наименование выдела легенды	Символ	Композиция комплекса (ID почвы, непочвенного образования)		
301	Солончаки типичные и солонцы луговые (гидроморфные)	Ск	184	183	
302	Солончаки луговые и луговые солонцеватые и солончаковатые	Скл	185	176	

Приложение 3

**Список выделов непочвенных образований  
(выделы легенды Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2,5 млн).**

ID	Наименование выдела легенды	Символ
303	Каменистые россыпи	303
304	Рыхлые породы	304
305	Пески	Пс
306	Ледники и материковые льды	306
307	Вода	307
308	Почвы мерзлотных трещин	308

Приложение 4

**Композиция почвенных полигонов  
(Почвенная карта РСФСР масштаба 1:2,5 млн).**

Количество почв в полигоне	Доля участия фоновой (первой) почвы, %	Описание
1	Более 85	Простой полигон с указанием одной фоновой почвы
2	85–75	Сложный полигон с указанием одной сопутствующей почвы
3	75–65	Сложный полигон с указанием двух сопутствующих почв
4	65–55	Сложный полигон с указанием трех сопутствующих почв

**Список и коды почв Росземпроект  
сельскохозяйственных угодий земледельческой зоны РФ**

№ п.п.	Код, ID <sub>ZEM</sub>	Наименование
1	171	Мерзлотные таежные
2	172	Мерзлотные таежные палево-дерновые
3	181	Глееподзолистые
4	182	Подзолистые
5	183	Дерново-подзолистые
6	201	Торфянисто-подзолистые
7	202	Торфяно-подзолистые
8	203	Перегоннойно-подзолистые
9	211	Дерново-карбонатные типичные
10	212	Дерново-карбонатные выщелоченные
11	213	Дерново-карбонатные оподзоленные
12	214	Дерново-перегоннойно-глеевые
13	241	Светло-серые лесные
14	242	Серые лесные
15	243	Темно-серые лесные
16	251	Светло-серые лесостепные
17	252	Серые лесостепные
18	253	Темно-серые лесостепные
19	261	Бурые лесные
20	262	Бурые лесные остаточно-пойменные
21	271	Лугово-бурые

№ п.п.	Код, ID <sub>ZEM</sub>	Наименование
22	272	Луговые (Дальний Восток)
23	273	Лугово-черноземовидные
24	281	Подзолисто-бурые лесные
25	291	Лугово-дерновые, дерновые
26	331	Черноземы оподзоленные
27	332	Черноземы выщелоченные
28	333	Черноземы типичные
29	334	Черноземы обыкновенные
30	335	Черноземы южные
31	336	Черноземы (без наименования подтипа)
32	341	Луговато-черноземные
33	342	Лугово-черноземные
34	343	Лугово-черноземовидные
35	351	Темно-каштановые
36	352	Каштановые
37	353	Светло-каштановые
38	356	Каштановые (без наименования подтипа)
39	361	Луговато-каштановые
40	362	Лугово-каштановые
41	371	Луговые
42	372	Влажно-луговые
43	381	Бурые полупустынные
44	391	Луговато-бурые полупустынные
45	392	Лугово-бурые полупустынные
46	421	Горные лугово-степные субальпийские

№ п.п.	Код, ID <sub>ZEM</sub>	Наименование
47	422	Горные лугово-степные альпийские
48	431	Горно-луговые черноземовидные типичные
49	432	Горно-луговые черноземовидные выщелоченные
50	433	Горно-луговые черноземовидные карбонатные
51	441	Горно-луговые альпийские
52	442	Горно-луговые субальпийские
53	591	Коричневые типичные
54	601	Луговато-коричневые
55	602	Лугово-коричневые
56	611	Лугово-лесные серые
57	612	Влажно-лугово-лесные серые
58	621	Желтоземы
59	641	Подзолисто-желтоземные
60	671	Торфяно-глеевые болотные верховые
61	672	Торфяные болотные верховые
62	683	Торфяно глеевые болотные низинные
63	684	Торфяные болотные низинные
64	691	Торфяно-глеевые болотные переходные
65	692	Торфяные болотные переходные
66	701	Болотные иловато-глеевые
67	711	Лугово-болотные перегнойные
68	712	Лугово-болотные иловатые и иловато-глеевые
69	731	Солоди лугово-степные (дерново-глееватые)
70	732	Солоди луговые (дерново-глеевые)
71	733	Солоди лугово-болотные

№ п.п.	Код, ID <sub>ZEM</sub>	Наименование
72	741	Солонцы черноземные
73	742	Солонцы каштановые
74	743	Солонцы полупустынные
75	751	Солонцы лугово-черноземные
76	752	Солонцы лугово-каштановые
77	753	Солонцы лугово-полупустынные
78	761	Солонцы черноземно-луговые
79	762	Солонцы каштаново-луговые
80	763	Солонцы лугово-болотные
81	771	Солончаки автоморфные типичные
82	781	Солончаки гидроморфные типичные
83	782	Солончаки луговые
84	783	Солончаки болотные
85	791	Аллювиальные дерновые кислые слоистые примитивные
86	792	Аллювиальные дерновые кислые слоистые
87	793	Аллювиальные дерновые кислые (в т. ч. зернистые)
88	801	Аллювиальные дерновые насыщенные слоистые примитивные
89	802	Аллювиальные дерновые насыщенные слоистые
90	803	Аллювиальные дерновые насыщенные остепняющиеся
91	804	Аллювиальные дерновые насыщенные (в т. ч. зернистые)
92	821	Аллювиальные луговые кислые слоистые примитивные
93	822	Аллювиальные луговые кислые слоистые
94	823	Аллювиальные луговые кислые
95	831	Аллювиальные луговые насыщенные слоистые примитивные

№ п.п.	Код, ID <sub>ZEM</sub>	Наименование
96	832	Аллювиальные луговые насыщенные слоистые
97	833	Аллювиальные луговые насыщенные остепняющиеся
98	834	Аллювиальные луговые насыщенные
99	851	Аллювиальные лугово-болотные
100	852	Аллювиальные лугово-болотные оторфованные
101	861	Аллювиальные болотные иловато-глеевые
102	862	Аллювиальные болотные перегнойно-глеевые
103	871	Аллювиальные болотные иловато-торфяные глеевые
104	872	Аллювиальные болотные иловато-торфяные
105	931	Почвы балочных склонов
106	932	Аллювиально-делювиальные днищ балок
107	933	Переотложенные и искусственно аккумулятивные, почвы террасированных склонов
108	941	Пески прирусловые
109	942	Непочвенные образования
110	951	Пески задернованные
111	954	Пески развеваемые (бугристые)
112	997	Смытые и намывные почвы овражно-балочного комплекса

### Коды типов литологического строения почв (почвообразующие и подстилающие породы)

Код	Тип литологического строения
1	Без указания пород
2	Водопроницаемые (коэффициент фильтрации $K_f = 0,1 - 1,0$ м/сут.) суглинки и глины <sup>2</sup> мощностью более 1 м (легко- и среднесуглинистые почвы с гумусовым горизонтом менее 0,5 м на лессах, лессовидных супесях и суглинках, легких моренных суглинках, а также почвы с мощными и сверхмощными слабо уплотненными гумусовыми горизонтами тяжелого гранулометрического состава и т. п.)
3	Водопроницаемые суглинки и глины, подстилаемые в пределах 0,5 м от поверхности почвы плотными слабоводопроницаемыми ( $K_f = 0,1 - 0,01$ м/сут.) суглинками и глинами (суглинистые и глинистые почвы с гумусовым горизонтом менее 0,5 м на моренных и водно-ледниковых средних и тяжелых суглинках и глинах, бескарбонатных лессовидных глинах, солонцы, слитые и солонцеватые черноземы и т. п.)
4	Водопроницаемые суглинки и глины, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м плотными слабоводопроницаемыми суглинками и глинами (легко- и среднесуглинистые почвы с гумусовым горизонтом менее 0,5 м, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м моренными и водно-ледниковыми средними и тяжелыми суглинками и глинами, бескарбонатными лессовидными глинами и т. п.)
5	<u>Водопроницаемые суглинки и глины, подстилаемые в пределах 0,5 м от поверхности плотными очень слабо-водопроницаемыми (<math>K_f &lt;</math></u>
6	Водопроницаемые суглинки и глины, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м плотными очень слабо-водопроницаемыми суглинками и глинами (легко- и среднесуглинистые почвы с гумусовым горизонтом менее 0,5 м, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м третичными глинами, озерно-ледниковыми ленточными глинами и т. п.)
7	Водопроницаемые суглинки и глины, подстилаемые в пределах 0,5 м от поверхности песками и супесями (легко- и среднесуглинистые почвы на покровных суглинках, подстилаемых песками)
8	Водопроницаемые суглинки глины, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м песками и супесями (легко- и среднесуглинистые почвы на покровных суглинках, подстилаемых песками)

Код	Тип литологического строения
9	Водопроницаемые суглинки и глины, подстилаемые в пределах 0,3 м от поверхности галечниками, щебнисто-каменистым элюво-делювием коренных пород (известняки, глинистые сланцы и т.п.) и другими подобными плотными породами с хорошей и провальной водопроницаемостью (Кф>
10	Водопроницаемые суглинки и глины, подстилаемые на глубине 0,3–0,5 м плотными породами с хорошей и провальной водопроницаемостью (известняками, глинистыми сланцами и т. п.)
11	Водопроницаемые суглинки и глины, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м плотными породами с хорошей и провальной водопроницаемостью (известняками, глинистыми сланцами и т. п.)
12	Пески мощностью более 1 м.
13	Пески, подстилаемые в пределах 0,5 м от поверхности водоупорными (Кф<
14	Пески, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м водоупорными суглинками и глинами (моренными и водноледниковыми суглинками и глинами и т. п.)
15	Торф мощностью более 1 м
16	Торф мощностью 0,5–1,0 м на суглинках и глинах различного происхождения (моренных, озерно-ледниковых и пр.)
17	Торф мощностью 0,5–1,0 м на песках
18	Торф мощностью менее 0,5 м на суглинках и глинах различного происхождения (моренных, озерно-ледниковых и пр.)
19	Торф мощностью менее 0,5 м на песках
20	Торф мощностью менее 0,5 м на сапропелях
21	Супеси песчаные мощностью более 1 м
22	Супеси песчаные, подстилаемые в пределах 0,5 м от поверхности водоупорными суглинками и глинами.
23	Супеси песчаные, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м водоупорными суглинками и глинами
24	Легкие суглинки песчаные мощностью более 1 м
25	Легкие суглинки песчаные, подстилаемые в пределах 0,5 м от поверхности водоупорными суглинками и глинами (моренными и водноледниковыми суглинками и глинами и т. п.)

Код	Тип литологического строения
26	Легкие суглинки песчаные, подстилаемые на глубине 0,5–1,0 м водоупорными суглинками и глинами (моренными и водноледниковыми суглинками и глинами и т. п.)
27	Почвы с хорошо водопроницаемыми ( $K_f \sim 1,0$ м/сут. и более) гумусовыми горизонтами (с объемной массой не более $1,30-1,35$ г/см <sup>3</sup> ) мощностью более 1,0 м (например, сверхмощные и мощные суглинистые черноземы)
28	Почвы с хорошо водопроницаемыми гумусовыми горизонтами, подстилаемыми на глубине 0,5–1,0 м водопроницаемыми суглинками (легко- и среднесуглинистые черноземы с гумусовыми горизонтами 0,5–1,0 м на лессах и лессовидных легких и средних суглинках)
29	Почвы с хорошо водопроницаемыми гумусовыми горизонтами, подстилаемыми на глубине 0,5–1,0 м плотными слабоводопроницаемыми тяжелыми суглинками и глинами (суглинистые черноземы, подстилаемые лессовидными тяжелыми суглинками и глинами)

**Коды дополнительных свойств почв**

Код	Дополнительное свойство
1	Без указания дополнительных свойств
2	Слабо смытые
3	Средне смытые
4	Сильно смытые
5	Слабо дефлированные
6	Средне дефлированные
7	Сильно дефлированные
8	Солончаковые слабо засоленные
9	Солончаковые средне засоленные
10	Солончаковые сильно засоленные
11	Солончаковатые слабо засоленные
12	Солончаковатые средне засоленные
13	Солончаковатые сильно засоленные
14	Солончаковые очень сильно засоленные
15	Очень сильно солонцеватые
18	Слабосолонцеватые
19	Среднесолонцеватые
20	Сильносолонцеватые
21	Остаточносолонцеватые
25	Поверхностно- и профильно-слабоглееватые
26	Поверхностно- и профильно-глееватые
27	Поверхностно- и профильно-глеевые

28	Глубоко-слабogleеватые
29	Глубоко-глееватые
30	Глубоко-глеевые
31	Осолоделые
32	Слитые
33	Уплотненные
34	Остаточно-карбонатные
35	Неполноразвитые
36	Слабокаменистые
37	Среднекаменистые
38	Сильно каменистые
39	Очень сильно каменистые
40	Слабощебнистые, галечниковые
41	Среднещебнистые, галечниковые
42	Сильно- и очень сильно щебнистые, галечниковые
43	Слабо уплотненные
44	Корковые солонцы
45	Мелкие солонцы
46	Средние солонцы
47	Глубокие, в т. ч. без указания мощности надсолонцового горизонта
48	Переговойные
49	Переговойно-торфяные
50	Торфяные
51	Слабомочаковатые
52	Среднемочаковатые
53	Сильномочаковатые

54	Слабоподтопляемые
55	Среднеподтопляемые
56	Сильноподтопляемые
57	Карбонатные
59	Выщелоченные
60	Слаборазмываемые
61	Среднеразмываемые
62	Сильноразмываемые
63	Глубокослабосолончаковатые
64	Глубокосреднесолончаковатые
65	Глубокосильносолончаковатые
66	Поверхностнозабалачиваемые
67	Слаборазмытые
68	Среднеразмытые
69	Сильноразмытые
70	Насыщенные
71	Оподзоленные
72	Намытые
81	Горные
82	Мерзлотные
83	Остаточно-карбонатные на мелах
97	Недостаточно осушенные болотные, пригодные под естественные кормовые угодья
98	Осушенные болотные под сенокос
99	Осушенные болотные под пашню и пастбище

**Коды негативных свойств почв**

<b>Код</b>	<b>Характеристика свойства</b>
1	Отсутствуют
2	Подверженные затоплению паводковыми водами
3	Подверженные водной эрозии слабо
4	Подверженные водной эрозии средне
5	Подверженные водной эрозии сильно
7	Подверженные дефляции слабо
8	Подверженные дефляции средне
9	Подверженные дефляции сильно
10	Засоленные слабо
11	Засоленные средне
12	Засоленные сильно
13	Солончаки
14	Солонцеватые слабо
15	Солонцеватые средне
16	Солонцеватые сильно
17	Солонцы
18	Избыточно увлажненные кратковременно
19	Избыточно увлажненные временно /слабо заболоченные/
20	Избыточно увлажненные длительно /средне заболоченные/
21	Избыточно увлажненные постоянно /сильно заболоченные/
22	Легкие
23	Уплотненные тяжелые /в слое 0–0,5 м/

24	Уплотненные тяжелые /в слое 0,5–1,0 м/
25	Каменистые слабо
26	Каменистые средне
27	Каменистые сильно
28	Каменистые очень сильно
29	Щебнистые слабо
30	Щебнистые средне
31	Щебнистые сильно
32	Щебнистые очень сильно
33	Маломощные /мощность почвенного слоя менее 0,3 м/
34	Маломощные /0,3–0,5 м/
35	Маломощные /0,5–1,0 м/
37	Технологически непригодные
38	Карбонатные
39	Карбонатные на мелах (неполноразвитые)
40	Экологические ограничения
41	Склоновые пологие
42	Склоновые покатые
43	Склоновые сильно покатые
44	Крутосклоновые
45	Очень крутосклоновые

*Приложение 9*

**Коды мелиоративного состояния земель**

<b>Код</b>	<b>Мелиоративное состояние</b>
1	Богарные
2	Орошаемые
3	Осушенные
4	Орошаемые на осушенных
5	Недостаточно осушенные

*Приложение 10*

**Справочник пригодности почв**

<b>Код</b>	<b>Пригодность</b>
1	Пригодные под пашню
2	Пригодные под кормовые угодья
5	Непригодные для использования без мелиорации
7	Непригодные для сельского хозяйства
8	Уникальные

Крутизна склонов

Мощность гумусового горизонта, см	Тип литологического строения почвы, коды	Пологие и очень пологие, неэрозионноопасные и очень слабо-эрозионноопасные		Покатые, слабо-эрозионно-опасные		Сильно покатые, средне-эрозионно-опасные		Крутые, сильно-эрозионно-опасные		Очень крутые, очень сильно-эрозионно-опасные	
		Уклон в град.	К	Уклон в град.	К	Уклон в град.	К	Уклон в град.	К	Уклон в град.	К
>	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 27, 28, 29	0-3	1,0	3,1-5,0	0,95	5,1-10,0	0,90	10,1-20,0	0,80	>	0,75
J	2, 4, 7, 8	0-2	1,0	2,1-4,0	0,95	4,1-8,0	0,85	8,1-20,0	0,75	>	0,75
J	3, 5, 6	0-2	1,0	2,1-4,0	0,90	4,1-8,0	0,80	8,1-20,0	0,75	>	0,75
любая	9, 10, 11	0-2	1,0	2,1-4,0	0,90	4,1-8,0	0,80	8,1-20,0	0,75	>	0,75
любая	12, 14, 21, 23, 24, 26	0-3	1,0	3,1-5,0	0,95	5,1-10,0	0,90	10,1-20,0	0,80	>	0,75
любая	13, 22, 25	0-2	1,0	2,1-4,0	0,90	4,1-8,0	0,85	8,1-20,0	0,75	>	0,75

**Номенклатурно-таксономическая корреляция  
выделов почв ЕГРПР со списком почв Росземпроекта**

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
1	Арктические пустынные				
2	Арктические				
3	Арктические карбонатные				
4	Арктические гидроморфные неглеевые				
5	Глееземы арктические				
6	Арктотундровые слабооглеенные гумусные (глеоземы и слабоглеые гумусные тундровые)				
7	Арктотундровые перетнойно-глеые (глеоземы перетнойные тундровые)				
8	Тундровые глеевые торфянистые и торфяные (глеоземы торфянистые и торфяные тундровые)				

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
9	Тундровые глеевые торфянисто-перетнойные (глеезема торфянистые и перетнойные тундровые)				
10	Тундровые поверхностно-глеевые дифференцированные торфянисто-перетнойные (глеезема дифференцированные, в том числе оподзоленные, тундровые)				
11	Подбуры темные тундровые				
12	Подбуры светлые тундровые				
13	Подбуры тундровые (без разделения)				
14	Перетнойно-карбонатные тундровые				
15	Почвы тундровых луговин				

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
16	Почвы пятен, в том числе засоленные, арктические и тундровые слабобиогенные деструктивные				
17	Таяжные глеевые гумусово-перегнойные (глееземы слабоглеевые гумусово-перегнойные таяжные)				
18	Таяжные глеевые торфянисто-перегнойные (глееземы торфянисто-перегнойные таяжные)				
19	Таяжные глеевые и глееватые недифференцированные (глееземы таяжные)				
20	Таяжные глеево-дифференцированные (глееземы и слабоглеевые дифференцированные, в том числе оподзоленные таяжные)				

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
21	Тяжелые глеево-дифференцированные торфянистые (глееземы и слаботорфяные дифференцированные торфянистые, в том числе оподзоленные тяжёлые)				
22	Тяжелые торфянисто-перетнойные высокогумусные неоглеенные				
23	Глее-подзолистые	Подзолистые	Глее-подзолистые		
24	Глее-подзолистые со вторым осветленным горизонтом	Подзолистые	Глее-подзолистые	со вторым осветленным горизонтом	
25	Подзолистые, преимущественно мелкоподзолистые	Подзолистые	Подзолистые		мелкоподзолистые
26	Подзолистые, преимущественно неглубокоподзолистые	Подзолистые	Подзолистые		неглубокоподзолистые
27	Подзолистые, преимущественно глубокоподзолистые	Подзолистые	Подзолистые		глубокоподзолистые

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
28	Подзолистые, преимущественно сверхглубокоподзолистые	Подзолистые	Подзолистые		сверхглубокоподзолистые
29	Подзолистые (без разделения)	Подзолистые	Подзолистые		
30	Подзолистые со вторым осветленным горизонтом	Подзолистые	Подзолистые	со вторым осветленным горизонтом	
31	Подзолистые со вторым гумусовым горизонтом	Подзолистые	Подзолистые	со вторым гумусовым горизонтом	
32	Подзолистые остаточно- карбонатные	Подзолистые	Подзолистые	остаточно- карбонатные	
33	Подзолистые поверхностно-глееватые				
34	Подзолистые глубокоглееватые и глеевые (местами с поверхностной глеватостью), преимущественно глубокие и сверхглубокие				
35	Подзолистые надмерзлотно-глееватые				

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
36	Торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые	Болотно-подзолистые	Торфяно-подзолисто-глеевые Торфянисто-подзолисто-глеевые		
37	Торфяно- и торфянисто-подзолистые глеевые со вторым гумусовым горизонтом	Болотно-подзолистые	Торфяно-подзолистые глеевые Торфянисто-подзолистые глеевые	со вторым гумусовым горизонтом	
38	Дерново-подзолистые преимущественно мелко- и нетлубокоподзолистые	Дерново-подзолистые			мелкоподзолистые нетлубокоподзолистые
39	Дерново-подзолистые преимущественно нетлубокоподзолистые	Дерново-подзолистые			нетлубокоподзолистые
40	Дерново-подзолистые преимущественно тлубокоподзолистые	Дерново-подзолистые			тлубокоподзолистые
41	Дерново-подзолистые преимущественно сверхтлубокоподзолистые	Дерново-подзолистые			сверхтлубокоподзолистые
42	Дерново-подзолистые (без разделения)	Дерново-подзолистые			

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
43	Дерново-подзолистые со вторым осветленным горизонтом	Дерново- подзолистые		со вторым осветленным горизонтом	
44	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом преимущественно глубокие	Дерново- подзолистые		со вторым гумусовым горизонтом	глубокие
45	Дерново-подзолистые со вторым гумусовым горизонтом глубокоглеватые преимущественно глубокие	Дерново- подзолистые		со вторым гумусовым горизонтом	глубокоглеватые глубокие
46	Дерново-подзолистые поверхностно-глеватые преимущественно глубокие и сверхглубокие	Дерново- подзолистые		поверхностно- глеватые	глубокие сверхглубокие
47	Дерново-подзолистые глубокоглеватые и поверхностно-глеватые (в том числе преимущественно глубокие)	Дерново- подзолистые	Грунтово-оглеенные		глубокоглеватые глеватые глубокие

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
48	Дерново-подзолистые остаточно-карбонатные	Дерново- подзолистые	Поверхностно-оглеенные	остаточно- карбонатные	
49	Дерново-подзолистые остаточно-карбонатные со вторым гумусовым горизонтом	Дерново- подзолистые		остаточно- карбонатные со вторым гумусовым горизонтом	
50	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые	Дерново- подзолистые		иллювиально- железистые	
51	Дерново-подзолистые слабонасыщенные и вторично-насыщенные	Дерново- подзолистые			
52	Дерново-палево- подзолистые и подзолисто- буроземные				
53	Дерново-палево- подзолистые и подзолисто-буроземные глубокоглеватые и глеевые				
54	Дерново-подзолисто-глеевые				

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
55	Дерново-подзолисто- глеевые со вторым гумусовым горизонтом				
56	Подзолы иллювиально- железистые (подзолы иллювиально- малогумусовые)	Подзолистые	Дерново-подзолистые (Подзолы)	иллювиально- железистые иллювиально- малогумусовые	
57	Подзолы иллювиально- гумусовые (подзолы иллювиально- многогумусовые)	Подзолистые	Дерново-подзолистые (Подзолы)	иллювиально- гумусовые иллювиально- многогумусовые	
58	Подзолы иллювиально- железистые и иллювиально-гумусовые без разделения (подзолы иллювиально- мало- и многогумусовые)	Подзолистые	Дерново-подзолистые (Подзолы)	иллювиально- железистые иллювиально- малогумусовые иллювиально- многогумусовые	
59	Подзолы сухоторфянистые				
60	Подзолы со вторым осветленным горизонтом (контактно-глеватые)				
61	Подзолы охристые				

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
62	Подзолы глеевые торфянистые и торфяные, преимущественно иллювиально-гумусовые				
63	Подбуры темные таежные				
64	Подбуры светлые таежные				
65	Подбуры таежные (без разделения)				
66	Подбуры сухоторфянистые				
67	Подбуры охристые				
68	Буро-таежные иллювиально-гумусовые (буроземы грубогумусовые иллювиально-гумусовые)				
69	Буро-таежные (буроземы грубогумусовые)				
70	Буро-таежные перегнойно-аккумулятивно-гумусовые (буроземы перегнойно-аккумулятивно-гумусовые)				

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
71	Буро-таежные глиевые (буроземы глубокомусовые глеевые)				
72	Дерново-таежные кислые (дерново-буроземные кислые)				
73	Дерново-таежные насыщенные (дерново-буроземные слабонасыщенные и насыщенные)				
74	Дерново-таежные железистые (дерново- буроземные железистые)				
75	Дерново-таежные глеватые и глеевые (дерново-буроземные глеватые и глеевые)				
76	Палевые перегнойные				
77	Палевые типичные				
78	Палевые оподзоленные				
79	Палевые карбонатные				

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
80	Палевые осолоделые				
81	Серопалевые				
82	Перегнойно-карбонатные				
83	Дерново-карбонатные (включая выщелоченные и оподзоленные)	Дерново- карбонатные	Дерново-карбонатные выщелоченные Дерново-карбонатные оподзоленные		
84	Дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	Дерново-глеевые Глеевые заболоченные почвы	Перегнойно-глеевые		
85	Дерново-глеевые оподзоленные	Дерново-глеевые			
86	Грануземы				
87	Грануземы глеевые				
88	Вулканические иллювиально-гумусовые тундровые				
89	Вулканические слоисто- пепловые				

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
90	Вулканические сухоторфянистые				
91	Вулканические торфянисто-перегнойные				
92	Вулканические охристые, включая оподзоленные				
93	Вулканические светло- охристые, включая оподзоленные				
94	Вулканические подзолисто-охристые				
95	Вулканические слоисто- охристые				
96	Бурые лесные кислые (буроземы кислые)	Бурые лесные	Бурые лесные кислые		
97	Бурые лесные кислые оподзоленные (буроземы кислые оподзоленные)	Бурые лесные	Бурые лесные кислые оподзоленные		
98	Бурые лесные слабонасыщенные (буроземы слабонасыщенные)	Бурые лесные	Бурые лесные ненасыщенные		

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
99	Бурые лесные слабонасыщенные оподзоленные (буроземы слабонасыщенные оподзоленные)	Бурые лесные	Бурые лесные слабонасыщенные оподзоленные		
100	Бурые лесные остаточ- карбонатные (буроземы остаточно-карбонатные)	Бурые лесные		остаточно- карбонатные	
101	Бурые лесные глееватые и глеевые (буроземы глееватые и глеевые)	Бурые лесные глеевые	Бурые лесные глееватые Бурые лесные глеевые		
102	Светло-серые лесные	Серые лесные	Светло-серые лесные		
103	Серые лесные	Серые лесные	Серые лесные		
104	Темно-серые лесные	Серые лесные	Темно-серые лесные		
105	Буровато-светло-серые лесные и серые лесные (переходные к бурым лесным)				
106	Буровато-темно-серые лесные (переходные к бурым лесным)				

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
107	Серые лесные остаточнокarbonатные	Серые лесные	Серые лесные	остаточнокarbonатные	
108	Серые лесные осолоделые (в том числе со вторым гумусовым горизонтом)	Серые лесные	Серые лесные	осолоделые со вторым гумусовым горизонтом	
109	Светло-серые лесные со вторым гумусовым горизонтом, в том числе глубинно-глеватые	Серые лесные	Светло-серые лесные	со вторым гумусовым горизонтом	???
110	Серые лесные со вторым гумусовым горизонтом, в том числе глубинно-глеватые	Серые лесные	Серые лесные	со вторым гумусовым горизонтом	???
111	Темно-серые лесные со вторым гумусовым горизонтом, в том числе глубинно-глеватые	Серые лесные	Темно-серые лесные	со вторым гумусовым горизонтом	???
112	Серые лесные неопозоленные	Серые-лесные	Серые-лесные	неопозоленные	
113	Серые лесные неполноразвитые	Серые-лесные	Серые-лесные	неполноразвитые	

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
114	Серые лесные глееватые и глеевые	Серые лесные глеевые	Серые лесные глееватые Серые лесные глеевые		
115	Боровые пески	Боровые пески			
116	Черноземы оподзоленные	Черноземы	Черноземы оподзоленные		
117	Черноземы выщелоченные	Черноземы	Черноземы выщелоченные		
118	Черноземы типичные	Черноземы	Черноземы типичные		
119	Черноземы обыкновенные	Черноземы	Черноземы обыкновенные		
120	Черноземы южные	Черноземы	Черноземы южные		
121	Черноземы оподзоленные мицелиарно-карбонатные (черноземы оподзоленные глубокие)	Черноземы	Черноземы оподзоленные	мицелиарно- карбонатные (фациальный подтип)	
122	Черноземы выщелоченные мицелиарно-карбонатные (черноземы глубокие выщелоченные)	Черноземы	Черноземы выщелоченные	мицелиарно- карбонатные (фациальный подтип)	

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
123	Черноземы типичные мицелирно-карбонатные (черноземы глубокие слабовыщелоченные)	Черноземы	Черноземы типичные	мицелирно- карбонатные (фациальный подтип)	
124	Черноземы южные и обыкновенные мицелирно-карбонатные (черноземы глубокие карбонатные)	Черноземы	Черноземы южные Черноземы обыкновенные	мицелирно- карбонатные (фациальный подтип)	
125	Черноземы языковатые и карманистые выщелоченные	Черноземы	Черноземы выщелоченные	языковатые (фациальный подтип) карманистые (фациальный подтип)	
126	Черноземы языковатые обыкновенные	Черноземы	Черноземы обыкновенные	языковатые (фациальный подтип)	
127	Черноземы языковатые южные	Черноземы	Черноземы южные	языковатые (фациальный подтип)	
128	Черноземы мучнисто- карбонатные, включая выщелоченные, типичные, обыкновенные и южные (черноземы промывные)	Черноземы	Черноземы выщелоченные Черноземы типичные Черноземы обыкновенные Черноземы южные	мучнисто- карбонатные (фациальные подтипы)	

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
129	Черноземы глубоко- вскипающие и бескар- бонатные на легких породах	Черноземы		глубоковскипающие бескарбонатные	
130	Черноземы остаточно- карбонатные	Черноземы		остаточно- карбонатные	
131	Черноземы осолоделые	Черноземы		осолоделые	
132	Черноземы солонцеватые	Черноземы		солонцеватые	
133	Черноземы слитые	Черноземы		слитые	
134	Черноземы без разделения, преимущественно неполноразвитые	Черноземы		неполноразвитые	
135	Серопески				
136	Лугово-черноземные	Лугово- черноземные	Лугово-черноземные		
137	Лугово-черноземные выщелоченные	Лугово- черноземные	Лугово-черноземные	выщелоченные	
138	Лугово-черноземные карбонатные	Лугово- черноземные	Лугово-черноземные	карбонатные	
139	Лугово-черноземные осолоделые	Лугово- черноземные	Лугово-черноземные	осолоделые	

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
140	Лугово-черноземные солонцеватые и солончаковатые	Лугово-черноземные	Лугово-черноземные	солонцеватые солончаковатые	
141	Лугово-черноземные слитые	Лугово-черноземные	Лугово-черноземные	слитые	
142	Лугово-черноземовидные Амурских прерий	Лугово-черноземовидные			
143	Темно-каштановые	Каштановые	Темно-каштановые		
144	Каштановые	Каштановые	Каштановые		
145	Светло-каштановые	Каштановые	Светло-каштановые		
146	Темно-каштановые мицелирно-карбонатные (темно-каштановые глубокие)	Каштановые	Темно-каштановые	мицелирно-карбонатные (фациальный подтип)	
147	Каштановые мицелирно-карбонатные (каштановые глубокие)	Каштановые	Каштановые	мицелирно-карбонатные (фациальный подтип)	
148	Светло-каштановые мицелирно-карбонатные (светло-каштановые глубокие)	Каштановые	Светло-каштановые	мицелирно-карбонатные (фациальный подтип)	

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
149	Каштановые мучнисто-карбонатные без разделения (каштановые промытые)	Каштановые	Каштановые	мучнисто-карбонатные (фациальный подтип)	
150	Темно-каштановые остаточно-карбонатные и карбонатные	Каштановые	Темно-каштановые	остаточно-карбонатные карбонатные	
151	Темно-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Каштановые	Темно-каштановые	солонцеватые солончаковатые	
152	Каштановые солонцеватые и солончаковатые	Каштановые	Каштановые	солонцеватые солончаковатые	
153	Светло-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Каштановые	Светло-каштановые	солонцеватые солончаковатые	
154	Каштановые неполноразвитые	Каштановые	Каштановые	неполноразвитые	
155	Лугово-каштановые	Лугово-каштановые			
156	Лугово-каштановые солонцеватые и солончаковатые	Лугово-каштановые	Лугово-каштановые	солонцеватые солончаковатые	
157	Бурые	Бурые (полуустынные)			

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
158	Бурые солонцеватые и солончаковатые	Бурые (полупустынные)		солонцеватые солончаковатые	
159	Лугово-бурые	Лугово-бурые (полупустынные)	Лугово-бурые		
160	Подзолисто-желтоземные	Подзолисто-желтоземные			
161	Коричневые типичные	Коричневые	Коричневые типичные		
162	Лугово-коричневые	Лугово-коричневые			
163	Торфяные болотные деградирющие (минерализующиеся)				
164	Торфяные болотные верховые	Торфяные болотные верховые			
165	Торфяные болотные переходные				
166	Торфяные болотные низинные	Торфяные болотные низинные			
167	Торфяные болотные солончаковатые				
168	Торфяно-пелловые слоистые болотные				

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
169	Торфяные болотные (без разделения)				
170	Торфянисто- и торфяно- глеевые болотные (глееземы торфянистые и торфяные болотные)				
171	Иловато-болотные	Болотные почвы	Иловато-болотные		
172	Лугово-болотные	Лугово-болотные			
173	Лугово-болотные солончаковатые и солонцеватые	Лугово-болотные		солонцеватые солончаковатые	
174	Луговые карбонатные	Луговые	Луговые	карбонатные	
175	Луговые дифференцированные (в том числе осолоделые)				
176	Луговые солонцеватые и солончаковатые	Луговые	Луговые	солонцеватые солончаковатые	
177	Луговые слитые	Луговые	Луговые	слитые	
178	Луговые (без разделения)	Луговые			

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
179	Солоди	Солоди			
180	Солоди болотные	Солоди	Солоди болотные		
181	Солонцы (автоморфные)	Солонцы автоморфные			
182	Солонцы луговые (полугидроморфные)				
183	Солонцы луговые (гидроморфные)				
184	Солончаки типичные	Солончаки автоморфные Солончаки гидроморфные	Солончаки типичные		
185	Солончаки луговые	Солончаки гидроморфные	Солончаки луговые		
186	Солончаки соровые	Солончаки гидроморфные	Солончаки соровые		
187	Пойменные кислоты				
188	Пойменные слабокислые и нейтральные				
189	Пойменные карбонатные				

ID	Наименование выдела ЕГРПР	Тип	Подтип	Род	Вид
190	Пойменные засоленные				
191	Пойменные слитые				
192	Пойменные заболоченные				
193	Пойменные луговые				
194	Маршевые засоленные и солонцеватые				
195	Высокогорные дерново-гольцовые				
196	Высокогорные степные				
197	Горные примитивные				
198	Горные щебнисто-органогенные				
199	Горно-луговые дерново-торфянистые	Горно-луговые	Горно-луговые дерново-торфянистые		
200	Горно-луговые дерновые	Горно-луговые	Горно-луговые дерновые		
201	Горно-луговые черноземовидные	Горно-луговые черноземовидные			

<b>ID</b>	<b>Наименование выдела ЕГРПР</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Род</b>	<b>Вид</b>
202	Горные лугово-степные	Горные лугово-степные			
203	Горные степные и холодно-степные (без разделения)				
204	Горные лесные черноземовидные				
205	Горные лесо-луговые				

**Почвы сельскохозяйственного назначения Владимирской области  
по данным Росземпроекта и ЕГРПР**

Росземпроект		ЕГРПР	
№ п.п.	Наименование (код)	ID	Наименование
	Дерново-подзолистые (183)	42	Дерново-подзолистые (без разделения)
1	Дерново-сильноподзолистые слабоглееватая среднесуглинистые почвы на покровных суглинках		
2	Дерново-сильноподзолистые легкосуглинистые почвы на моренных и покровных суглинках		
3	Дерново-сильноподзолистые слабоглееватые супесчаные почвы на моренных суглинках		
4	Дерново-сильноподзолистые супесчаные почвы на моренных суглинках		
5	Дерново-сильноподзолистые среднесуглинистые почвы на моренных суглинках		
6	Дерново-сильноподзолистые легкосуглинистые каменистые почвы на моренных суглинках		
7	Дерново-сильноподзолистые среднесуглинистые почвы на моренных суглинках		
8	Дерново-сильноподзолистые песчаные и супесчаные каменистые почвы на моренных суглинках		
9	Дерново-сильноподзолистые песчаные и супесчаные сильнокаменистые почвы на моренных суглинках		
10	Дерново-сильноподзолистые песчаные и супесчаные слабокаменистые почвы на моренных суглинках		
11	Дерново-слабоподзолистые легкосуглинистые почвы на покровных суглинках		
12	Дерново-слабоподзолистые средне- и тяжелосуглинистые почвы на покровных суглинках		
13	Дерново-слабоподзолистые песчаные и супесчаные почвы на моренных суглинках		
14	Дерново-слабоподзолистые средне- и тяжелосуглинистые слабоглееватые почвы на моренных суглинках		
15	Дерново-подзолистые среднесуглинистые слабоэродированные почвы на моренных суглинках		
16	Дерново-подзолистые среднесуглинистые сильноэродированные почвы на моренных суглинках		
17	Дерново-подзолистые среднесуглинистые эродированные почвы на моренных суглинках		
18	Дерново-подзолистые легкосуглинистые эродированные почвы на моренных суглинках		
19	Дерново-подзолистые легкосуглинистые сильноэродированные почвы на моренных суглинках		
20	Дерново-подзолистые легкосуглинистые слабоэродированные почвы на моренных суглинках		
21	Овражно-балочные дерновые смытые почвы		

Росземпроект		ЕГРПР	
№ п.п.	Наименование (код)	ID	Наименование
22	Дерново-подзолистые глееватые легко- и среднесуглинистые почвы на покровных и моренных суллинках и глинах	46	Дерново-подзолистые поверхностно-глееватые преимущественно глубокои и сверхглубокие
23	Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные глееватые почвы на водно-ледниковых и моренных песках и супесях	50	Дерново-подзолистые иллювиально-железистые
24	Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные глееватые почвы на моренных суллинках		
25	Дерново-слабоподзолистые супесчаные почвы на моренных и водно-ледниковых песках и супесях		
26	Дерново-сильноподзолистые песчаные и супесчаные почвы на моренных песках и супесях		
27	Дерново-слабоподзолистые песчаные и супесчаные каменные почвы на моренных суллинках		
28	Дерново-слабоподзолистые песчаные и супесчаные сильнокаменные почвы на моренных суллинках		
29	Дерново-слабоподзолистые песчаные и супесчаные слабокаменные почвы на моренных суллинках		
30	Дерново-подзолистые глубоко глеевые глинистые почвы на покровных и моренных суллинках и глинах	54	Дерново-подзолисто-глеевые
31	Дерново-подзолистые глеевые глинистые почвы на покровных и моренных суллинках и глинах		
32	Дерново-подзолистые глеевые песчаные и супесчаные почвы на водно-ледниковых и моренных песках и супесях		
33	Дерново-подзолистые глубоко глеевые песчаные и супесчаные почвы на водно-ледниковых и моренных песках		
34	Дерново-глеевые глинистые на покровных и лессовидных суллинках	84	Дерново-глеевые и перетнойно-глеевые
35	Дерново-глубокоглеевые глинистые на покровных и лессовидных суллинках		

Росземпроект		ЕГРПР			
№ п.п.	Наименование (код)	ID	Наименование		
	Светло-серые лесные (241)	102	Светло-серые лесные		
36	Светло-серые лесные глееватые легкосуглинистые почвы на лессовидных и покровных суглинках				
37	Светло-серые и серые лесные среднесуглинистые почвы на покровных и лессовидных суглинках				
38	Светло-серые и серые лесные легкосуглинистые почвы на покровных суглинках				
39	Светло-серые и серые лесные глинистые сильноэродированные почвы на покровных и лессовидных суглинках				
40	Светло-серые и серые лесные эродированные почвы на покровных и лессовидных суглинках				
41	Светло-серые и серые лесные глинистые слабоэродированные почвы на покровных и лессовидных суглинках				
42	Светло-серые и серые лесные глинистые слабоэродированные почвы на покровных и лессовидных суглинках				
43	Светло-серые и серые лесные глинистые эродированные почвы на покровных и лессовидных суглинках				
44	Светло-серые и серые лесные глинистые слабоэродированные почвы на покровных и лессовидных суглинках				
45	Светло-серые и серые лесные глинистые сильноэродированные почвы на покровных и лессовидных суглинках				
	Серые лесные (242)			103	Серые лесные
46	Светло-серые и серые лесные легко- и среднесуглинистые почвы на покровных и лессовидных суглинках				
47	Серые лесные глееватые глинистые почвы на покровных и лессовидных суглинках				
48	Темно-серые лесные тяжелосуглинистые глееватые почвы на покровных суглинках				
49	Темно-серые лесные среднесуглинистые почвы на покровных и лессовидных суглинках	104	Темно-серые лесные		

Росземпроект		ЕГРПР	
№ п.п.	Наименование (код)	ID	Наименование
50	Торфяные болотные низинные почвы Торфяные болотные низинные (684)	166	Торфяные болотные низинные
51	Прирусловые пески и дерновые слаборазвитые почвы Аллювиальные дерновые кислые спойстые (792)	188	Пойменные слабокислые и нейтральные
52	Пойменно-дерновые слоистые песчаные и супесчаные почвы на аллювиальных отложениях Аллювиальные дерновые кислые (в т.ч. зернистые) (793)		
53	Пойменно-дерновые зернистые среднесуглинистые почвы на аллювиальных отложениях		
54	Пойменно-дерновые зернистые легко- и среднесуглинистые почвы на аллювиальных отложениях Аллювиальные луговые болотные (851)		
55	Лугово- и иловато-болотные почвы		
56	Пойменно-луговые песчаные и супесчаные глееватые почвы на аллювиальных отложениях Аллювиальные луговые кислые (822) Аллювиальные луговые кислые (823)		
57	Пойменно-луговые маломощные и мощные легкосуглинистые глееватые почвы на аллювиальных отложениях		
58	Пойменно-луговые маломощные и мощные средне- и тяжелосуглинистые глеевые почвы на аллювиальных суглинках		
59	Пойменно-луговые маломощные и мощные глееватые средне- и тяжелосуглинистые почвы на аллювиальных суглинках		
60	Пойменно-луговые кислые маломощные и мощные глееватые супесчаные и легкосуглинистые почвы на аллювиальных суглинках		
61	Пойменно-луговые насыщенные маломощные и мощные глееватые супесчаные и легкосуглинистые почвы на аллювиальных суглинках Аллювиальные луговые насыщенные (833)		
62	Овражно-балочные дерновые намытые Аллювиально-делювиальные почвы днищ балок (932)		

*Научное издание*

И. Ю. Савин, В. С. Столбовой, А. Л. Иванов,  
Е. Ю. Прудникова, А. В. Жоголев, А. Я. Воронин

# **ТЕХНОЛОГИИ СОСТАВЛЕНИЯ И ОБНОВЛЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ КАРТ**

**Под редакцией академика РАН  
А. Л. Иванова**

Издательство «Перо»  
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29–33, стр. 27, ком. 105  
Тел.: (495) 973–72–28, 665–34–36

Подписано в печать 19.03.2019. Формат 60×90/16.  
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 20,5. Тираж 500 экз. Заказ 200.  
Отпечатано в ООО «Издательство «Перо»

