
ГЕНЕЗИС
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

**ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И СТЕПЕНИ
ЭРОДИРОВАННОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
(ПРОХОРОВСКИЙ РАЙОН БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

© 2021 г. А. П. Жидкин^{а, *}, М. А. Смирнова^{а, b}, А. Н. Геннадиев^b,
С. В. Лукин^с, Е. А. Заздравных^d, Н. И. Лозбенев^а

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

^bМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

^сНИУ “БелГУ”, ул. Победы, 85, Белгород, 308015 Россия

^dФГБУ “ЦАС “Белгородский”, ул. Щорса, 8, Белгород, 308027 Россия

*e-mail: gidkin@mail.ru

Поступила в редакцию 19.04.2020 г.

После доработки 24.05.2020 г.

Принята к публикации 17.06.2020 г.

Предложен новый способ цифрового картографирования строения почвенного покрова с расчетом долевого участия почв различных таксонов и степени их эродированности в составе почвенных ассоциаций. Проведен сравнительный анализ карт почвенного покрова, полученных на основе применения различных способов построения (визуально-экспертного и цифрового) и с различным их содержанием (отображением доминантной категории или почвенных ассоциаций). В случае картографирования визуальным способом (с отображением доминантной категории) отмечается существенное занижение суммарной площади средне- и сильноэродированных почв по сравнению с цифровым способом. Эти различия обусловлены недоучетом площади небольших ареалов средне- и сильноэродированных почв в составе почвенных ассоциаций на склонах невысокой крутизны и в мелких ложбинах при визуальном способе картографирования. При генерализации содержания цифровых карт от почвенных ассоциаций до доминантных категорий почв отмечается значительное изменение информации о степени эродированности почвенного покрова. Сравнение визуального и цифрового способов картографирования почв различных таксонов свидетельствует о высокой степени соответствия пространственного положения и площадей почвенных ареалов с близким компонентным наполнением в обоих случаях. Наибольшие различия между почвенными картами, составленными указанными способами, приходятся на почвы, испытывающие периодическое переувлажнение, то есть лугово-черноземные (Luvic Chernic Phaeozem (Oxyaquic)) и черноземно-луговые (Luvic Stagnic Chernic Phaeozem), в связи со слабым учетом микрорельефа при традиционном картографировании. В целом можно отметить, что построение цифровой карты сложнее с точки зрения необходимости применения специализированных компьютерных программ и математических моделей, но полученные цифровые базы данных содержат информацию более высокого уровня детальности по сравнению с традиционными почвенными картами.

Ключевые слова: WATEM/SEDEM, чернозем, агроландшафт, почвенная ассоциация, структура почвенного покрова

DOI: 10.31857/S0032180X21010159

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых направлений в области изучения географии почв является разработка методов создания и верификации пространственных моделей организации почвенного покрова, представляемых в виде почвенных карт. Крупномасштабное картографирование почвенного покрова в России на сегодняшний день проводится преимущественно на основе визуально-экспертного способа с выделением ареалов преобладающих (доминантных) почв различных таксонов.

Качество и детальность карт, построенных на основе визуально-экспертного способа крупномасштабного картографирования с выделением доминантных почв различных таксонов, в значительной степени определяются детальностью полевого изучения почвенного покрова и квалификацией почвовед-картографа.

Более детальное представление почвенного покрова на картах связано с отображением почвенных комбинаций. Данный подход базируется на учении о структуре почвенного покрова Фрид-

ланда [21]. Использование почвенных комбинаций в качестве объекта картографирования позволяет в большей мере отражать реальные особенности строения почвенного покрова. Как правило, картографирование почвенных комбинаций требует значительно более серьезного полевого опробования, чем картографирование доминантных почв [12]. Активизация отечественного крупномасштабного картографирования структур почвенного покрова пришелся на 70–80-е гг. XX в.; в основу этих работ были положены материалы детальных почвенных съемок с густой сетью полевого почвенного опробования. В современных условиях, к сожалению, работы по крупномасштабному картографированию почвенных комбинаций в России сильно редуцированы и реализуются только на локальных участках в рамках исследовательских работ отдельных научных групп [1–3, 19, 23, 24, 30]. В некоторых случаях почвенный покров картографируется в виде изображения на карте контуров не только с преобладающей, но и с сопутствующими почвами, а также с почвенными включениями. В США такие картографические выделы называются почвенными ассоциациями [26]. Ниже в настоящей работе будет использоваться термин почвенные ассоциации (ПА), под которым подразумевается совокупность почвенных разностей с учетом их долевого участия.

При картографировании почв агроландшафтов особое внимание уделяется степени эродированности почв. Данный показатель является одним из основных критериев для агроэкологической группировки земель [5]. На основе карт эродированности почв разрабатываются мероприятия по повышению их плодородия, определяются границы земель пригодных или не рекомендуемых для распашки. Традиционная методика визуально-экспертного картографирования эродированности почвенного покрова имеет ряд недостатков. Выделение границ ареалов почв разной степени эродированности проводится на основе допущения о прямой связи между крутизной склонов и степенью эродированности почв [13]. Вместе с тем, широко известно, что на эрозию почв помимо крутизны склонов оказывают влияние иные параметры рельефа, в частности длина, экспозиция, форма продольного и поперечного профилей склонов [7]. Допущение о прямой связи между крутизной склонов и степенью эродированности почв является вынужденной мерой, поскольку при визуально-экспертном способе картографирования затруднительно оценить все морфометрические параметры рельефа и их комплексное влияние на эрозионно-аккумулятивные процессы. В результате такой способ картографирования приводит к неточностям.

Составление карт эродированности почвенного покрова, так же как и почвенных карт, проводится преимущественно на основе учета доми-

нантной категории степени эродированности почв. В то же время детальные исследования на ключевых участках [18, 21] свидетельствуют о том, что ареалы эродированных почв на склонах невысокой крутизны имеют небольшую суммарную площадь и фрагментарно вкраплены в ареалы неэродированных почв. На распахиваемых склонах высокой крутизны доленое участие эродированных почв возрастает, отмечается их доминирование, которое, как правило, не приводит к сплошному (сто процентному) распространению сильноэродированных почв. В результате учета при картографировании доминантной категории степени эродированности почв происходит существенное занижение оценок площадей эродированных почв в верхних и средних частях склонов, где доминируют неэродированные почвы; в то время как завышаются площади сильноэродированных почв в нижних частях склонов. Описанные особенности существующего способа визуально-экспертного картографирования эродированности почв свидетельствуют о необходимости разработки новых подходов, способствующих уточнению картографической информации об эродированных почвах.

Современные достижения в области развития ГИС-технологий, моделирования почвенно-ландшафтных связей и эрозионных процессов дают возможность на новом технологическом уровне развивать подходы к крупномасштабному картографированию почвенного покрова. В частности, методы цифрового почвенного картографирования, основанные на поиске и математическом выражении связей между почвами и факторами почвообразования, позволяют проводить построение крупномасштабных почвенных карт, с повышенной точностью, при меньшей обеспеченности территории почвенными разрезами по сравнению с визуально-экспертным способом [27, 32]. Примером могут служить работы [30, 33], демонстрирующие принципиальную возможность составления цифровым методом карт доминантных почв и почвенных ассоциаций. В работе [6] впервые показаны подходы к цифровому картографированию ассоциаций почв разной степени эродированности на основе совместного использования данных полевых исследований почвенного покрова и математического эрозионного моделирования.

Важным техническим преимуществом цифровых почвенных карт по сравнению с традиционными является возможность хранения информации практически неограниченного объема и любого вида. При этом уровень детальности информации о почвенном покрове определяется не масштабом карты, как в случае бумажного носителя, а степенью детализации цифрового почвенного картографирования, определяемого точ-

ностью и подробностью исходных входных параметров [15].

Целью данного исследования являлась разработка подходов к цифровому почвенному картографированию на основе создания пространственной модели почвенного покрова с указанием долевого участия почв различных таксонов и степени эродированности для участков регулярной сетки высокого разрешения для пашни Прохоровского района Белгородской области. Также в задачи работы входило сопоставление результатов цифрового и визуально-экспертного способов почвенного картографирования.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Прохоровский район Белгородской области расположен в юго-восточной части Среднерусской возвышенности. Климат умеренно континентальный с жарким летом и сравнительно холодной зимой, коэффициент увлажнения равен 1. Средняя температура января составляет -6.8°C , июня 19.3°C , при среднегодовой в 6.6°C . Количество выпадающих осадков варьирует в широких пределах (от 350 до 700 мм) при среднегодовом значении в 558 мм [11].

Рельеф представлен слабоволнистой возвышенной равниной с абсолютными отметками от 165 до 267 м и общим уклоном к югу (рис. 1). При движении с севера на юг в пределах исследуемого участка происходит увеличение степени расчленения рельефа и увеличение крутизны склона. В западной части участка в рельефе широко представлены платообразные междуречья с пологими (менее 2° , редко 3° – 5°) склонами, расчлененные балочной сетью средней густоты. В восточной части участка распространены куполообразные водоразделы, хорошо разработанные речные долины, разветвленные и короткие цирковидные балки, многочисленные ложбины стока и карстово-меловые ландшафты. Преобладающим являются выровненные слабонаклонные водораздельные поверхности. В качестве почвообразующих пород выступают рыхлые отложения от легкосуглинистого до среднесуглинистого состава, преимущественно пылеватые. В юго-восточной и центральной частях ключевого участка в качестве почвообразующих пород могут выступать дочетвертичные засоленные глины. На крутых склонах близко к поверхности могут подходить толщи писчего мела. Возраст сельскохозяйственного освоения исследуемой территории, в среднем, не превышает 200 лет [25]. Структура севооборотов представлена зерновыми культурами (преобладают яровой ячмень и озимая пшеница), пропашными культурами (преобладают кукуруза и сахарная свекла) и многолетними травами [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основана на данных о морфологическом строении 639 профилей почв и детальной цифровой модели рельефа. Данные материалы, а также почвенно-эрозионная карта, составленная традиционным (визуально-экспертным) способом крупномасштабного почвенного картографирования, получены от ФГБУ «Центром агрохимической службы «Белгородский». Точки полевого опробования были изучены в рамках третьего тура полевого опробования (2016–2017 гг.) почвенного покрова пашни Прохоровского района.

Размер ячейки цифровой модели рельефа и всех иных используемых для построения и полученных карт – 20×20 м. Выбор размера ячейки обусловлен рекомендуемыми параметрами для используемой в данной работе эрозионной модели WaTEM/SEDEM v. 2004 [38, 39]. Обработка предоставленных данных проводилась в программах SAGA GIS, Grass GIS, Statistica.

Создание карты ПА проводилось на основе использования двух независимых цифровых моделей, одна из которых была направлена на картографирование ПА родов почв, вторая – ПА разной степени эродированности. Результирующая цифровая карта ПА составлена путем наложения контуров с карт долевого участия родов почв и почв разной степени эродированности в каждом элементе регулярной сетки (пикселе). Если площадь контура была менее 0.1% от всего исследуемого участка, данная ПА объединялась с близкой по компонентному составу ПА.

Построение карты почвенных ассоциаций на основе модели почвенно-ландшафтных связей. Составление почвенных карт включает 2 этапа: 1 – поиск факторно-индикационных характеристик (предикторов), наиболее информативных при выявлении пространственной неоднородности почвенного покрова; 2 – интерполяцию точечных данных, полученных в ходе полевых исследований, на всю исследуемую территорию. В случае цифрового почвенного картографирования оба эти этапа решаются формализованными методами. В данном исследовании был использован метод линейного дискриминантного анализа с пошаговым отбором предикторов – развитие этого метода и демонстрация результатов его применения для картографирования структуры почвенного покрова представлены в работах [19, 29, 31]. Этот метод, с одной стороны, позволяет выявить линейные комбинации факторов, наилучшим образом разделяющих почвы разных таксонов в пространстве факторов почвообразования, с другой стороны, предсказывает вероятность встречи почвы того или иного таксона при данных сочетаниях факторов почвообразования в каждой точке пространства исследуемого участка. В качестве факторно-индикационных характеристик (коли-

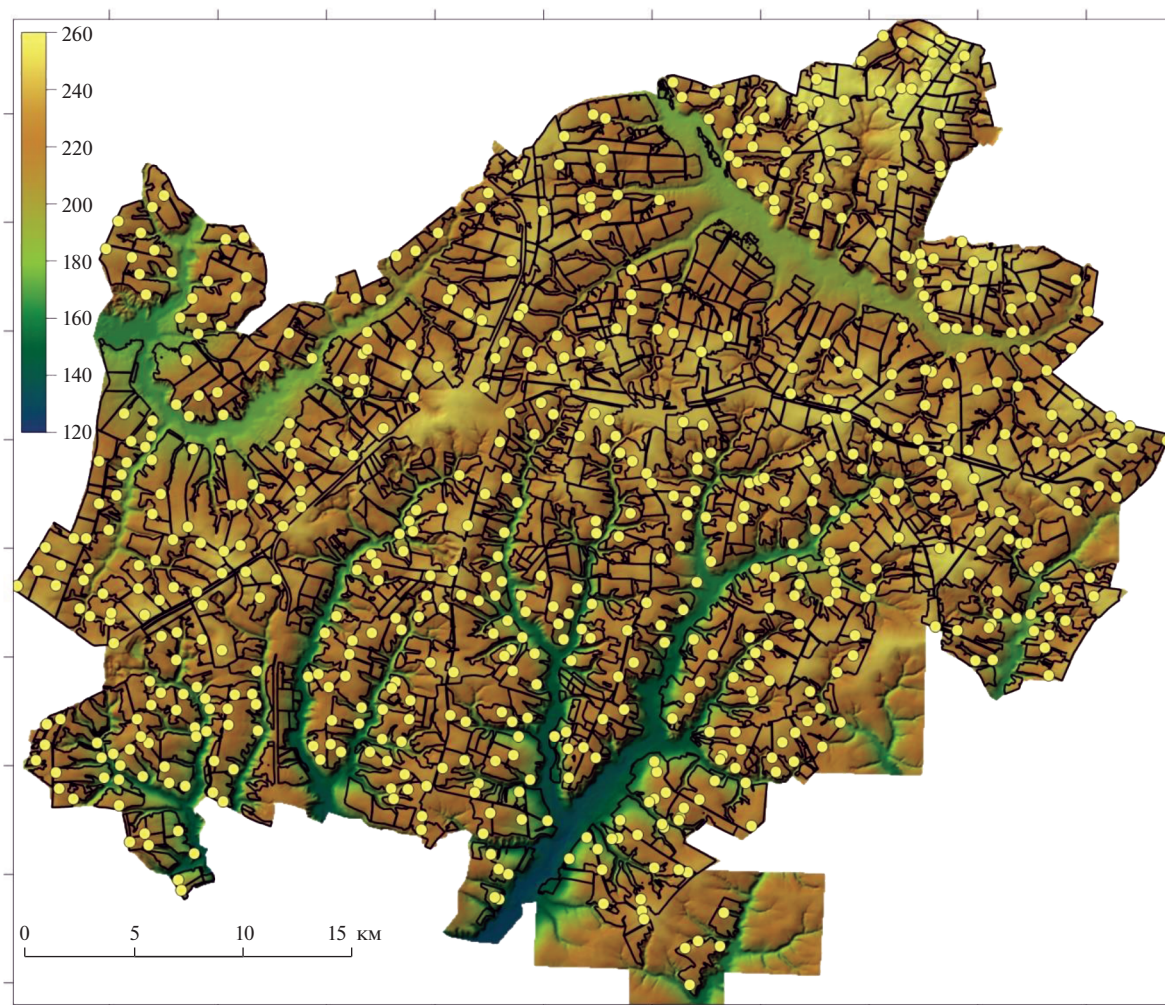


Рис. 1. Рельеф района исследования с положением точек почвенного опробования.

ческих параметров факторов почвообразования) были использованы морфометрические характеристики рельефа и особенности климата, рассчитанные для каждой ячейки регулярной сетки всей пашни Прохоровского района. Морфометрические параметры рельефа (крутизна склонов, глубина замкнутых депрессий, поперечная, плановая и общая кривизны, общая и модифицированная площадь водосбора, топографический индекс влажности, индекс длины и крутизны склона (LS-фактор), превышение над базисом эрозии, индекс неровности поверхности (TRI), относительное превышение в окрестности (TRI 250, 500, 1000 и далее до 4000 м с шагом в 500 м) были рассчитаны в программе SAGA GIS с использованием модуля пространственного анализа. Климатические параметры включали: величину суммарной потенциальной годовой солнечной радиации, поступающей на поверхность пикселя и значения суммарного перераспределенного слоя осадков, рассчитанная по модели SIMWE.

Методом линейного дискриминантного анализа были выявлены следующие ведущие факторы пространственной дифференциации почв: значение перераспределенного слоя осадков, превышение над базисом эрозии, крутизна склонов, превышение в окрестности 4000 м. Значения перераспределенного слоя осадков, полученные в модели SIMWE, позволили установить пространственное положение переувлажненных (лугово-черноземных (Чл, Luvic Stagnic Chernic Phaeozem), и черноземно-луговых (Лч, Luvic Stagnic Chernic Phaeozem)) почв; комбинация значений превышения в окрестности 4000 м и над базисом эрозии определили положение черноземов типичных (Чт, Haplic Chernozems) и выщелоченных (Чв, Luvic Chernozems и Luvic Chernic Phaeozems) на определенных высотах приводораздельных склонов и междуречий; крутизна склонов позволила картографировать локализацию черноземов типичных карбонатных, то есть черноземов с повышенным уровнем вскипания карбонатов в гумусовом го-

ризонте (Чтк, Haplic Chernozems и Calcic Chernozems) на покатых склонах. В результате были оценены вероятности встречи каждой почвы определенного таксономического значения регулярной сети на территории пашни Прохоровского района. Эти вероятности были проинтерпретированы как доля пикселя, занимаемая предсказанной почвой [19].

Было установлено, что пространственное положение некоторых почв в большей степени зависит от особенностей состава почвообразующих пород и истории землепользования, чем от параметров рельефа и климата, используемых в качестве предикторов в построенной модели почвенно-ландшафтных связей. В частности, черноземы остаточно-карбонатные (Чок, Haplic Chernozems и Calcic Phaeozem) формируются при близком залегании к поверхности плотных карбонатных пород; черноземы солонцеватые (Чсн, Protosodic Chernozems и Sodic Chernozems) – дочетвертичных засоленных глин; черноземы оподзоленные (Чоп, Luvic Greyzemic Chernic Phaeozem) и темно-серые почвы (Л, Luvic Greyzemic Chernic Phaeozem) приурочены к участкам старо возростных лесных массивов, сведенных в недавнем времени. Согласно традиционной карте, все указанные почвы занимают лишь около 3% исследуемой территории. В виду низкой предсказательной способности модели для этих почв и отсутствия картографических материалов по распространению близко залегающих к поверхности плотных карбонатных пород и засоленных отложений, а также данных об истории землепользования, которые могли бы быть использованы для улучшения модели, было принято решение использовать информацию о распространении этих почв с традиционной почвенной карты. На участках, на которых распространены данные почвы были выделены новые ПА. Чок, Чсн, Чоп, Л были добавлены в состав ПА в качестве доминантных. Таким образом, на карте почвенных ассоциаций появились четыре новые группы: черноземы выщелоченные солонцеватые и черноземы типичные солонцеватые (ЧвснЧтсн); черноземы типичные солонцеватые и черноземы выщелоченные солонцеватые (ЧтснЧвсн); черноземы остаточно-карбонатные и черноземы типичные карбонатные (ЧокЧтк); темно-серые почвы, черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные (ЛЧопЧв).

Расчет площади почв в пикселе проводился путем умножения доли почвы от площади пикселя на площадь пикселя (400 м^2), а затем суммированием площади почвы во всех пикселях. Созданная база данных в виде таблицы информации о долевом участии почв различных таксонов в каждом пикселе может быть использована в практических или научных целях без искажения уровня детализации. Однако визуальное отображение данной информации в виде карты невозможно

без ее генерализации и, как следствие, обобщения и потери части информации.

С целью визуализации в виде карты полученной цифровой базы данных (рис. 2) были использованы правила отнесения пикселя к соответствующей почвенной ассоциации в соответствии с методическими указаниями построения карт для лесостепной зоны [17] (табл. 1). Критерии выделения почвенных ассоциаций основаны на долевом участии почв в каждом пикселе, поскольку в цифровой почвенной картографии элементы регулярной сетки (пиксели) служат посредниками между точечными данными и факторными основами [19]. Отметим, что содержание отдельно взятых пикселей или небольших групп пикселей не дает представление о строении почвенного покрова и составе почвенных ассоциаций. Лишь вся совокупность пикселей (в данном исследовании анализируется 1.8 млн пикселей) позволяет судить о составе, пространственном положении и конфигурации почвенных ассоциаций. Единичные пиксели на карте были удалены методом фильтрации.

Построение карты ассоциаций почв разной степени эродированности. Цифровое моделирование ассоциаций почв разной степени эродированности проведено на основе сопоставления темпов эрозии почв, рассчитанных для элементов регулярной сетки с помощью эрозионной модели, и степени эродированности почв, диагностированной при полевом обследовании [6]. Для расчета темпов эрозии почв была использована модель WaTEM/SEDEM v. 2004 г. [38, 39]. Эрозионный потенциал дождей осадков (R_{30}) взят с растровой карты “Global Rainfall Erosivity” [35]. Для Прохоровского района значения индекса эрозионного потенциала дождей осадков варьируют от 270 до 320 мДж мм/(га час). Показатель противозерозионной устойчивости почв, определяемый гранулометрическим составом почв и содержанием гумуса, характеризуется низким разбросом значений в пределах района. Почти повсеместно распространены черноземы тяжелосуглинистые с относительно невысоким варьированием содержания гумуса. В связи с этим было взято среднее значение коэффициента противозерозионной устойчивости почв, рассчитанное по формуле [37], которое для территории исследования составило – 35 кг га час/(га мДж мм). Почвозащитная роль возделываемых культур за ротации севооборота относительно эродированности чистого пара задана значением – 0.4 для всего периода сельскохозяйственного освоения согласно литературным данным [8, 20].

Отметим, что представляется возможным увеличением детализации некоторых входных параметров эрозионной модели для решения научных и практических задач. В частности, допустимо уточнение коэффициентов противозерозионной устойчивости почв и почвозащитной роли возде-

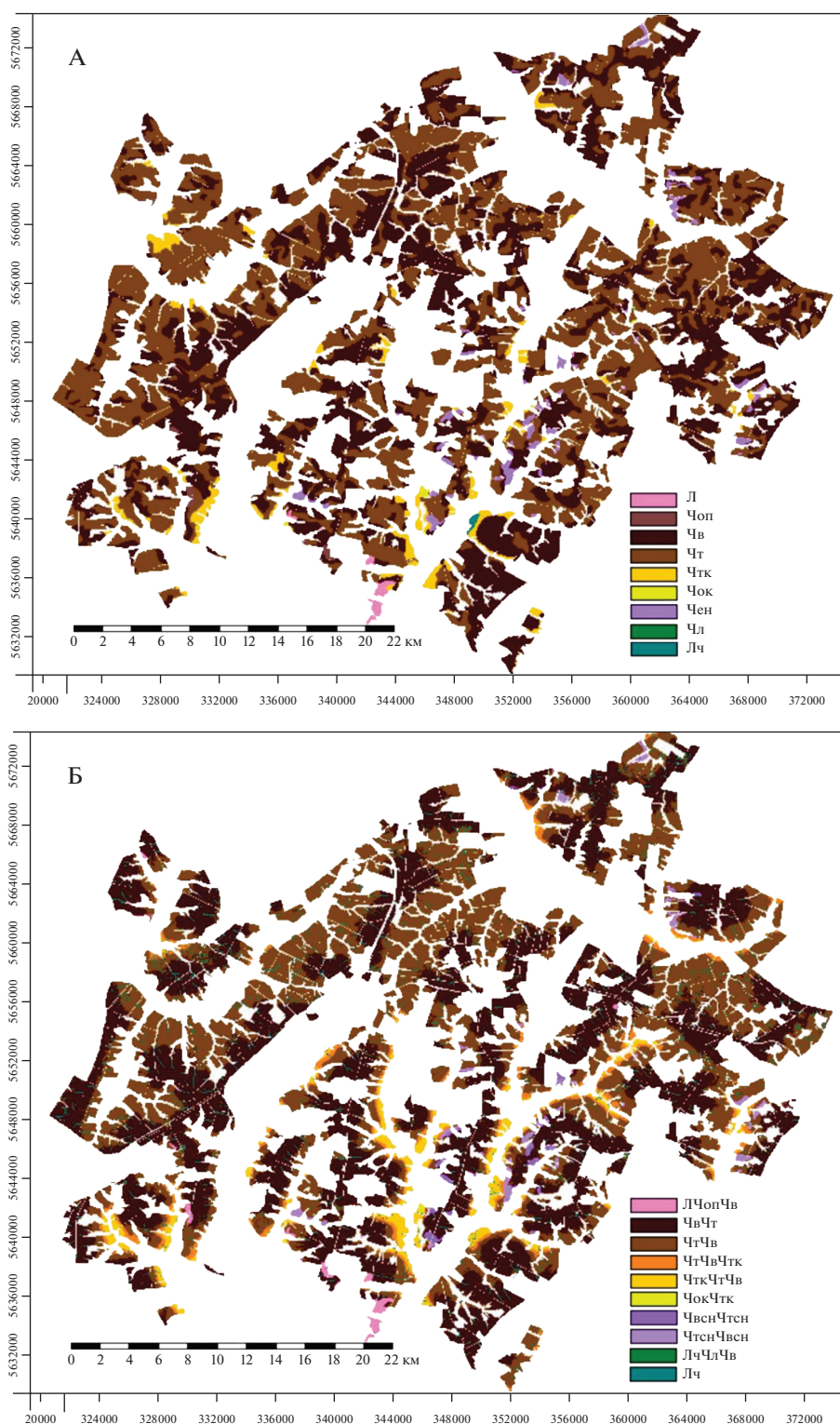


Рис. 2. Почвенные карты пахотных территорий: А — традиционная с отображением доминантных категорий почв; Б — цифровая с отображением ПА.

лываемых культур в масштабе отдельных агрохозяйств, а также с учетом истории изменения севооборотов за период распашки; учет динамики эрозионного потенциала дождевых осадков в свя-

зи с климатическими изменениями; принятие во внимание конфигурации полевой инфраструктуры, лесомелиоративных полос и др. В данной работе уровень детализации входных параметров

Таблица 1. Критерии выделения почвенных ассоциаций на основе долевого участия почв различных таксонов в пикселе [17]

Почвенная ассоциация	Критерии на основе долевого участия почв различных таксонов, %			
	Ч _т + Ч _в	Ч _{тк}	Л _ч	дополнительные условия
Ч _т Ч _в	≥75	—	—	Ч _т > Ч _в
Ч _в Ч _т	≥75	—	—	Ч _в > Ч _т
Ч _{тк} Ч _т Ч _в	—	>50	—	Ч _т > Ч _в
Ч _т Ч _в Ч _{тк}	50–75	—	—	Ч _т > Ч _в и Ч _{тк} > Л _ч
Ч _в Ч _т Ч _{тк}	50–75	—	—	Ч _в > Ч _т и Ч _{тк} > Л _ч
Л _ч Ч _т Ч _в	—	—	50–75	Ч _т > Ч _в
Л _ч Ч _в Ч _т	—	—	50–75	Ч _в > Ч _т
Л _ч Ч _л Ч _в	—	—	50–75	Ч _л > Ч _в
Л _ч	—	—	>75	Ч _в > Ч _т
Ч _т Ч _в Л _ч	50–75	—	—	Ч _т > Ч _в и Л _ч > Ч _{тк}
Ч _в Ч _т Л _ч	50–75	—	—	Ч _в > Ч _т и Л _ч > Ч _{тк}

цифрового моделирования был выбран в соответствии с уровнем детализации входных параметров, использованном при традиционном картографировании, с целью корректного сравнения результатов, полученных разными способами.

В работе использован высокий уровень детализации входных параметров. Как правило, моделирование эрозии почв на больших по площади территориях (при крупномасштабных исследованиях и меньшего масштаба) проводится на основе цифровых моделей рельефа, полученных с использованием данных дистанционного зондирования, например [10, 34, 36]. Однако применение данных дистанционного зондирования пока не позволяет оценивать эрозионно-аккумулятивные процессы на самом высоком уровне и значительно уступает использованию цифровых моделей рельефа, полученных в результате оцифровки крупномасштабных топографических карт [14, 28].

При полевом обследовании почвенного покрова степень эродированности почв определялась по классификации [16]. Были выделены неэродированные (почвы водораздельных участков), слабоэродированные (мощность гумусового горизонта на <20 см меньше, чем на водоразделе), среднеэродированные (мощность гумусового горизонта на 20–40 см меньше, чем на водоразделе), сильноэродированные (мощность горизонта более чем на 40 см меньше, чем на водоразделе). Для последующего анализа неэродированные и слабоэродированные почвы были объединены в одну категорию почв с мощностью гумусового горизонта на 20 см меньше, чем на водоразделе с целью применения единого методического подхода выделения почв — по мощности гумусового горизонта.

Проведена статистическая оценка соответствия расчетных по модели темпов эрозии и степени эродированности почв, установленной в точках опробования (рис. 3). Результаты свидетельствуют о том, что 75%-е доверительные интервалы разных категорий почв по степени эродированности не пересекаются. Неэродированные и слабоэродированные почвы характеризуются расчетными темпами эрозии в диапазоне 0–6 т/га в год; среднеэродированные — 7–15 т/га в год; сильноэродированные — 19–24 т/га в год. 95%-ные доверительные интервалы выбранных категорий эродированности почв пересекаются, что обуславливает вероятность долевого участия почв не-, слабо- и среднеэродированных почв при расчетных темпах эрозии 2–18 т/га в год; средне- и сильноэродированных почв при расчетных темпах эрозии 13–25 т/га в год. Согласно методике [6], были установлены эмпирические функции принадлежности выбранных категорий почв разной степени эродированности и расчетных темпов эрозии, имеющие следующий вид:

$$\mu_{\text{э0+э1}} = \exp(-0.05x), \quad (1)$$

$$\mu_{\text{э2}} = -0.2186 + 0.6532 \lg 10(x), \quad (2)$$

$$\mu_{\text{э3}} = -0.0066 + 0.0018x, \quad (3)$$

где $\mu_{\text{э0+э1}}$ — вероятность долевого участия неэродированных и слабоэродированных почв; $\mu_{\text{э2}}$ — вероятность долевого участия среднеэродированных почв; $\mu_{\text{э3}}$ — вероятность долевого участия сильноэродированных почв; x — расчетные темпы эрозии почв.

На основе выявленных эмпирических функций и расчетных темпов эрозии для каждого элемента регулярной сетки были рассчитаны значе-

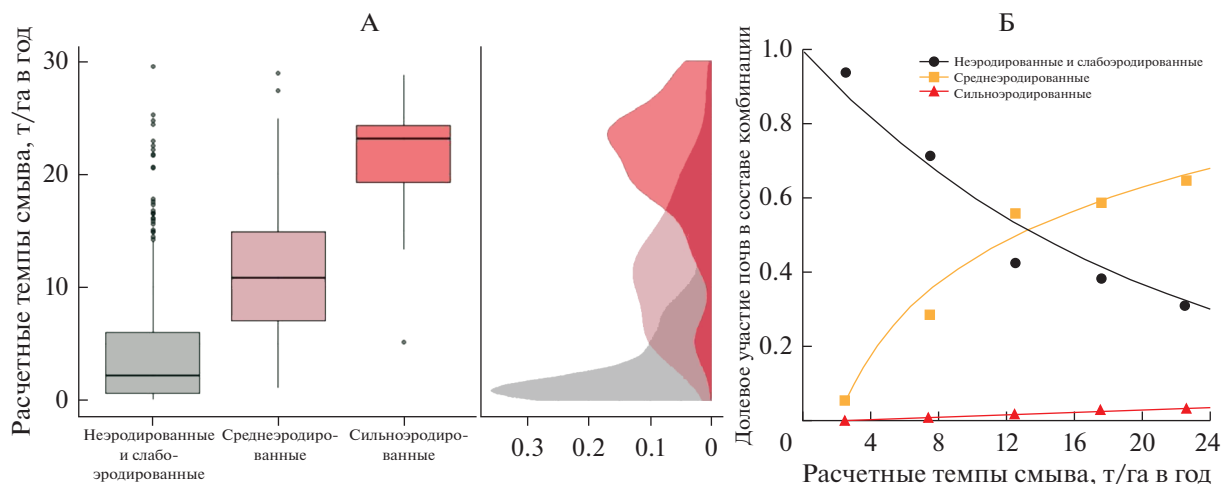


Рис. 3. Сопоставление расчетных темпов эрозии почв со степенью эродированности почв, диагностированной при полевых исследованиях, в точках опробования в виде боксплотов (А), плотности распределения описанных значений (Б), эмпирически рассчитанных функций принадлежности.

ния вероятностного долевого участия категорий почв разной степени эродированности. Полученная таким образом база данных об эродированности почв, так же как база данных о долевого участия почв различных таксонов, может быть использована в различных целях без искажения уровня детализации при помощи ГИС.

С целью визуализации полученной информации об эродированности почв и отображения ее в виде карты (рис. 4) были выделены ПА эродированности почв в соответствии с существующими нормативами [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Среди опробованных 639 почвенных разрезов диагностированы следующие почвы: черноземы типичные (320 точек), выщелоченные (234 точки), типичные карбонатные (32 точки), солонцеватые (16 точек), оподзоленные (3 точки), остаточнок-карбонатные (1 точка), темно-серые лесные (6 точек), черноземно-луговые (10 точек) и лугово-черноземные (10 точек). По степени эродированности: 235 разрезов почв приходятся на неэродированные (Э0), 230 — на слабоэродированные (Э1), 157 — на среднеэродированные (Э2) и 4 — на сильноэродированные (Э3).

На основе применения методов цифровой почвенной картографии была создана модель, описывающая долевого участие почв различных таксонов и степени их эродированности в каждом пикселе 20×20 м всей пашни Прохоровского района, в виде таблицы из 1.8 млн строк.

Сравнение традиционной и цифровой почвенных карт показывают, что в обоих случаях преобладающими почвами являются черноземы выщелоченные и типичные, ареалы которых занимают

суммарно более 90% территории. При этом площадь ареалов черноземов выщелоченных на традиционной почвенной карте и в составе ПА на цифровой карте очень близки и составляют 29.0 и 30.3 тыс. га соответственно (табл. 2). Площадь ареалов черноземов типичных на традиционной почвенной карте и в составе ПА на цифровой карте также близки и составляют 36.7 и 30.9 тыс. га.

В южной части Прохоровского района на водораздельной поверхности встречаются ареалы с преобладанием черноземов оподзоленных и темно-серых лесных почв (рис. 2). В пределах склонов появляются ареалы с участием черноземов типичных карбонатных, остаточнок-карбонатных и солонцеватых. Пространственная приуроченность черноземов типичных карбонатных на традиционной и цифровой картах практически совпадает; однако общая площадь, занятая этими почвами на традиционной и цифровой картах различаются более чем в 2 раза — 1.9 и 4.3 тыс. га.

Наибольшие различия в размерах ареалов и их пространственной приуроченности приходятся на почвы, испытывающие периодическое переувлажнение, то есть лугово-черноземных и черноземно-луговых почв. Согласно данным традиционного картографирования, площади лугово-черноземных почв составляют лишь 47 га, а согласно цифровому картографированию — 1.3 тыс. га. Почвенные комплексы с лугово-черноземными и черноземно-луговыми почвами на цифровой карте приурочены к мелким ложбинам. На традиционной почвенной карте мелкие ложбины почти не выделены в почвенном отношении, в их пределах показаны те же почвы, что и на окружающем пространстве — черноземы типичные, выщелоченные и типичные карбонатные и др. Единственный массив переувлажненных почв на

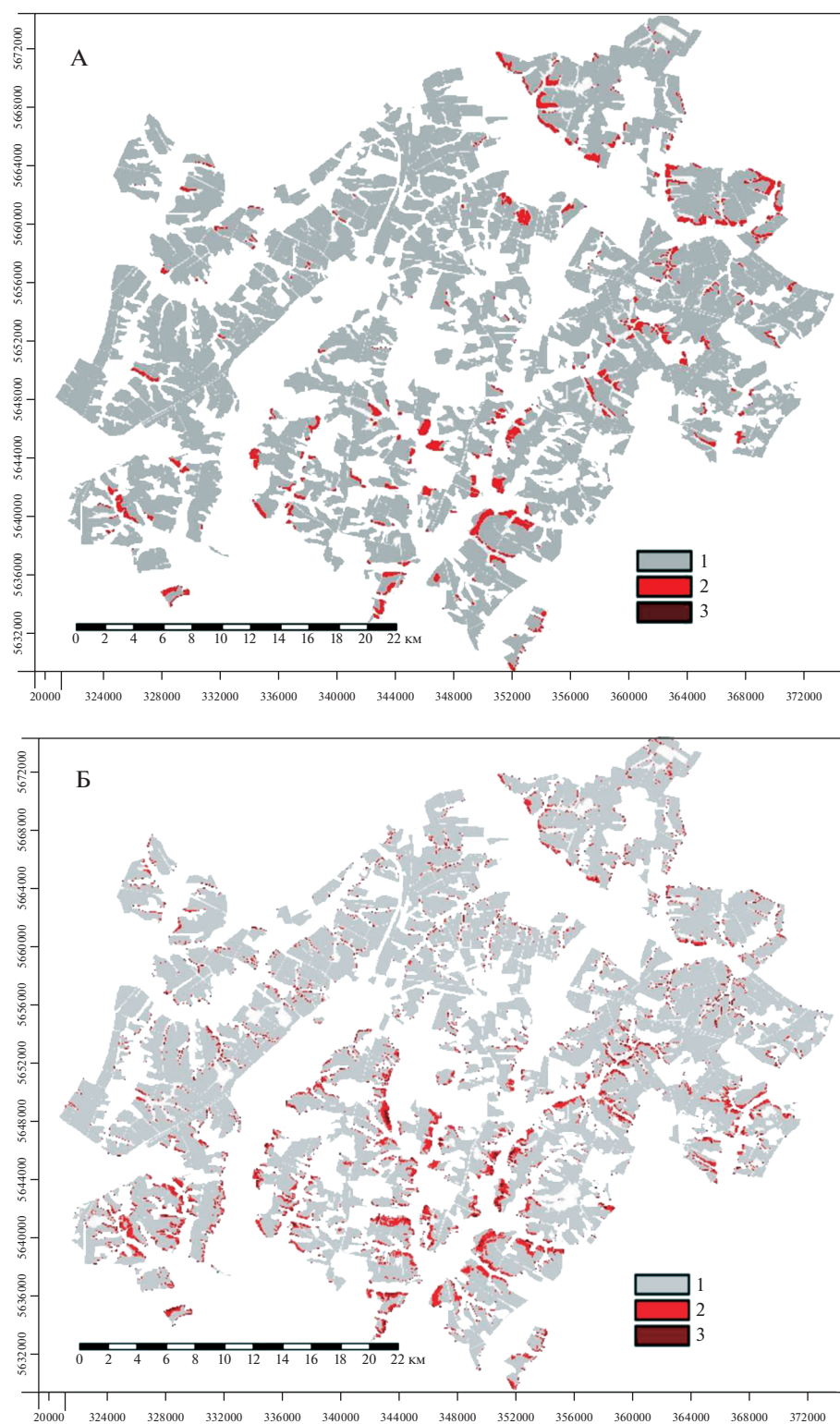


Рис. 4. Карты эродированности почвенного покрова пахотных территорий: А – традиционная с отображением доминантных категорий: 1 – не- и слабоэродированные, 2 – среднеэродированные, 3 – сильноэродированные; Б – цифровая с отображением ПА: 1 – не- и слабоэродированные с долевым участием >75%; 2 – средне- и сильноэродированные >50%, среднеэродированные > сильноэродированные; 3 – средне- и сильноэродированные >50%, сильноэродированные > среднеэродированные.

Таблица 2. Площади преобладающих почв пашни Прохоровского района (га), по данным визуально-экспертного и цифрового способов картографирования

Почвы различных таксонов	Степень эродированности почв	Визуально-экспертный способ (по доминантной категории)	Цифровой способ (по долевого участию почв в пикселе)
Чт	Неэродированные и слабоэродированные	35454	25872
	Среднеэродированные	1325	4915
	Сильноэродированные	0	128
Чв	Неэродированные и слабоэродированные	28369	25819
	Среднеэродированные	641	4422
	Сильноэродированные	0	111
Чтк	Неэродированные и слабоэродированные	1377	2695
	Среднеэродированные	545	1543
	Сильноэродированные	0	61
Лч	Неэродированные и слабоэродированные	47	1305
	Среднеэродированные	0	449
	Сильноэродированные	0	13

традиционной карте показан в нижней части склона северо-западной экспозиции в юго-восточной части Прохоровского района. На цифровой карте этот участок показан почвенными ассоциациями с преобладанием лугово-черноземных почв (в пределах ложбин) и черноземов типичных карбонатных на межложбинных гребнях. Занижение площадей ареалов лугово-черноземных и черноземно-луговых почв при визуально-экспертном способе картографирования отмечается в литературе [9].

Карты эродированности почвенного покрова, построенные визуально-экспертным и цифровым способами, в значительной степени сходны по пространственному положению ареалов почв разной степени эродированности (рис. 4), что ожидаемо, поскольку локализация ареалов эродированных почв обусловлена в первую очередь рельефом территории, который учитывается в обоих случаях. Ареалы распространения эродированных почв на цифровой карте имеют более дробный (кружевной) характер, но большее распространение по сравнению с традиционной картой.

Площади почв разной степени эродированности, диагностируемые разными способами картографирования, существенно отличаются (табл. 2). Согласно визуально-экспертному способу картографирования неэродированные и слабоэродированные почвы практически абсолютно доминируют и занимают 95.4–96.3% пашни Прохоровского района. В свою очередь цифровое картографирование свидетельствует о том, что доля неэродированных и слабоэродированных почв существенно ниже – 82.7%. Расхождения в площадях средне- и сильноэродированных почв, картографируемых разными способами суще-

ственное – около 9 тыс. га (или 13% территории пашни Прохоровского района).

Полученные разными способами картографирования расхождения в площадях эродированных почв имеют важное значение для характеристики структуры почвенного покрова данной территории. Наиболее близкие показатели выявлены для Чтк, поскольку они приурочены преимущественно к нижним частям склонов и в некоторой степени их формирование может быть обусловлено эрозионными процессами. Согласно обоим способам картографирования, доля средне- и сильноэродированных почв составила около трети от общей площади ареалов данных почв (28.4–32.8% по визуально-экспертному и 37.3% по цифровому способу). Доля средне- и сильноэродированных почв от общей площади ареалов Чт и Чв согласно визуально-экспертному способу составила 2.2–4.1%, а согласно цифровому способу в этот показатель в 4–7 раз больше и равен 14.9–16.3%. Наибольшие расхождения отмечаются для Лч почв: доля средне- и сильноэродированных почв от общей площади ареалов этих почв согласно визуально-экспертному способу составила лишь 0.4%, а согласно цифровому – 26.1%.

Проведен визуальный сравнительный анализ пространственной локализации участков, на которых выявлено наибольшее расхождение в степени эродированности почв, картографированных визуально-экспертным и цифровым способами. Такие участки равномерно разбросаны по территории всего района и не создают крупных ареалов; как правило, их размеры составляют менее 1 га. В некоторых случаях площадь таких участков может составлять первые га. Почти повсеместно отмечается занижение степени эроди-

Таблица 3. Площади почв разной степени эродированности пашни Прохоровского района (в тыс. га), по данным визуально-экспертного и цифрового способов картографирования

Степень эродированности почв	Визуально-экспертный способ, доминантная категория	Цифровой способ	
		доминантная категория	долевое участие почв в пикселе
Неэродированные и слабоэродированные	65.2	62.1	55.7
Среднеэродированные	2.5	4.3	11.3
Сильноэродированные	0.0	0.9	0.3

рованности почв при картографировании визуаль-но-экспертным способом по сравнению с цифро-вым. В то же время около 1.3 тыс. га занимают участки, где отмечается обратная ситуация — на традиционной карте показаны почвы высокой степени эродированности (категории 2 и 3 на рис. 4, А), а на цифровой карте — ПА с преобладанием не- и слабоэродированных почв (категория 1 на рис. 4, Б). Такие участки сосредоточены, преимущественно, в С и З частях района. Площади ареалов, как правило, составляют первые га, в некоторых случаях, достигают нескольких десятков га.

Отметим, что представленный выше анализ опирался на сравнение почвенно-эрозионных карт, полученных визуаль-но-экспертным способом с выделением доминантных почв и цифровым способом с выделением ПА. Однако цифровая модель почвенного покрова позволяет оперировать не только ПА, но также и доминантными категориями почв. В этом случае каждому пикселю соответствует одна доминантная почва и категория эродированности. Такой подход, в частности используется для проверки точности цифровой модели почвенного покрова, для сравнения пространственного положения конкретных почв различных таксонов и других задач.

При переходе от ПА к доминантным почвам различных таксонов были выявлены небольшие различия в площади и локализации ареалов почв. Площади преобладающих почв (черноземов типичных и выщелоченных) в результате генерализации изменились менее чем на 3%, площади лугово-черноземных почв изменились на 13%. Существенные изменения претерпели черноземы типичные карбонатные, площади которых в результате генерализации уменьшились на 40%. Однако при этом площади черноземов типичных карбонатных, полученные цифровым способом (по доминантной категории) равны 1.8 тыс. га и практически полностью соответствуют площади, полученной визуаль-но-экспертным способом (по доминантной категории) — 1.9 тыс. га. Таким образом, в результате такой генерализации, несмотря на существенные изменения площади черноземов типичных карбонатных, общее содержание цифровой почвенной карты не претерпело значи-

тельных изменений, а отчасти стало больше соответствовать традиционной почвенной карте.

В свою очередь при переходе от ПА к доминантным категориям эродированности почв отмечается существенное снижение площади средне- и сильноэродированных почв. Наиболее значительные изменения отмечаются для площади среднеэродированных почв: в составе ПА они составили 11.3 тыс. га, а в результате выделения доминантной категории — почти в 4 раза меньше, лишь 4.3 тыс. га (табл. 3). Столь сильные различия обусловлены особенностями организации эрозионных элементарных почвенных ареалов, формирование которых контролируется мезо-, микро- и нанорельефом. Эродированные почвы, как правило, встречаются в комбинации с неэродированными и слабоэродированными почвами. В условиях моделирования по регулярной сети с размерами 20 × 20 м в составе ПА одновременно могут встречаться почвы разной степени эродированности. При картографировании доминантной категории информация о долевом участии почв разной степени эродированности в составе ПА генерализируется, что приводит к занижению площади эродированных почв в результате неполного учета сопутствующих средне- и сильноэродированных почв.

Выявлена зависимость между площадью зон несоответствия степени эродированности почв, диагностированных разными способами картографирования, и крутизной склонов. На склонах невысокой крутизны площади зон несоответствия очень малы (лишь 2% от всей площади зон несоответствия при уклонах 0°–1°), а при увеличении крутизны склонов резко возрастают (21% при уклонах 1°–2°, 49% при уклонах 2°–3° и т. д.), достигая максимума на склонах наибольшей крутизны (до 89% при уклонах >5°). При этом важно отметить, что, как правило, на склонах высокой крутизны несоответствие отмечается в сторону более высокой степени эродированности, картографируемой цифровым способом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе цифровых методов почвенной картографии для пашни Прохоровского района создана пространственная модель, на приемлемом уровне отражающая представления о пространственной организации почвенного покрова лесостепи Среднерусской возвышенности. На полученной карте по направлению от водораздельных пространств к нижним частям склонов происходит закономерная смена почвенных ассоциаций ЧвЧт на ЧтЧв, затем на ЧтЧвЧтк и ЧткЧтЧв, сопровождаемая увеличением доли эродированных почв, что, в целом, подтверждается литературными данными [18, 21] и картой, составленной на основе визуально-экспертного способа.

Сравнение карт, построенных визуально-экспертным и цифровым способами, не выявило принципиальных различий в суммарных площадях и пространственном расположении почв различных таксонов, но показало существенные различия в площадях почв разной степени эродированности. При картографировании почв различных таксонов разными способами наибольшие различия были обнаружены на участках, испытывающих периодическое переувлажнение, то есть с лугово-черноземными и черноземно-луговыми почвами, что обусловлено слабым учетом мелких ложбин при визуально-экспертном способе картографирования. Тем не менее, близость результатов картографирования почв различных таксонов разными методами проявилась, несмотря на относительно низкую обеспеченность исследуемой территории почвенными разрезами (в среднем 1 разрез на 110 га). Цифровая карта содержит больше информации о почвенном покрове, поскольку характеризует компонентный состав и долевое участие почв в каждом пикселе, в отличие от традиционной почвенной карты, отображающей только доминантную категорию почв.

Различия в степени эродированности почвенного покрова, показанного на картах, обусловлены как способом картографирования (визуально-экспертным и цифровым), так и содержанием картографической информации (с отображением доминантной категории или ПА). В случае картографирования визуально-экспертным способом отмечается существенное (в 3–4 раза) занижение площадей средне- и сильноэродированных почв за счет слабого учета иных кроме уклонов факторов развития эрозионно-аккумулятивных процессов. С увеличением крутизны склонов расхождения между оценками эродированности почв, полученные визуально-экспертным и цифровым способами картографирования возрастают. При этом, как правило, на склонах большей крутизны несоответствие отмечается в сторону более высокой степени эродированности, картографируемой цифровым способом.

При генерализации содержания карт от ПА к доминантным категориям эродированности почв происходит существенное уменьшение суммарной площади средне- и сильноэродированных почв, преимущественно в связи с недоучетом площадей ареалов сопутствующих средне- и сильноэродированных почв в составе ПА. Отметим, что картографирование эродированности почвенного покрова, как правило, традиционно направлено на разработку противоэрозионных мероприятий. С этой точки зрения не требуется учет мелких ареалов эродированных почв, локально вкрапленных в ареалы слабоэродированных почв. Однако данная информация, полученная для участков регулярной сетки высокого разрешения (в десятки метров), может иметь важное информативное значение для различных научных и прикладных задач. Например, для целей сельского хозяйства, в частности для точного земледелия, детализации агроэкологической группировки земель и др.

В целом можно отметить, что цифровые базы данных обладают большей информативностью по сравнению с традиционными картами. Возможность хранения и обработки информации в ГИС в исходном виде по каждому отдельно-взятому элементу регулярной сетки (пикселю) позволяет более детально анализировать информацию об организации почвенного покрова и степени его эродированности. Визуализация информации в графическом виде (в виде карт) приводит к ее генерализации и, как следствие, к искажению площадей и пространственной приуроченности ареалов почв, в особенности в отношении степени эродированности почвенного покрова.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-35-20011) и в рамках темы госзадания № 0591-2020-0029.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балсанова Л.Д., Гынинова А.Б. Структуры почвенного покрова северного макросклона хребта Цаган-Дабан в Забайкалье // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1423–1428.
2. Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
3. Иванов В.Д., Божко С.Н. Почвенный покров и свойства почв балочных водосборов центрально-

- черноземного региона // Почвоведение. 2000. № 6. С. 671–682.
4. *Заздравных Е.А.* Пространственно-временные особенности трансформации пахотных почв лесостепи на юге Среднерусской возвышенности. Дис. ... канд. геогр. н. Белгород: НИУ БелГУ, 2017. 200 с.
 5. *Кирюшин В.И.* Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов: учебник. СПб.: ООО “Квадро”, 2018. 568 с.
 6. *Козлов Д.Н., Жидкин А.П., Лозбнев Н.И.* Цифровое картографирование эрозионных структур почвенного покрова на основе имитационной модели смыва (северная лесостепь Среднерусской возвышенности) // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. № 100. С. 5–29.
 7. *Кузнецов М.С., Глазунов Г.П.* Эрозия и охрана почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 335 с.
 8. *Ларионов Г.А.* Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.
 9. *Левченко Е.А.* Диагностика и агроэкологическая оценка структур почвенного покрова Вороно-Цнинского междуречья Тамбовской области. Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. М., 2020. 24 с.
 10. *Литвин Л.Ф., Кирюхина З.П., Краснов С.Ф., Добровольская Н.Г.* География динамики земледельческой эрозии почв на европейской территории России // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1390–1400.
 11. *Лукин С.В.* Агроэкологическое состояние и продуктивность почв Белгородской области. Белгород: Константа, 2016. 344 с.
 12. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований. М.: Колос, 1973. 48 с.
 13. Почвенное картирование: учебно-методическое пособие / Под. ред. Апарина Б.Ф., Касаткиной Г.А. СПб.: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2012. 128 с.
 14. Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природно-антропогенной эрозии на Русской равнине / Под. ред. Голосова В.Н. и Ермолаева О.П. Казань: Изд-во АН РТ, 2019. 372 с.
 15. *Савин И.Ю.* Проблема масштаба в современной почвенной картографии // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. № 97. С. 5–20.
 16. *Соловichenко В.Д., Тютюнов С.И., Уваров Г.И.* Методика проведения почвенно-эрозионного обследования склоновых земель Белгородской области. Белгород: Отчий край, 2014. 44 с.
 17. *Сорокина Н.П.* Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. 159 с.
 18. *Сорокина Н.П.* Элементарные почвенные структуры на полях Курской опытной станции // Крупномасштабная картография почв и ее значение в сельском хозяйстве черноземной зоны. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1976. С. 155–173.
 19. *Сорокина Н.П., Козлов Д.Н.* Опыт цифрового картографирования структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2009. № 2. С. 198–210.
 20. *Сурмач Г.П.* Рельефообразование, формирование лесостепи, современная эрозия и противоэрозионные мероприятия. Волгоград, 1992. 172 с.
 21. *Фишман М.И.* Черноземные комплексы и их связь с рельефом на Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 1977. № 5. С. 17–30.
 22. *Фридланд В.М.* Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 424 с.
 23. *Хитров Н.Б., Лойко С.В.* Структура почвенного покрова плоских водораздельных пространств Каменной степи // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1411–1423.
 24. *Цыбикдоржиев Ц.Ц., Ходоева С.О., Гончиков Б.-М.Н.* Структура и оценка почвенного покрова Прибайкалья Бурятии (на примере Кабанского района) // Почвоведение. 2012. № 4. С. 398–407.
 25. *Чендев Ю.Г.* Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. М.: ГЕОС, 2008. 212 с.
 26. *Bockheim J.G., Gennadiyev A.N.* General state soil maps in the USA // Geoderma. 2015. V. 253–254. P. 78–89.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.04.013>
 27. *Cambule A.H., Rossiter D.G., Stoorvogel J.J.* A methodology for digital soil mapping in poorly-accessible areas // Geoderma. 2013. V. 192(1). P. 341–353.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.020>
 28. *De Vente J., Poesen J., Govers G., Boix-Fayos C.* The implications of data selection for regional erosion and sediment yield modeling // Earth Surf. Process. and Landforms. 2009. V. 34. P. 1994–2007.
<https://doi.org/10.1002/esp.1884>
 29. Digital soil mapping with limited data / Eds.: Hartemink A., McBratney A., Mendosa-Sanyos L.M. Springer. 2008. 445 p.
 30. *Khitrov N., Smirnova M., Lozbenev N., Levchenko E., Gribov V., Kozlov D., Rukhovich D., Kalinina N., Koroleva P.* Soil cover patterns in the forest-steppe and steppe zones of the East-European plain // Soil Science Annual. 2019. V. 70(3). P. 198–210.
<https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0018>
 31. *Lozbenev N., Smirnova M., Bocharnikov M., Kozlov D.* Digital Mapping of Habitat for Plant Communities Based on Soil Functions: A Case Study in the Virgin Forest-Steppe of Russia // Soil Systems. 2019. № 3. V. 19.
<https://doi.org/10.3390/soilsystems3010019>
 32. *McBratney A.B., Santos M.L.M., Minasny B.* On digital soil mapping // Geoderma. 2003. V. 117. P. 3–52.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
 33. *Pahlavan-Rad M.R., Khormali F., Toomanian N., Brungard C.W., Kiani F., Komaki C.B., Bogaert P.* Legacy soil maps as a covariate in digital soil mapping: A case study from Northern Iran // Geoderma. 2016. V. 279. P. 141–148.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.014>
 34. *Panagos P., Borrelli P., Meusburger K.* A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modelling Soil Erosion by Water // Geosciences. 2015. V. 5(2). P. 117–126.
<https://doi.org/10.3390/geosciences5020117>

35. *Panagos P., Borrelli P., Meusburger K. et al.* Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records // *Sci Rep.* 2017. V. 7(1). P. 4175. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>
36. *Pena S., Abreu M., Magalhães M., Cortez N.* Water erosion aspects of land degradation neutrality to landscape planning tools at national scale // *Geoderma.* 2020. V. 363. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114093>
37. *Renard K., Foster G., Weesies G., McCool D., Yoder D.* Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agriculture Handbook. 1997. 384 p.
38. *Van Oost K., Govers G., Desmet P.* Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage // *Landscape Ecology.* 2000. V. 15. P. 577–589. <https://doi.org/10.1023/A:1008198215674>
39. *Van Rompay A., Verstraeten G., Van Oost K., Govers G., Poesen J.* Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach // *Earth Surface Processes and Landforms.* 2001. V. 26(11). P. 1221–1236. <https://doi.org/10.1002/esp.275>

Digital Modeling of Soil Cover and Soil Erosion (Prokhorov Raion of Belgorod Oblast)

**A. P. Zhidkin^{1,*}, M. A. Smirnova^{1,2}, A. N. Gennadiev², S. V. Lukin³,
E. A. Zazdravnykh⁴, and N. I. Lozbenev¹**

¹*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119999 Russia*

³*Belgorod State University, Belgorod, 308015 Russia*

⁴*FSBI CAS "Belgorodsky", Belgorod, 308027 Russia*

*e-mail: gidkin@mail.ru

A new method is proposed for digital mapping of the soil cover pattern, taking into account the proportion of soils of various taxa and the degree of soil degradation due to erosion in soil combinations. A comparative analysis of conventional and digital soil maps as well as of maps, differing in mapping objects (dominant soil category or soil combinations) has been performed. In conventional soil map (dominant soil category mapped), there is a significant underestimation of the total area of medium- and strongly eroded soils as compared to the digital map. These differences are explained by the underestimation of the area of small patches of medium- and strongly eroded soils (as ingredients of soil combinations on slopes of low gradient and in shallow hollows) in a conventional mapping method. The estimated degree of erosion-induced soil degradation changes significantly in the course of generalization of digital maps from soil combinations to dominant soil categories. Comparison of the conventional and digital soil mapping methods indicates a high degree of correspondence of the spatial position and total areas of soils in both cases. The greatest differences in soil maps compiled by these methods are found for periodically waterlogged soils – meadow-chnozemic (Luvic Chernic Phaeozem (Oxyaquic)) and chnozemic-meadow (Luvic Stagnic Chernic Phaeozem); they derive of the insufficient account for microrelief in traditional mapping. In general, the digital mapping is more complicated in terms of the need to use specialized computer programs and mathematical models; however, the digital databases contain more detailed information as compared to conventional soil maps.

Keywords: WATEM/SEDEM, Chernozem, agrolandscape, soil combination, soil cover pattern