

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4:528.92.94

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ПРИ КОРРЕКЦИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПОЧВЕННЫХ КАРТ

© 2020 г. А. Л. Куляница^а, Д. И. Рухович^{б, *}, П. В. Королева^б,
Е. В. Вильчевская^б, Н. В. Калинина^б

^аООО “Айти Парма”, Кожевническая ул., 7, стр. 1, Москва, 115114 Россия

^бПочвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017 Россия

*e-mail: landmap@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.01.2020 г.

После доработки 07.02.2020 г.

Принята к публикации 24.04.2020 г.

Основным источником почвенной информации на пахотные земли России являются крупномасштабные карты ГИПРОЗЕМА. Карты датированы шестидесятыми–девяностыми годами прошлого века. За время, прошедшее с последнего тура обследований, в сельском хозяйстве произошло увеличение точности агротехнических приемов. На настоящий момент архивные почвенные карты нуждаются в коррекции (верификации, актуализации, детализации и унификации). Предложено использовать карты устойчивой внутриполевой неоднородности (УВН) плодородия почв, созданные на основе remote sensing big data. Карты УВН создаются в рамках общей концепции bigdata и ее составляющих big geodata и big agricultural data. Сравнительный анализ архивных почвенных карт с картой УВН на территорию юга России показал большой потенциал карт УВН для почвенной картографии. Обнаружены пропущенные почвенные контуры, уточнены местоположения (актуализация) существующих почвенных контуров, отмечены новые почвенные разности, не отмеченные на архивных картах, составлен план дополнительных почвенных изысканий в рамках концепции data-driven geography. Точность почвенной карты была повышена до состояния применимости в современных системах земледелия, включая точное земледелие. Появился новый источник информации о пространственной неоднородности почвенного покрова и его плодородии.

Ключевые слова: внутриполевая неоднородность, большие данные, дистанционное зондирование, точное земледелие

DOI: 10.31857/S0032180X20110088

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость обновления и коррекции крупномасштабных почвенных карт, созданных ГИПРОЗЕМОм СССР на сельскохозяйственную территорию России, практически бесспорна. Почвенные карты создавались с 1937 по 1996 гг. за 4 тура обследований и охватывали все пахотные земли [27, 35]. Существуют крупномасштабные почвенные карты, созданные ВУЗаами, но подавляющее большинство карт созданы именно ГИПРОЗЕМОм. Несколько осложняет работу с ними пространственно-временная неравномерность архива карт ГИПРОЗЕМА. На некоторые территории есть относительно новые и совершенные карты последнего тура обследований 90-х годов [16], но есть хозяйства, на которые можно найти только карты 70-х годов [14]. Наибольшая вероятность обнаружить именно карты третьего тура обследований. Карты разных туров обследований могут быть не-

сопоставимы друг с другом по контурной части и идеологии построения [24, 35]. Таким образом, к коррекции и обновлению добавляется очевидная проблема унификации [18, 28, 20, 68]. Общие задачи коррекции архивных крупномасштабных почвенных карт сводятся к их верификации, актуализации, детализации и унификации. Решение этих задач должно повысить ценность традиционной почвенной картографии для современного землеустройства [36] и сельского хозяйства [31].

Поскольку ГИПРОЗЕМ СССР расформирован, а почвенная служба России не создана, то пятый тур обследований является лишь некоторой перспективой. Эту временную лауну можно использовать для разработки новых методов почвенной картографии и создания новой инструкции по почвенным обследованиям. В настоящее время подавляющее большинство почвенных карт создано по инструкции 1973 г. [11].

Кроме устаревания почвенных карт, к негативным изменениям можно отнести снижение доступности для почвоведов-картографов и работников сельского хозяйства топографических карт М 1 : 10000 [19]. Эти карты создавались ВИСХАГИ для нужд ГИПРОЗЕМа и имели (имеют) гриф секретности. Топографические карты являлись и являются наилучшей информацией о рельефе местности, то есть основным источником информации для почвоведов-картографов [11, 29]. Обновление топографических карт М 1 : 10000 прекращено еще во время третьего тура почвенных обследований. Согласно инструкции 1973 г., почвенное картографирование без информации о рельефе практически невозможно.

К положительным изменениям для почвоведов-картографов следует отнести, во-первых, стремительный рост объемов и доступности данных дистанционного зондирования (ДДЗ) [19]. Если при почвенных обследованиях ГИПРОЗЕМа не всегда использовались даже аэрофотоснимки одного единственного срока съемки, то представить современную почвенную картографию без ДДЗ практически невозможно [39, 51, 53, 63]. Во-вторых, практически вся картография перешла на цифровые технологии [46, 52, 60, 61]. Отметим, что весь архив ГИПРОЗЕМа — это карты на бумажном носителе. Сканирование этих материалов не меняет сути и принципов их создания и использования.

Возникает проблема выбора методов совершенствования почвенного картографирования. Практически бесспорно, что нужны методы цифровой почвенной картографии на основе дешифрирования ДДЗ, что должно существенно дополнить возможности традиционной картографии. Большинство методов обработки ДДЗ — это методы нахождения регрессионных зависимостей между спектральными характеристиками кадра ДДЗ и одним из свойств почв [48, 70]. До промышленного применения такие работы дошли только при мощном однофакторном воздействии на почвенный покров, например, засоления почв [17, 39]. Ближе к практическому применению находятся методы определения гумусированности верхней части почвенного профиля (не более 10 см) [61] и измерения влажности почвы с помощью радаров [64]. Остальные регрессионные зависимости по сути не выходят за рамки локальных научных экспериментов. Отметим, что поиском регрессионных зависимостей занимаются более 40 лет.

Альтернативой регрессионным зависимостям спектральных характеристик кадра ДДЗ и почвенных свойств являются технологии big data [44]. Big data шагнули в географию [58, 67] и сельское хозяйство в виде big geo data, big satellite data (remote sensing big data) и big agricultural data [49, 53, 56]. В таком виде их разработали корпорации

Intel [41] и Semanticcommunity [42]. Появилась целая сеть коммерческих структур, которые оказывают массовые услуги по ведению точного цифрового сельского хозяйства на основе big data и big satellite data — ExactFarming [47], FarmersEdge [50], Cropio [45], Агроноут [12], Инттерра [4], AGRO-SAT [38], NEXT farming [65] и др. Результатами алгоритмов обработки big satellite data являются карты внутриполевой неоднородности типа TF (Talking Fields) компании NEXT farming [66], ASF-index компании Агроноут [3, 30], зон неоднородности от компании Инттерра. Еще одним вариантом использования big satellite data является прямое почвенное картографирование на основе технологии спектральной окрестности линий почв [6–8, 21, 22].

Массовое применение на практике технологий big data для нужд сельского хозяйства делает справедливыми вопросы о применимости этих методов для почвенного картографирования и о прямом применении для нужд почвенной картографии результатов анализа big satellite data от коммерческих фирм, которые предоставляются потребителю в виде карт внутриполевой неоднородности и карт заданий для дифференцированного воздействия на сельскохозяйственные угодья. Отметим, что карты задания, как элемент точного земледелия, позволяют поднять урожайность сельскохозяйственных культур на 10–20% без изменения затрат на сельскохозяйственное производство [69].

Первая цель данной работы заключается в оценке информативности карт внутриполевой неоднородности, полученных технологиями big satellite data, для целей коррекции традиционных почвенных карт (верификации, актуализации, детализации и унификации). Второй целью является проверка концепции data-driven geography [56, 62], то есть может ли анализ больших данных задать вектор наземных изысканий, предвосхищая наземные данные.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются:

1. Почвенный покров юга России.
2. Крупномасштабные почвенные карты колхозов, совхозов и административных районов СССР [13–16].
3. Карты внутриполевой неоднородности, полученные анализом big satellite data.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Обработка больших спутниковых данных. Поскольку в работе анализируются карты на основе технологии big data, то можно было бы указать big data как метод работы. Но это не совсем справедливо, так как big data — скорее набор про-

цедур обработки больших объемов информации для применения в разных сферах деятельности. В случае с картами внутриполевой неоднородности big data используется как технология отбора данных для индикационной ботаники. За основу принимается постулат, что состояние растительности в том или ином виде является индикатором плодородия почв. *Под плодородием в точном земледелии понимается потенциальная продуктивность сельскохозяйственных культур, достижимая при существующих технологиях и экономической целесообразности.* Попытки связать конкретную карту состояния растительности на пахотных землях с флуктуациями почвенного плодородия той или иной территории не приводят к успеху. Причины вполне очевидны — неоднородность антропогенного воздействия, которое маскирует природные факторы. На каждом конкретном снимке мы видим не только и не столько влияние плодородия почв на растения, а последствия различных агротехнических приемов, которые могут оказывать и оказывают в каждый конкретный момент воздействие на состояние растений, часто превосходящее воздействия природных факторов. Ситуация существенно меняется, если используют весь массив ДДЗ за десятки лет. В этом случае дефекты одного кадра ДДЗ нивелируются другими ДДЗ. Проявление же угнетения растительности в течение десятков лет на одном и том же месте не может не являться проявлением пониженного плодородия. Конечно далеко не все кадры ДДЗ одинаково информативны для построения конечных карт внутриполевой неоднородности. Более того, большинство кадров ДДЗ не пригодны для расчетов и в случае их ошибочного применения могут исказить результат.

За последние десятилетия архивы ДДЗ приняли форму больших данных [53, 59]. Только архивы двух открытых источников Landsat и Sentinel дают от 1200 до более 2000 кадров ДДЗ на каждую точку земной поверхности. Если учесть, что каждый кадр ДДЗ в настоящее время — это совокупность нескольких спектральных каналов, то мы имеем не тысячи, а десятки тысяч спектральных характеристик с пространственным шагом не менее 30×30 м. Для отбора информативных кадров можно использовать такие элементы big data, как map-reduce и data mining [72]. По сути это процедуры просеивания данных по заданным информационным параметрам и поэтапное сворачивание данных во все более концентрированный вид. В общем виде цепочка действий по просеиванию ДДЗ имеет вид блок-схемы на рис. 1.

Для реализации блок-схемы задействованы: технология ретроспективного мониторинга почвенно-земельного покрова [2, 23–26], основанная на принципах актуализма и униформизма [9, 54]; процедура атмосферной коррекции [1]; спектральная нормализация ДДЗ на основе математи-

ческого аппарата вычисления линии почв [57] и спектральной окрестности линии почв [6–22]; вычисление вегетационных индексов (ВИ) [40, 43, 55].

2. Картографический анализ с использованием методов ГИС применен для сравнения карт внутриполевой неоднородности и традиционных почвенных карт ГИПРОЗЕМа крупного масштаба. Применение метода вполне традиционно и детально описано для данной территории ранее [24].

3. Полевая верификация в настоящей работе реализована в виде заложения почвенных разрезов для проверки почвенной таксономии контуров почвенных карт и установления таксономической принадлежности объектов карты внутриполевой неоднородности [3, 30, 66], не имеющих отображения на почвенных картах. Закладывалось от двух до семи разрезов на одно сельскохозяйственное поле в зависимости от размера поля и контрастности почвенного покрова. В среднем один разрез закладывался на 20–25 га, что соответствует частоте закладки разрезов для территорий I и II категории сложности [11].

4. Геореференсация — точная географическая привязка. Для сравнения почвенных карт и карт внутриполевой неоднородности проведена процедура точной географической привязки архивных почвенных карт. Исправлены искажения бумажных носителей и установлены параметры проекций [32]. На рис. 2, А можно проследить практически полное совпадение лесополос, отображенных на почвенной карте, и границ полей карты внутриполевой неоднородности. На рис. 2, Б лесополосы почвенной карты совпадают с легко дешифрируемыми лесополосами на ДДЗ.

5. Описание опыта. В начале 2017 г. проведен ретроспективный мониторинг почвенно-земельного покрова [2, 36] на площади 18350 га (3 хозяйства). Затем на ту же площадь построены карты внутриполевой неоднородности (рис. 3, А) на основе анализа больших спутниковых данных архивов Landsat и Sentinel (проанализировано 1578 кадров ДДЗ на исследуемую территорию с 1984 г.). Карты неоднородности переданы для организации работ по точному земледелию в сентябре 2017 г. до начала посевной озимых культур. В июне–сентябре 2018 г. на нескольких полях комбайнами проведены дифференцированные замеры урожайности различных культур. В августе 2018 г. проведены полевые почвенные изыскания (812 разрезов и 2200 точек агрохимического обследования).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Агрономическая интерпретация карт внутриполевой неоднородности, полученных анализом больших спутниковых данных. Как следует из блок-схемы (рис. 1), физически и математически, кар-

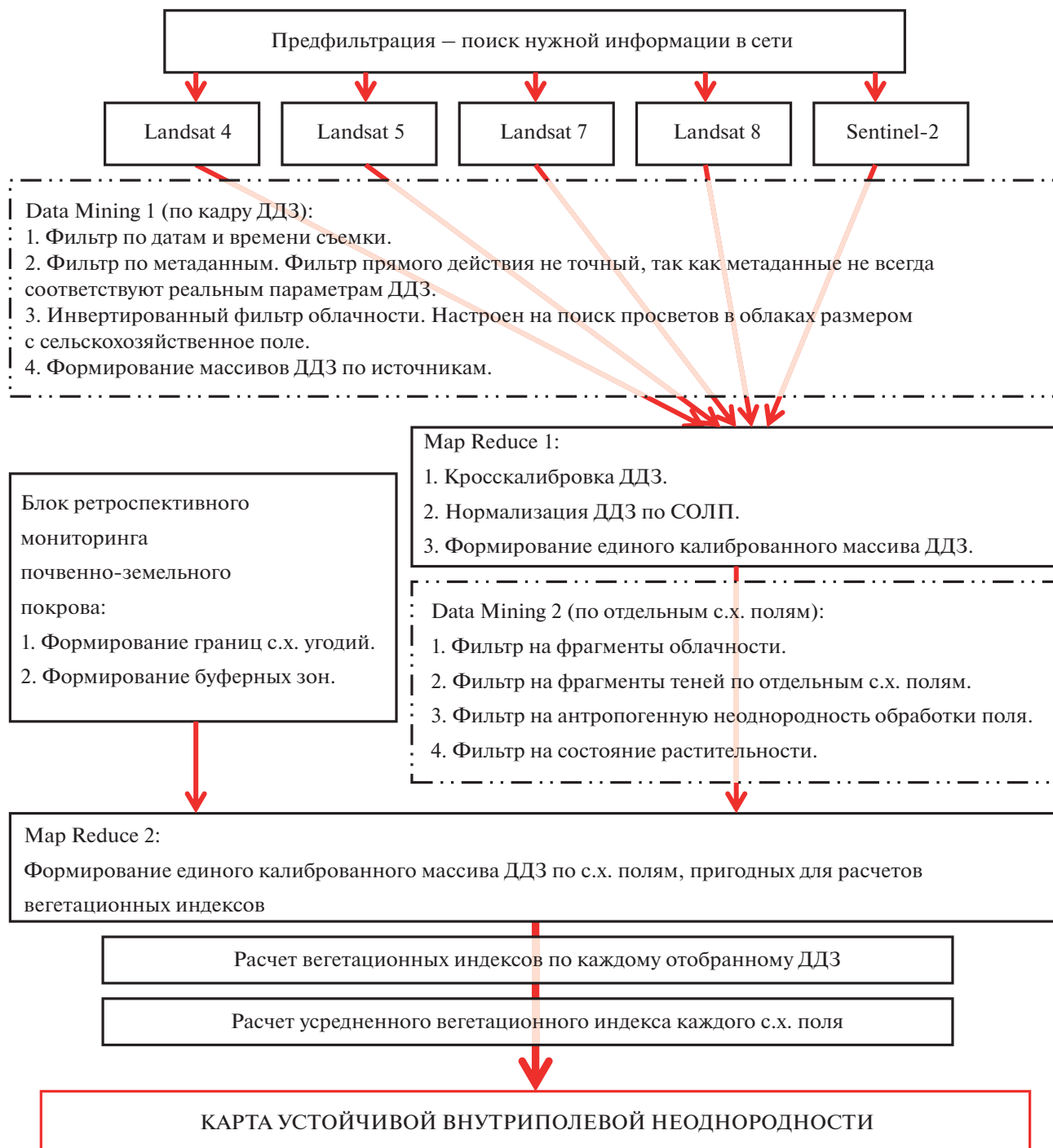


Рис. 1. Схема обработки больших спутниковых данных для получения карты устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв.

ты внутриполевой неоднородности являются картами среднесуточных спектральных характеристик за 30–35 лет [37]. Поскольку спектральные характеристики введены в расчеты как вегетационные индексы (ВИ), то справедливо назвать эти карты картами среднесуточных значений ВИ. Поскольку ВИ отражают состояние растительности, то карты внутриполевой неоднородности яв-

ляются картами неоднородности состояния культурной (культивируемой) растительности. В свою очередь состояние растительности служит индикатором плодородия почвенного покрова. То есть внутриполевая неоднородность является характеристикой неоднородности плодородия почв. Проявление неоднородности плодородия почв зависит от погодных условий. Усредненное со-

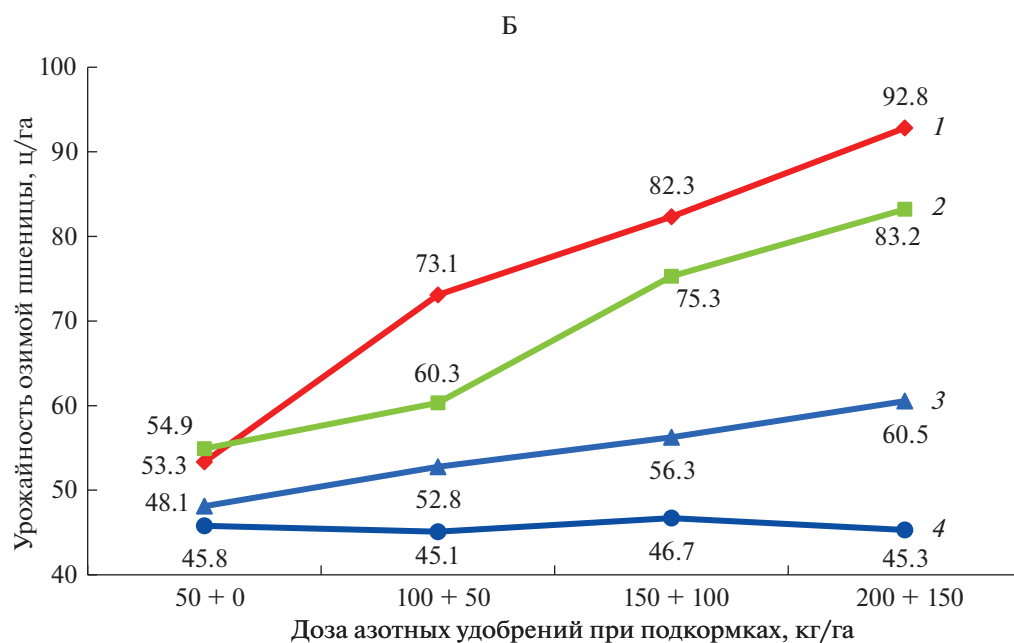
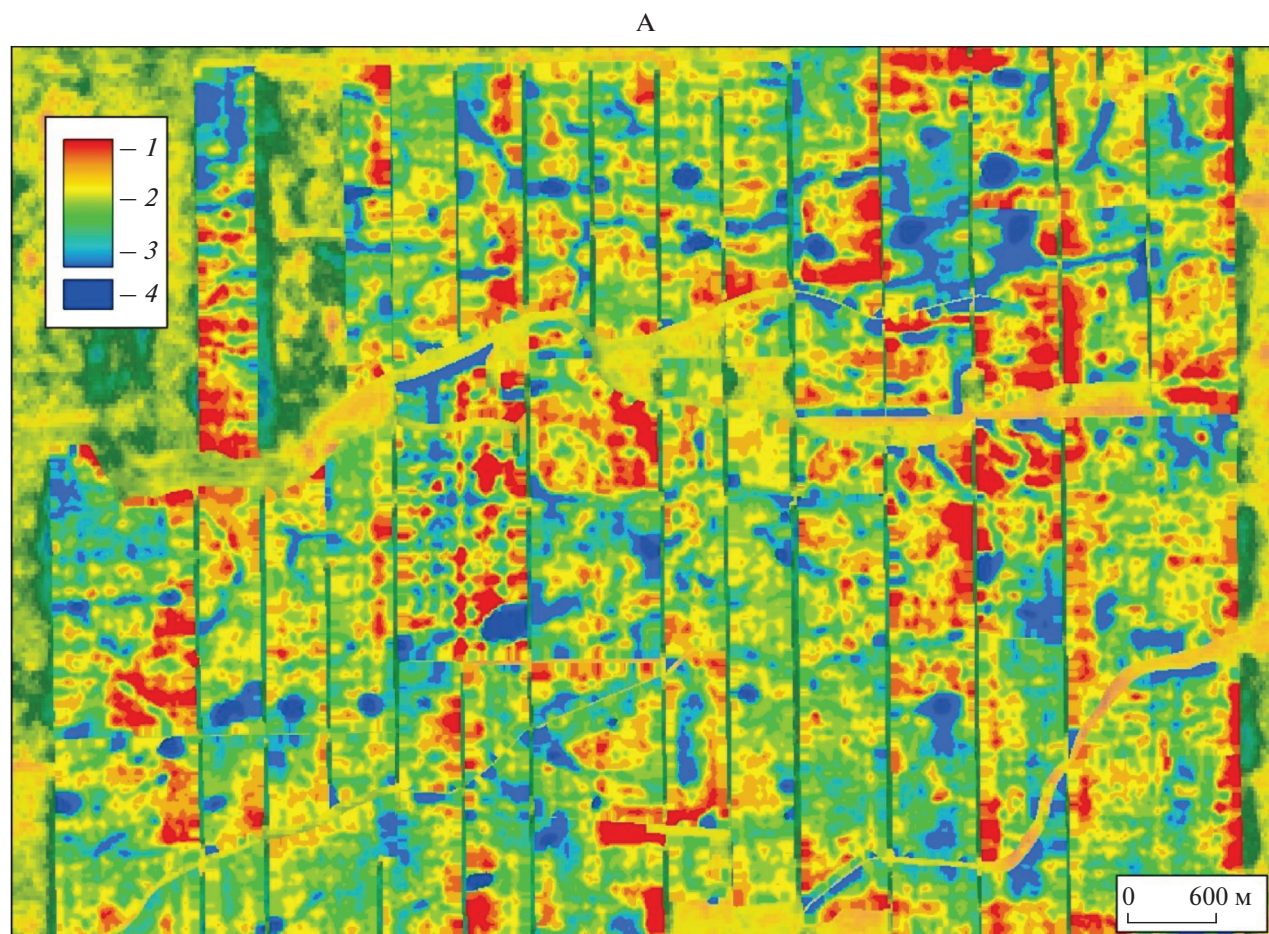


Рис. 3. Карта зон устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв хозяйства и графики урожайности озимой пшеницы при разных дозах удобрений по зонам плодородия хозяйства. А – фрагмент карты зон устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв на территорию хозяйства (1 – зона повышенного плодородия, 2 – зона нормального плодородия, 3 – зона пониженного плодородия, 4 – зона очень низкого плодородия); Б – график отзывчивости озимой пшеницы на различные дозы азотных удобрений (аммиачной селитры) по зонам устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв.

стояние растительности за 30–35 лет нивелирует погодные флуктуации, что позволяет назвать карты внутриполевой неоднородности *картами устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв*.

На рис. 3, Б даны графики влияния различных доз удобрений на урожайность озимой пшеницы в разных зонах устойчивой внутриполевой неоднородности (УВН). В настоящей работе карты УВН содержат 9–10 зон плодородия. Условно треть зон являются зонами повышенного плодородия, треть — зонами среднего плодородия и треть — зонами пониженного плодородия. Дополнительная зона является зоной очень низкого плодородия и выделяется на сельскохозяйственных землях не всегда. Зона очень низкого плодородия на пахотных землях редко занимает более 15% и как правило, входит в треть зоны пониженного плодородия.

На рис. 3, Б представлены результаты дифференцированного воздействия на сельскохозяйственное поле. Для озимой пшеницы осеннее внесение удобрений проведено единой дозой (не дифференцировано). Дифференцировано проведены весенние подкормки. Для юга России (Ростовская область, Ставропольский и Краснодарский края и т. д.) весенние подкормки озимой пшеницы обычно составляют 100–200 кг/га аммиачной селитры. При этих дозах урожайность по четырем группам зон распределяется как 45.9, 54.5, 67.8 и 77.7 ц/га. То есть действительно зоны карт УВН являются зонами различного плодородия почвенного покрова при существующей типовой агротехнике.

С точки зрения точного земледелия интересна эффективность применения удобрений, так как при соотношении прироста урожайности к дозе внесения удобрений менее 4.2 кг/кг [5, 10], применение удобрений убыточно. График рис. 3, Б демонстрирует разную отзывчивость на удобрения при дозах аммиачной селитры от 50 до 350 кг/га. В зоне повышенного плодородия урожайность меняется от 53.3 до 92.8 ц/га, в то время как в зоне пониженного плодородия только от 48.1 до 60.5 ц/га. В зоне же очень низкого плодородия удобрения вообще не оказывают эффекта. Таким образом карты УВН являются и картами отзывчивости различных частей поля на удобрения. Именно в этой интерпретации карты УВН и применяются в точном земледелии для увеличения эффективности удобрений за счет уменьшения доз удобрений в зонах пониженного плодородия и увеличения доз в зонах повышенного плодородия. Урожайность возрастает на 10–20% без изменений затрат на сельскохозяйственное производство.

Можно считать доказанным что карты средне-многолетней внутриполевой неоднородности ВИ являются именно картами “устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв” [37, 69].

Сравнение крупномасштабных почвенных карт и карт устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв. На пахотные территории СССР крупномасштабные почвенные карты создавались в М 1 : 10000 и 1 : 25000 в зависимости от оценки однородности почвенного покрова [11, 29]. На исследуемую территорию обнаружены почвенные карты 1975, 1984, 1994 г. трех хозяйств [14–16]. Масштаб 1 : 25000 всех карт говорит об оценке территории как однородной в почвенном плане. При составлении всех трех карт использованы результаты почвенных обследований с 1970 г., то есть обнаружены карты третьего и четвертого туров обследования [35]. Найти две разновременные карты на одну и ту же территорию не удалось. Дробность контуров всех трех карт примерно одинакова. Легенды карт также практически одинаковы [35]. Карта четвертого тура обследования имеет классификационный уклон в сторону увеличения количества почвенных разностей и площадей почв лугового ряда (лугово-черноземных, лугово-черноземных и черноземно-луговых). Эта смена парадигмы описана на примере Тамбовской области [35]. Таким образом на исследуемую территорию мы имеем типичную обеспеченность архивными почвенными картами. Можно сравнить типичные почвенные карты с картами устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв.

Пример 1. Верификация контуров почвенной карты и зон устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв.

На почвенной карте (рис. 2, А) нанесены 7 почвенных контуров. Три больших контура — это черноземы предкавказские мощные карбонатные малогумусные. Четыре округлых контура — это лугово-черноземные мощные малогумусные почвы. Эти четыре контура соответствуют зонам пониженного плодородия карты УВН. Почвенные разрезы подтверждают приуроченность пониженного плодородия именно к этим почвам (табл. 1, 2).

На рис. 2, А идентифицируются еще четыре контура пониженного плодородия аналогичные по почвенной таксономии, но отсутствующие на почвенной карте (разрезы: 16, 75; 268, 273, 274; 290; 291). Следует установить являются ли эти контуры вновь сформировавшимися или пропущенными при почвенном картографировании. Рассмотрим рис. 2, Б. На этом рисунке почвенные контуры совмещены с ДДЗ 1984 г. На ДДЗ пропущенные контуры дешифрируются. Почвенная карта на эти поля датирована 1984 г. Следовательно контуры на почвенной карте именно пропущены и должны были быть нанесены на момент создания карты.

Пример 2. Необходимость актуализации границ почвенной карты по карте УВН плодородия почв.

Контур с разрезом 280 (рис. 2, А) не полностью совпадает с зоной пониженного плодородия.

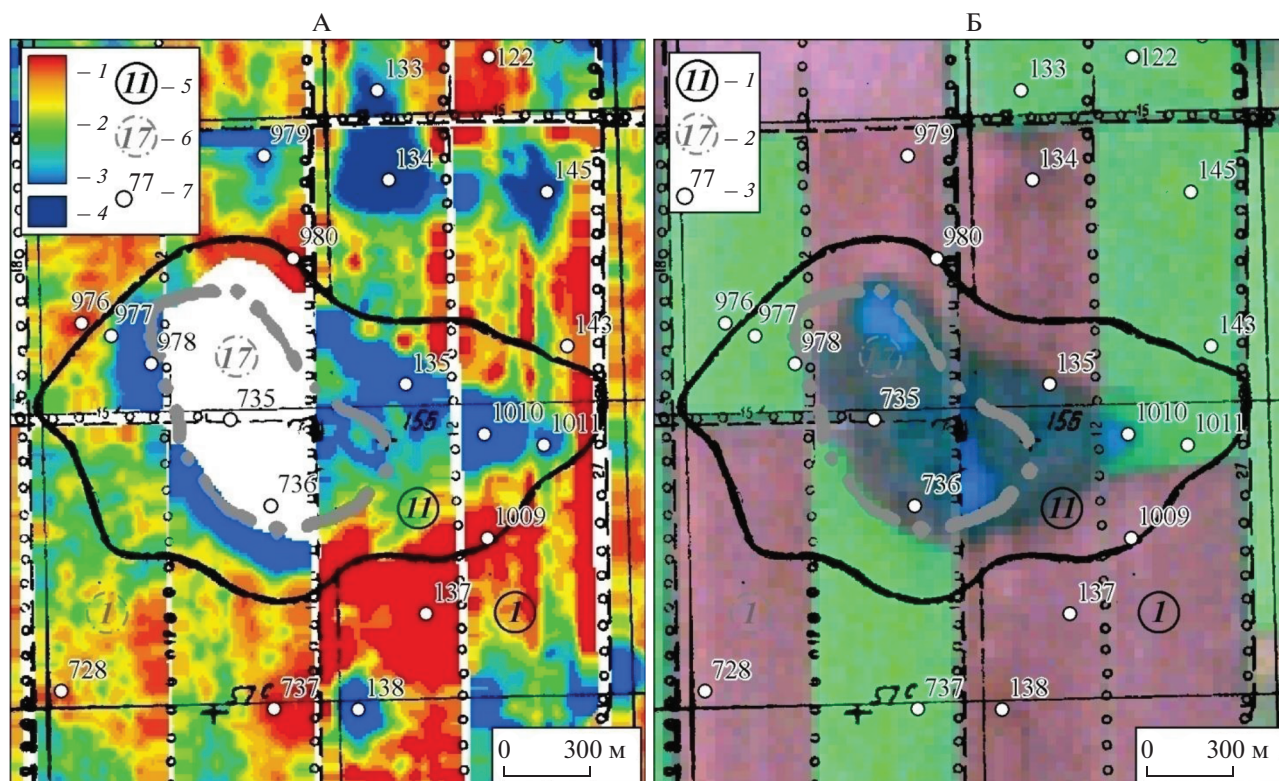


Рис. 4. Верификация контуров почвенной карты и зон устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв (примеры 2 и 3). А — карта зон устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв с наложенными контурами почвенной карты хозяйства М 1 : 25000 и почвенной карты района М 1 : 100000 (1 — зона повышенного плодородия, 2 — зона нормального плодородия, 3 — зона пониженного плодородия, 4 — зона очень низкого плодородия, 5 — номера и контуры почв с почвенной карты хозяйства (табл. 2), 6 — номера и контуры почв с почвенной карты района (табл. 2), 7 — номера почвенных разрезов (табл. 1, 2)); Б — ДДЗ Landsat 5 1987 г. с наложенными контурами почвенной карты хозяйства М 1 : 25000 и почвенной карты района М 1 : 100000 (1 — номера и контуры почв с почвенной карты хозяйства (табл. 2), 2 — номера и контуры почв с почвенной карты района (табл. 2), 3 — номера почвенных разрезов (табл. 1, 2)).

Почвенное обследование (разрез 279), подтверждает таксономическую принадлежность недостающей части контура. Следовательно, необходимо актуализировать границы почвенного контура, что подтверждает и ДДЗ на рис. 2, Б. Актуализация границ проводится в сторону увеличения площади контура, характеризующегося пониженным плодородием.

На рис. 4, А аналогичная ситуация, но реальное распространение лугово-черноземных мощных малогумусных почв существенно меньше, чем их отображение на крупномасштабной почвенной карте. Следует отметить расхождение границ почвенного контура на карте хозяйства и карте района (рис. 4, А). На карте района контур лугово-черноземных мощных малогумусных почв проведен по полугоризонтали 95 м и существенно меньше реального распространения переувлажнения (рис. 4, Б). Можно утверждать, что дешифрирование топографических карт может привести к

существенному искажению реальной картины почвенного покрова. Актуализация границ по картам УВН достовернее.

Пример 3. Data driven geography (следование за данными) — дополнения легенды к почвенным картам и выделение новых контуров.

Зоны очень низкого плодородия встречаются три раза на рис. 4, А (разрезы 133, 134, 145). Очевидно, что аналогичным почвенным покровом обладает и часть поля, не закрытая картой зон плодородия по причине постоянного отсутствия культурной растительности (разрезы 735, 736). Три области очень низкого плодородия пропущены на почвенных картах, а одна отмечена как лугово-черноземные мощные малогумусные почвы. Разрезы на указанных участках показали, что мы имеем дело со слитизированными почвами, а не просто лугово-черноземными [25, 34]. Отчасти этот факт на почвенных картах отмечался как почвы на гипергенезированных лёссовидных глинах. Слитые поч-

Таблица 1. Номера разрезов, номера почв согласно результатам наземной съемки 2018 г., почвенным картам М 1 : 25000, почвенной карте М 1 : 100000 (расшифровку номеров см. в табл. 2)

№ разреза	№ почвы по результатам наземной съемки	№ почвы по картам	
		М 1 : 25000	М 1 : 100000
Рисунок 2			
13	14	8	17
14	14	8	1
16	13	1	1
20	2	3	1
22	14	8	17
33	9	3	1
75	13	1	1
77	1	1	1
267	2	3	1
268	13	3	1
272	13	8	1
273	13	3	1
274	13	3	1
275	2	3	1
276	2	3	1
279	17	3	1
280	17	8	17
289	2	3	1
290	16	3	1
291	13	3	1
292	2	3	1
293	2	3	1
294	5	3	1
295	2	3	1
296	2	3	1
Рисунок 4			
122	1	1	1
133	13	1	1
134	17	1	1
135	16	11	1
137	10	1	1
138	12	1	1
143	10	1	1
145	17	1	1
728	10	1	1
735	18	11	17
736	19	11	17
737	9	1	1
976	1	1	1
977	9	11	1
978	16	11	1
979	12	1	1
980	9	1	1
1009	9	11	1
1010	13	11	1
1011	13	11	1
Рисунок 5			
3	2	3	1
4	6	4	13
6	8	3	13
344	4	3	1
347	5	4	24
348	4	4	1

Таблица 1. Окончание

№ разреза	№ почвы по результатам наземной съемки	№ почвы по картам	
		М 1 : 25000	М 1 : 100000
353	5	6	15
359	15	4	1
360	3	6	13
361	6	6	13
362	5	3	13
363	2	3	1
364	6	6	1
365	3	4	16
366	5	6	1
367	3	4	1
368	3	4	1
369	2	3	1
Рисунок 6			
202	6	4	6
203	6	4	4
209	3	4	4
255	11	4	1
256	5	4	1
257	4	2	1
258	4	2	4
261	3	2	1
262	6	4	4
263	7	4	4
264	6	4	4
462	4	4	4
480	3	4	4
481	6	4	4
483	5	2	1
484	3	2	1
496	6	4	1
497	3	4	1

вы в легендах почвенных карт исследуемого хозяйства отсутствуют. Можно считать подтвержденным, что карта УВН позволяет не только дополнить пропущенные контуры, но и указать места дополнительных почвенных исследований.

Пример 4. Следование за данными — актуализация эрозионных контуров, нанесенных в результате дешифрирования топографических карт.

Очень тщательно следует рассмотреть расположение эрозионных контуров почвенных карт. Рис. 5, А демонстрирует, что только часть эрозионных контуров совпадает с реальными зонами пониженного плодородия. Почвенное обследование 2018 г. (табл. 1, 2) подтверждает правильность зон плодородия. На рис. 5, Б становится ясно, что эрозионные контуры нанесены по топографической карте, что соответствует инструкции [11]. Цифровая модель рельефа (ЦМР SRTM [71]) рис. 5, Г подтверждает правильность топографической карты. Космическая съемка высокого разрешения рис. 5, В наоборот подтверждает наличие

эрозии только в зонах пониженного плодородия, как и наземные данные. Можно констатировать, что на данных полях при равной крутизне склонов эрозия проявляется на склонах южной и восточной экспозиций, но отсутствует на склонах северной экспозиции. Таким образом, реальную (фактическую) картину почвенного покрова значительно лучше дает карта УВН, что позволяет актуализировать почвенные карты.

Пример 5. Следование за данными — формирование новых границ почвенных контуров.

В приведенных выше примерах, почвенные контуры сформировались до времени составления архивных почвенных карт. На формирование границ почвенных контуров оказывает влияние литология, характеристики рельефа, степень гидроморфизма и другие природные факторы. Появление лесополос, дорог, каналов и других антропогенных элементов ландшафта также оказывает влияние на изменение почвенного покрова [23] в виде формирования новых границ почвенных

Таблица 2. Наименования почв

№	Название почвы (разряд)
По результатам почвенной съемки 2018 г.	
1	Черноземы предкавказские мощные карбонатные малогумусные, глинистые на лёссовидных глинах
2	Черноземы предкавказские мощные карбонатные слабогумусированные глинистые на лёссовидных глинах
3	Черноземы предкавказские среднемощные карбонатные слабогумусированные глинистые на лёссовидных глинах
4	Черноземы предкавказские среднемощные слабосмытые карбонатные слабогумусированные глинистые на лёссовидных глинах
5	Черноземы предкавказские среднемощные среднесмытые карбонатные слабогумусированные глинистые на лёссовидных глинах
6	Черноземы предкавказские среднемощные сильносмытые карбонатные слабогумусированные глинистые на лёссовидных глинах
7	Черноземы предкавказские мощные намытые карбонатные слабогумусированные глинистые на лёссовидных глинах
8	Черноземы предкавказские солончаковые среднемощные слабогумусированные глинистые на лёссовидных глинах
9	Луговато-черноземные почвы мощные карбонатные малогумусные, глинистые на лёссовидных глинах
10	Луговато-черноземные почвы мощные карбонатные малогумусные уплотненные, глинистые на лёссовидных глинах
11	Луговато-черноземные почвы мощные намытые карбонатные малогумусные, глинистые на лёссовидных глинах
12	Лугово-черноземные почвы мощные карбонатные малогумусные, глинистые на лёссовидных глинах
13	Лугово-черноземные почвы мощные карбонатные малогумусные уплотненные, глинистые на лёссовидных глинах
14	Лугово-черноземные почвы мощные малогумусные глубоко слитизированные, глинистые на видоизмененных лёссовидных глинах
15	Лугово-черноземные почвы мощные намытые карбонатные малогумусные, глинистые на лёссовидных глинах
16	Черноземно-луговые почвы мощные карбонатные малогумусные уплотненные, глинистые на лёссовидных глинах
17	Черноземно-луговые почвы мощные малогумусные глубокослитизированные, глинистые на видоизмененных лёссовидных глинах
18	Черноземно-влажно луговые почвы мощные малогумусные глубокослитизированные, глинистые на видоизмененных лёссовидных глинах
19	Луговые почвы мощные малогумусные глубокослитизированные, глинистые на видоизмененных лёссовидных глинах
По почвенным картам хозяйств масштаба 1 : 25000	
1	Черноземы предкавказские мощные карбонатные малогумусные, глинистые на лёссовидных глинах
2	Сочетание черноземов предкавказских мощных карбонатных малогумусных (75–90%) с черноземами предкавказскими среднемощными слабосмытыми карбонатными слабогумусированными (10–25%), глинистые на лёссовидных глинах
3	Черноземы предкавказские мощные слабодефлированные карбонатные слабогумусированные глинистые на лёссовидных глинах
4	Черноземы предкавказские среднемощные слабосмытые карбонатные слабогумусированные местами малогумусные глинистые на лёссовидных глинах, местами желто-бурых
6	Черноземы предкавказские среднемощные среднесмытые карбонатные слабогумусированные глинистые и тяжелосуглинистые на лёссовидных глинах и суглинках
8	Лугово-черноземные почвы мощные малогумусные, глинистые на гипергенизированных лёссовидных глинах
11	Луговые почвы мощные малогумусные местами слабогумусированные глинистые на гипергенизированных лёссовидных глинах

Таблица 2. Окончание

№	Название почвы (разряд)
По районной почвенной карте масштаба 1 : 100 000	
1	Черноземы предкавказские мощные карбонатные, глинистые и тяжелосуглинистые на лёссовидных глинах и суглинках
4	Сочетание черноземов предкавказских мощных карбонатных (75–50%) с черноземами предкавказскими мощными слабосмытыми карбонатными (25–50%), глинистые и тяжелосуглинистые на лёссовидных суглинках и глинах
6	Черноземы предкавказские мощные слабосмытые карбонатные, глинистые и тяжелосуглинистые на лёссовидных глинах и суглинках
13	Черноземы предкавказские среднемощные слабосмытые карбонатные, глинистые, местами тяжело- и среднесуглинистые на лёссовидных глинах и суглинках, местами на скифских глинах и суглинках слабо-щебенчатых
15	Черноземы предкавказские среднемощные среднесмытые карбонатные, глинистые, местами тяжелосуглинистые на лёссовидных глинах и суглинках, иногда на слабохрящеватых скифских глинах
16	Черноземы предкавказские маломощные сильносмытые карбонатные, глинистые, местами тяжелосуглинистые на лёссовидных глинах, иногда на слабощебенчатых скифских глинах и суглинках
17	Лугово-черноземные почвы поверхностного увлажнения, глинистые и тяжелосуглинистые на лёссовидных глинах и суглинках подстилаемые скифскими глинами
24	Почвы балок: по склонам смытые, по днищам дерново-намытые, местами лугово-черноземные и лугово-болотные, глинистые, местами тяжело- и среднесуглинистые на лёссовидных скифских и делювиальных глинах и суглинках

контуров. На рис. 2, А вокруг разреза 290 расположен гидроморфный почвенный контур. Его особенностью является четкая восточная граница, совпадающая с границей поля. Для традиционных почвенных карт совершенно не характерно совпадение границ контуров с границами полей. Рассмотрим явление детальнее.

На снимке 1984 г. (рис. 2, Б) можно проследить исходную конфигурацию гидроморфного контура (разрез 290). Контур имел овальную форму, располагался на территории двух полей в направлении от разреза 290 к разрезу 276. Но основная часть водосборного бассейна гидроморфного контура (разрез 290) находится на поле с разрезами 289–291. Соседнее поле является водосбором для гидроморфного контура с разрезом 280. Появление лесополосы и дороги создало локальный барьер, разрезавший единый контур. Для западной части контура (разрез 290) степень гидроморфизма увеличилась. Для восточной части снизилась. Избыток влаги, ранее распространявшейся на два поля, увеличил площадь гидроморфизма на западном поле вдоль лесополосы. Границей новой области распространения переувлажнения стала как бы граница самого поля. На восточном поле область гидроморфизма исчезла. В виде карты УВН наблюдается новая, сформированная антропогенным влиянием, картина распространения факторов почвообразования. В этой картине появляются линейные границы внутриверхневой неоднородности, ранее не характерные для почвенной картографии.

Пример 6. Детализация почвенных карт и структура почвенного покрова.

Детальность почвенных карт вопрос сложный. На почвенных картах М 1 : 25000 встречаются контуры с шириной в 40–50 м. Обычно это контуры унаследованные от схем внутрихозяйственного землеустройства, где эти контуры не являются пашней (рис. 6) (цифра 9 в кружочках на архивных почвенных картах). На исследуемых территориях почвенные контуры имеют ширину в 60 м, в местах с сильно выраженным негативным фактором (засоление почв, утрата гумусового горизонта и т. п.). Обычно почвенные контуры имеют ширину на карте более 4 мм или более 100 м на местности в М 1 : 25000. Для компенсации размера контура на карте может быть указана формула контура из нескольких почвенных наименований (основная и сопутствующие почвы), что соответствует учению о структуре почвенного покрова [33]. На картах хозяйств данного исследования структура почвенного покрова не указывалась. Так, на рис. 6 мы видим 3 больших почвенных контура, различающихся между собой по степени эрозии (не эродированные и слабо эродированные почвы). Реальная картина значительно сложнее. Здесь мы имеем сложную структуру почвенного покрова с сочетанием всех степеней эродированности от полной утраты горизонтов А и АВ (разрезы 262, 264), где пахотным является горизонт В, до черноземов с гумусовым горизонтом более 70 см (разрез 209). Кроме зональных и эродированных почв, широко представлены лугово-черноземные и черноземно-луговые почвы. Ши-

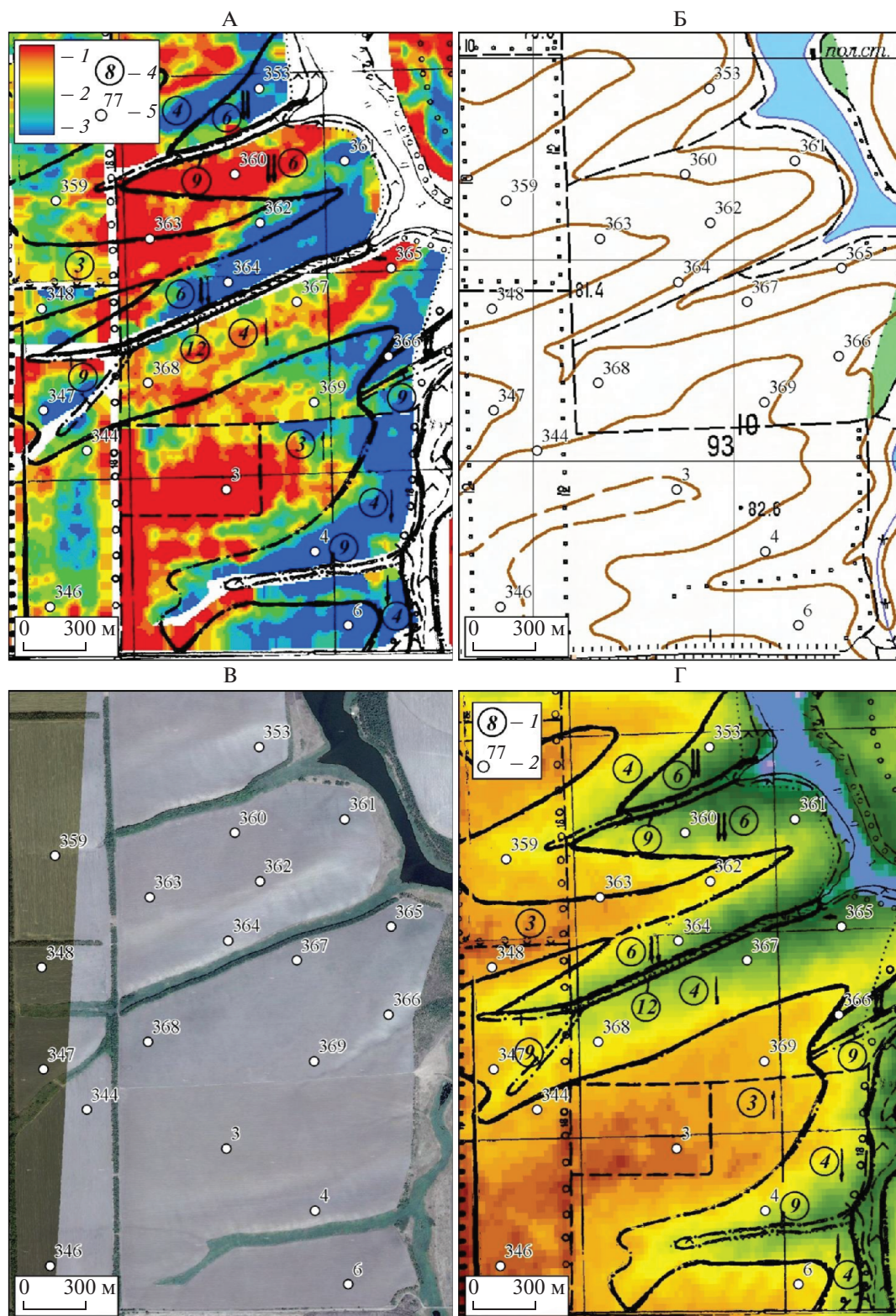


Рис. 5. Верификация эрозионных контуров почвенной карты и зон устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв (пример 4). А – карта зон устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв с наложенными контурами почвенной карты хозяйства М 1 : 25000 (1 – зона повышенного плодородия, 2 – зона нормального плодородия, 3 – зона пониженного плодородия, 4 – номера почв с почвенной карты (табл. 2), 5 – номера почвенных разрезов (табл. 1, 2)); Б – топографическая карта с нанесенными номерами почвенных разрезов; В – ДДЗ высокого разрешения 2014 г. с нанесенными номерами почвенных разрезов; Г – ЦМР с наложенными контурами почвенной карты хозяйства М 1 : 25000 (1 – номера почв с почвенной карты (табл. 2), 2 – номера почвенных разрезов (табл. 1, 2)).

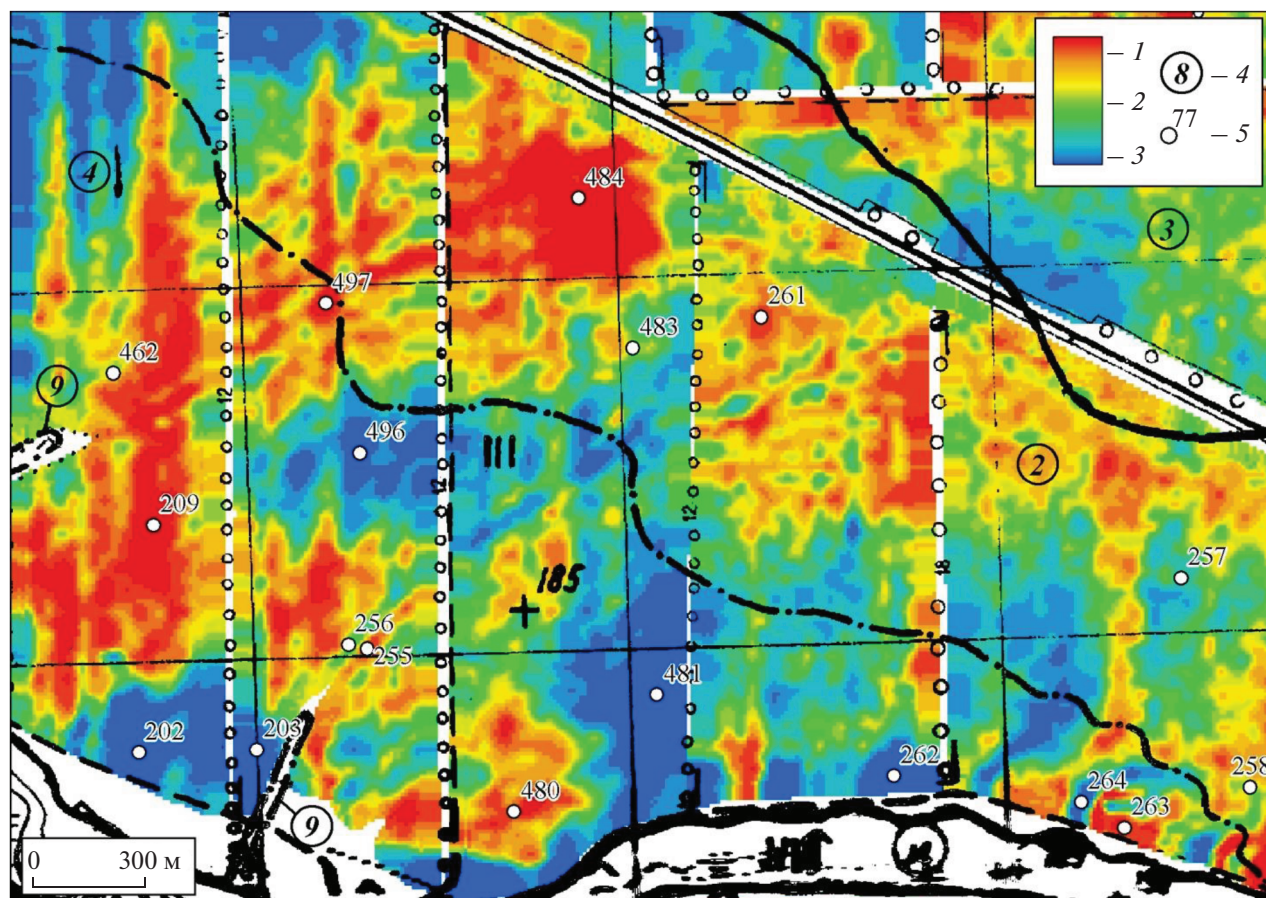


Рис. 6. Детализация почвенных карт и структура почвенного покрова. Карта зон устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв с наложенными контурами почвенной карты хозяйства М 1 : 25000 (1 – зона повышенного плодородия, 2 – зона нормального плодородия, 3 – зона пониженного плодородия, 4 – номера почв с почвенной карты (табл. 2), 5 – номера почвенных разрезов (табл. 1, 2)).

рина зон плодородия составляет 20, 30 и 40 м. Такие поперечные размеры контуров характерны для М 1 : 10000, где они составят от 2 до 4 мм на карте.

Для систем точного земледелия предпочтительна детализация почвенных карт до М 1 : 10000 на основе карт УВН. Для традиционного почвоведения при сохранении М 1 : 25000, необходимо перейти к фиксации структуры почвенного покрова также на основе карт УВН. Дешифрирование топографических карт для данной местности нужно считать недостаточным. Чисто технически, карты УВН на основе Sentinel 1–2 могут иметь пространственное разрешение 10 м, что позволяет довести детализацию почвенных карт до М 1 : 5000.

Оценка возможностей карт устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв для коррекции почвенных карт хозяйств юга России М 1 : 25000. На исследуемую территорию зафиксировано около 115 почвенных контуров и 24 выдела в легенде на уровне разряда на почвенных картах. Примерно половина почвенных контуров приходится на пахотные земли (65 контуров). Сравне-

ние с картами УВН показывает, что на почвенных картах на пахотных угодьях пропущено более половины (две трети) контуров, оказывающих существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Часть этих контуров может быть идентифицирована в рамках существующих легенд. Часть требует для идентификации расширения почвенной легенды включением почв слитизированных и антропогенно уплотненных. От трети до половины существующих почвенных контуров на пахотных угодьях нуждаются в актуализации границ.

Карты УВН позволяют как усовершенствовать традиционные почвенные карты с сохранением М 1 : 25000, так и поднять детализацию почвенных карт до М 1 : 10000.

Отсутствие контуров с участками почвенного покрова, которые оказывают влияние на продуктивность сельскохозяйственных земель, фиксируется и на почвенных картах М 1 : 10000 последнего тура обследований [24]. Количество пропущенных контуров сопоставимо с М 1 : 25000.

О возможности унификации крупномасштабного почвенного картографирования на основе карт УВН.

Традиционное почвенное картографирование в значительной мере зависит от квалификации почвовед-картографа, доступных материалов и тщательности проведения работ. Кроме того, на картографирование оказывает влияние текущая концепция почвенной картографии, которую реализует почвовед-картограф. Как было показано на примере развития крупномасштабной почвенной картографии Тамбовской области [35], почвенные карты, выполненные в одном масштабе, но в разных концепциях, различаются как по легендам, так и по контурам. Карты УВН не могут разрешить проблему смены парадигм в почвенной таксономии, но могут унифицировать процесс выделения границ почвенных контуров. Выделение зон различного плодородия карт УВН происходит на основе алгоритма, который не зависит от оператора. Работа алгоритма также не связана с наземными калибровками. Точность карт УВН зависит только от наличия необходимого количества ДДЗ. Как результат, все части земельного покрова единообразно классифицируются по уровню плодородия. Плотность контуров унифицируется, так как зависит только от контрастности плодородия частей поля.

Недостатки карт УВН. Основным недостатком карт УВН является невозможность указания почвенной номенклатуры выделяемых пространственных объектов. Карта УВН строится в непрерывной числовой шкале от почв с низким плодородием до почв с высоким плодородием. Карта УВН не указывает на причины такового разделения. В настоящем исследовании причинами были: переувлажнение, эрозия, переуплотнение, слитизация, иссушение, почвообразующие породы и т. д. Но эти причины были выявлены экспертно в ходе анализа слоев ГИС [50, 60] и подтверждены наземными методами. Присвоение выделенным объектам наименований почв возможно на основе камерального дешифрирования, наземного обследования и анализа архивных почвенных карт.

Вторым недостатком карт устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв является низкая чувствительность метода в случае одинаковости плодородия у разных почвенных выделов, граничащих друг с другом. В настоящем исследовании сложно привести однозначный пример равенства плодородия разных почв. Сложным оказалось подтвердить или опровергнуть разделение почв слабой степени дефляции и почв с отсутствующей дефляцией. Возможно, существуют регионы, где этот процесс будет проявляться более ярко.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В распоряжении почвоведов-картографов появился принципиально новый источник информации о пространственной неоднородности почвенного покрова — карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв, полученная на основе технологий big satellite data. Карта обладает следующими функциональными возможностями для крупномасштабной почвенной картографии:

1. Позволяет детализировать традиционные почвенные карты до М 1 : 25 000, 1 : 10 000 и 1 : 5 000 по выбору картографа.

2. Предлагает более точные (актуализированные) границы почвенных контуров по сравнению с традиционным дешифрированием топографических карт, гипсометрии, цифровых моделей рельефа и отдельных ДДЗ [11, 29]. Важно, что границы почвенных контуров при использовании зон плодородия не являются результатом дешифрирования, а лишь отображением реальных (актуальных) различий в почвенном плодородии в пределах каждого поля в течение десятков лет.

3. Радикально меняет подход к картографированию эрозии почв, так как хорошо дифференцирует склоны одинаковой крутизны по фактической величине деградации. Следует отметить, что фиксируется разное проявление эрозии при разной экспозиции склонов. Позволяет перейти от картографирования склона по степени эрозии к фиксации сложных эрозионных комплексов из смытых, намытых и луговых почв в пределах одного склона.

4. Показывает наличие почвенных контуров в местах их отсутствия на почвенных картах, включая контуры требующие расширения почвенной таксономии (легенд) традиционных карт.

5. Предсказывает наличие почвенных контуров при их невыраженности на топографических картах, отдельных ДДЗ и ЦМР.

6. Задаёт новый вектор почвенных исследований, фиксируя неоднородности почвенного пространства там, где традиционное почвоведение предполагает лишь одну почвенную разность.

Использование карт устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв позволяет решить комплекс задач по коррекции архивных почвенных карт в виде верификации, актуализации, детализации и унификации почвенной информации. Кроме того, эти карты задают новый вектор почвенных исследований, то есть реализуют для почвоведения концепцию следования за данными — data-driven geography.

Главное преимущество использования нового источника информации заключается в возможности более полного раскрытия потенциала почвенной картографии в отображении важнейшей характеристики почвенного покрова — плодородия.

дия почв. Почвенные карты, легко интерпретируемые в форме отзывчивости на агротехнические и агрохимические приемы, широко востребованы в современном сельском хозяйстве в отличие от традиционных почвенных карт.

В виде карт устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв в почвоведение пришли несколько элементов технологии big data в виде big satellite data и data-driven geography. Потенциал информативности новых методов значительно больше аспектов, затронутых в данной статье, и нуждается в дальнейших исследованиях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-07-00872).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ и подготовка данных ДЗЗ из открытых источников для систем точного земледелия // <https://gisinfo.ru/item/120.htm>
2. Брызжев А.В., Рухович Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В. Организация ретроспективного мониторинга почвенного покрова и земель Азовского района Ростовской области // Почвоведение. 2013. № 11. С. 1294–1315.
3. Дневник агронома. 2018. // <https://www.avgust.com/newspaper/topics/detail.php?ID=6860>
4. Интterra: инновационные решения для сельского хозяйства // <https://intterra.ru/ru>
5. Калькулятор удобрений. ЕвроХим-Новомосковск // <https://eurochem-nakazot.ru/calculator/index.html>
6. Королева П.В., Рухович Д.И., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Куляница А.Л., Трубников А.В., Калинина Н.В., Симакова М.С. Местоположение открытой поверхности почвы и линии почвы в спектральном пространстве RED-NIR // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1435–1446.
7. Королева П.В., Рухович Д.И., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Куляница А.Л., Трубников А.В., Калинина Н.В., Симакова М.С. Характеристика почвенных типов и подтипов в N-мерном пространстве коэффициентов мультимедийной (эмпирической) линии почв // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1085–1098.
8. Куляница А.Л., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Королева П.В., Рухович Д.И., Симакова М.С. Применение кусочно-линейной аппроксимации спектральной окрестности линии почв для анализа качества нормализации материалов дистанционного зондирования // Почвоведение. 2017. № 4. С. 401–410.
9. Лайель Ч. Основания геологии или переменны, происходившие некогда с землею и с ее обитателями / Пер. с 5-го изд.: В 2 т. М.: Тип. Э. Барфкнехта и Ко, 1859: Т. 1. 96 с.; Т. 2. 96–177 с.
10. Носов В.В. Экономическая оценка применения минеральных удобрений в России в современных условиях. Семинар для коммерческой службы ООО “ФосАгро-Регион”, г. Балаково, 20 мая 2015 г. // [http://eeca-ru.ipni.net/ipniweb/region/eecaru.nsf/0/5187B34B53F5AD2E43257E510027CF05/\\$FILE/Economic%20assessment%20of%20fertilizer%20use%20in%20Russia_RUS.pdf](http://eeca-ru.ipni.net/ipniweb/region/eecaru.nsf/0/5187B34B53F5AD2E43257E510027CF05/$FILE/Economic%20assessment%20of%20fertilizer%20use%20in%20Russia_RUS.pdf)
11. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования. М.: Колос, 1973. 95 с.
12. ООО “Агроноут” / Skolkovo Community // <http://sk.ru/net/1121390/>
13. Почвенная карта Азовского района Ростовской области, масштаб 1 : 100000. 1978.
14. Почвенная карта колхоза “Ленинское знамя” Азовского района Ростовской области, масштаб 1 : 25000. МСХ РСФСР. Институт “Росгипрозем” Южный филиал. Отпечатано Южным филиалом ВИСХАГИ г. Новочеркасска. 1975.
15. Почвенная карта совхоза “Луч” Азовского района Ростовской области, МСХ РСФСР. Росземпроект. Институт ЮЖГИПРОЗЕМ. Ростов на Дону, 1984.
16. Почвенная карта ТОО “Мир” Азовского района Ростовской области, масштаб 1 : 25000. Роскомзем РСФСР. РосНИИземпроект. Институт ЮЖНИИГИПРОЗЕМ. Ростов на Дону, 1994.
17. Рухович Д.И. Многолетняя динамика засоления орошаемых почв центральной части Голодной степи и методы ее выявления. Дис. ... канд. биол. н. М., 2009. 284 с.
18. Рухович Д.И., Вагнер В.Б., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Королева П.В. Проблемы использования цифровых тематических карт на территорию СССР при создании ГИС “Почвы России” // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1043–1045.
19. Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В. Цифровая тематическая картография как смена доступных первоисточников и способов их использования // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М., 2012. С. 58–86.
20. Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Симакова М.С., Долинина Е.А., Рухович С.В. Государственная почвенная карта – версия ArcInfo // Почвоведение. 2013. № 3. С. 251–267.
21. Рухович Д.И., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжев А.В., Королева П.В. Информативность коэффициентов а и b линии почв для анализа материалов дистанционного зондирования // Почвоведение. 2016. № 8. С. 903–917.
22. Рухович Д.И., Рухович А.Д., Рухович Д.Д., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжев А.В., Королева П.В. Построение карт усредненных спектральных отклонений от линии почв и их сравнение с традиционными почвенными картами // Почвоведение. 2016. № 7. С. 794–812.
23. Рухович Д.И., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжев А.В., Калинина Н.В., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В. Влияние лесополос на фрагментацию овражно-балочной сети и образование мочаров // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1043–1045.
24. Рухович Д.И., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжев А.В., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчев-

- ская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В. Анализ применения почвенных карт в системе ретроспективного мониторинга состояния земель и почвенного покрова // Почвоведение. 2015. № 5. С. 605–625.
25. Рухович Д.И., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжев А.В., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В. Ретроспективный анализ изменчивости землепользования на слитых почвах замкнутых западин Приазовья // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1168–1194.
 26. Рухович Д.И., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжев А.В., Королева П.В., Калинина Н.В., Черноусенко Г.И., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В. Влияние засоленных почв на изменчивость типов землепользования в Азовском районе Ростовской области // Почвоведение. 2017. № 3. С. 289–310.
 27. Симакова М.С. Почвенные карты // Картографическая изученность России (топографические и тематические карты). М.: Изд-во Ин-та географии РАН, 1999. С. 113–133.
 28. Симакова М.С., Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В. Цифровая версия Государственной почвенной карты масштаба 1 : 1 млн, проблемы и решения // Почвоведение. 2012. № 4. С. 387–397.
 29. Составление и использование почвенных карт / Под ред. Кашанского А.Д. М.: Агропромиздат, 1987. 273 с.
 30. Технология составления карт внутриполевой неоднородности по данным ретроспективного мониторинга для составления карт заданий на дифференцированное внесение комплексных удобрений. Сведения о результате интеллектуальной деятельности № АААА-Г18-618030290009-4 02/03/2018. <https://rosrid.ru/rid/YVUTLONSZRTT3KN7ASF-CEUEJ>
 31. Федоренко В.Ф., Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Трубников А.В., Мишуков Н.П. Оценка внутриполевой неоднородности почвенного покрова для технологий координатного земледелия // Техника и оборудование для села. 2017. № 9(243). С. 2–6.
 32. Флейс М.Э., Борисов М.М., Александрович М.В. Картографические проекции и согласование разновременных карт России и Советского союза в геоинформационной среде // Известия РАН. Сер. географическая. 2008. № 5. С. 118–125.
 33. Фридланд В.М. Структуры почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984. 236 с.
 34. Хитров Н.Б., Власенко В.П., Рухович Д.И., Брызжев А.В., Калинина Н.В., Роговнева Л.В. География вертисолей и вертикальных почв кубано-приазовской низменности // Почвоведение. 2015. № 7. С. 771–788.
 35. Шаповалов Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Рухович Д.И., Сулейман Г.А., Долинина Е.А. Учет и выделение переувлажненных территорий при почвенном картографировании и землеустройстве // Почвоведение. 2020. № 3. С. 291–307. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20010141>
 36. Шаповалов Д.А., Королева П.В., Сулейман Г.А., Рухович Д.И. Почвенные контуры публичной кадастровой карты — элементы картографирования почвенно-земельного покрова // Почвоведение. 2019. № 5. С. 613–632.
 37. Шаповалов Д.А., Рухович Д.И., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Куляница А.Л. ASF-index — карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почвенного покрова, построенная на основе больших спутниковых данных для задач точного земледелия // Международный сельскохозяйственный журн. 2020.
 38. AGRO-SAT Consulting GmbH // <http://agro-sat.de/>
 39. Azabdaftari A., Sunar F. Soil salinity mapping using multitemporal Landsat data // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, V. XLI-B7, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic
 40. De Bernardis C., Vicente-Guijalba F., Martínez-Marin T., Lopez-Sanchez J.M. Particle Filter Approach for Real-Time Estimation of Crop Phenological States Using Time Series of NDVI Images // Remote Sensing. 2016. V. 8(7) P. 610.
 41. Big Data in Agriculture (intel) // <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/big-data/lessons-from-the-field.html>
 42. Big Data Science for Precision Farming Business // https://semanticcommunity.info/Data_Science/Big_Data_Science_for_Precision_Farming_Business
 43. De la Casa A., Ovando G., Bressanini L., Martínez J., Díaz G., Miranda C. Soybean crop coverage estimation from NDVI images with different spatial resolution to evaluate yield variability in a plot // ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing. 2018. V. 146. P. 531–547.
 44. Cox M., Ellsworth D. Application-controlled demand paging for out-of-core visualization // Proceedings of the 8th conference on Visualization '97 (VIS '97). 1997. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, P. 235–244.
 45. Cropio // <https://about.cropio.com/ru/>
 46. Digital soil mapping: an introductory perspective / Eds.: Ph. Lagsherle, A.B. McBratney. 2007. V. 31. 658 p.
 47. ExactFarming // <https://www.exactfarming.com/ru/>
 48. Farifteh J., van der Meer F., Atzberger C., Carranza E. Quantitative Analysis of Salt-Affected Soil Reflectance Spectra: A Comparison of Two Adaptive Methods (PLSR and ANN) // Remote Sensing of Environment. 2007. V. 110(1). P. 59–78. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.02.005>
 49. Farm Management. 2018. Satellite Big Data: How It Is Changing the Face of Precision Farming // <http://www.farmmanagement.pro/satellite-big-data-how-it-is-changing-the-face-of-precision-farming/>
 50. FarmersEdge // <https://www.farmersedge.ca/ru/>
 51. Gallo B.C., Demattê J.A.M., Rizzo R., Safanelli J.L., Mendes W. de S., Lepsch I.F., Sato M.V., Romero D.J., Lacerda M.P.C. Multi-Temporal Satellite Images on Topsoil Attribute Quantification and the Relationship with Soil Classes and Geology // Remote Sensing. 2018. V. 10(10). P. 1571.
 52. Hartemink A.E., Moore A.C., Howell D.W., Boettinger J.L., Kienast-Brown S. Digital soil mapping: bridging research, environmental application, and operation (progress in soil science). Springer, 2010. 473 p.
 53. Huang Y., Chen Z.-X., Yu T., Huang X.-Z., Gu X.-F. Agricultural remote sensing big data: Management and applications // J. Integrative Agriculture. 2018. V. 17(9). P. 1915–1931. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61859-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61859-8)

54. *Hutton J.* Theory of the Earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of land upon the Globe // Transactions of the Royal Society of Edinburgh. 1788. V. 1. Part 2. P. 209–304.
55. *Johnson B.* Effects of Pansharpening on Vegetation Indices // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 3. 2014. P. 507–522.
56. *Kamilaris A., Kartakoullis A., Prenafeta-Boldú F.X.* A review on the practice of big data analysis in agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 2017. V. 143. P. 23–37.
<https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.037>
57. *Kauth R.J., Thomas G.S.* The tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT // Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, West Lafayette, Indiana, 29 June–1 July 1976. P. 4B-41 to 4B-51.
58. *Kwan M.-P.* Algorithmic Geographies: Big Data, Algorithmic Uncertainty, and the Production of Geographic Knowledge // Annals of the American Association of Geographers. 2016. V. 106(2). P. 274–282.
59. *Liu P.* A survey of remote-sensing big data // Frontiers in Environmental Science. 2015. 3:45.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00045>
60. *McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B.* On digital soil mapping // Geoderma. 2003. V. 117(1–2). P. 3–52.
61. *Mendonça-Santos M.L., Dart R.O., Santos H.G., Coelho M.R., Berbara R.L.L., and Lumberras J.F.* Digital soil mapping of topsoil organic carbon content of Rio de Janeiro State, Brazil. In: Digital Soil Mapping – New York: Springer Science + Business Media B.V. 2010. P. 255–266.
62. *Miller H.J., Goodchild M.F.* Data-driven geography // GeoJournal. 2015. V. 80(4). P. 449–461.
<https://doi.org/10.1007/s10708-014-9602-6>
63. *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. P. 1–19.
64. NASA soil moisture mission produces first global maps. <https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2015-138>
65. NEXT Farming: Smarte Lösungen für Landwirte // <https://www.nextfarming.de/>
66. NEXT Geodata SERVICE // <https://www.nextfarming.com/products/next-farming-service/next-geodata-service/>
67. *Openshaw S.* Geographical data mining: key design issues // Proceedings of the 4th International Conference on GeoComputation, Fredericksburg, Virginia, USA, 25–28 July 1999. http://www.geocomputation.org/1999/051/gc_051.htm
68. *Romanenkov V.A., Smith J.U., Smith P., Sirotenko O.D., Rukhovich D.I., Romanenko I.A.* Soil organic carbon dynamics of croplands in European Russia: Estimates from the “model of humus balance” // Regional Environmental Change. Springer, 2007. V. 7(2). P. 93–104.
69. *Shapovalov D.A., Fedorenko V.F., Trubnikov A.V., Koroleva P.V., Rukhovich D.I.* Maps of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data in the precision farming system // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019: conference proceedings, Albena, Bulgaria, 30 June–6 July, 2019. Sofia, 2019. V. 19. № 2.2. P. 903–908.
70. *Shepherd K.D., Walsh M.G.* Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties // Soil Sci. Soc. Am. J. 2002. V. 66(3). P. 988–998.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2002.9880>
71. SRTM // <http://srtm.csi.cgiar.org/>
72. *Taghizadeh-Mehrjardi R., Nabiollahi K., Minasny B., Tnantaifilis J.* Comparing data mining classifiers to predict spatial distribution of USDA-family soil groups in Baneh region. Iran // Geoderma. 2015. V. 253–254. P. 67–77.

Analysis of the Information Content of Big Remote Sensing Data Used in Precision Farming Systems for the Correction of Large-Scale Soil Maps

A. L. Kulyanitsa¹, D. I. Rukhovich^{2, *}, P. V. Koroleva², E. V. Vilchevskaya², and N. V. Kalinina²

¹IT Parma JSC, ul. Kozhevnikovskaya, 7, bld. 1, Moscow, 115114 Russia

²Dokuchaev Soil Institute, Pyzhevsky Lane, 7, bld. 2, Moscow, 119017 Russia

*e-mail: landmap@yandex.ru

The main source of soil information on the arable lands of Russia are large-scale maps made by GIPROZEM. Maps are dated sixties – nineties of the XX century. Since the last tour of surveys there has been an increase in the accuracy of agricultural practices. Currently, archive soil maps need correction (verification, updating, detailing and unification). It is proposed to use maps of stable intra-field heterogeneity (SIFH) of soil fertility based on remote sensing big data. SIFH maps are created as part of the general concept of big data and its components big geodata and big agricultural data. A comparative analysis of archive soil maps with a SIFH map for the territory of southern Russia showed a great potential of SIFH maps for soil cartography. Missing soil mapping units were found, the locations (actualization) of existing ones were clarified, new soils were found that were not marked on the archive maps, a plan for additional soil surveys was compiled as part of the data-driven geography concept. The accuracy of the soil map has been increased to the state of applicability in modern farming systems, including precision farming. A new source of information concerning the spatial heterogeneity of the soil cover and its fertility has appeared.

Keywords: intra-field heterogeneity, big data, big satellite data, remote sensing, soil maps, precision farming