

Применение дистанционной информации и ГИС-технологий для создания цифровых почвенных карт (на примере равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии)

Р. Х. Темботов, О. Н. Горобцова, Ф. В. Гедгафова, Т. С. Улигова, Е. М. Хакунова

Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН

Нальчик, 360051, Россия

E-mail: tembotov.rustam@mail.ru

Показана эффективность применения методики создания цифровых почвенных карт, сочетающей фактический материал о почвах (обучающую выборку) и данные дистанционного зондирования, обработанные с использованием методов геостатистики. Методику применили для формирования модели структуры почвенного покрова на примере равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии. Для обработки совмещённых данных пространственной динамики свойств различных типов и подтипов почв и дальнейшего моделирования использовали пошаговый дискриминантный анализ. Полученные результаты свидетельствуют, что в созданной модели все 11 изученных подтипов почв хорошо распознаются. Качество распознавания составляет 74–100 %, а общее качество дискриминантной модели — 85 %, что позволяет считать созданную цифровую почвенную карту вполне адекватной. В отличие от обычных оцифрованных версий бумажных почвенных карт созданный информационный продукт представляется картографической моделью, представляющую собой базу данных, которую можно обновлять и дополнять, тем самым повышая её достоверность. Цифровая версия традиционной почвенной карты, полученная на основе совокупности полевых данных и дистанционной информации, выступает эффективным инструментом управления земельными ресурсами, разработки агротехнологий и почвоохранных мероприятий.

Ключевые слова: цифровая почвенная карта, дискриминантный анализ, данные дистанционного зондирования, цифровая модель рельефа, биоклиматические характеристики

Одобрена к печати: 28.07.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-128-137

Введение

Почвенные карты — важнейший источник информации для рационального использования земельных ресурсов. Они необходимы для осуществления кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения, при проведении мелиоративных, агротехнических мероприятий и работ, направленных на уменьшение и предотвращение деградации земель. Активизация кадастровых работ, остро стоящие вопросы собственности, аренды и характера использования земельных ресурсов вызывают увеличение спроса на почвенно-картографическую информацию со стороны администраций регионов и возрастание значимости региональных почвенных карт. К сожалению, в настоящее время в распоряжении сотрудников административных, юридических и экономических учреждений на местах имеются либо созданные в прошлом веке карты на бумажных носителях, либо их оцифрованные аналоги, которые, хотя и обладают высоким качеством, не могут соответствовать современным хозяйственным и научным запросам. Использование современных цифровых технологий на всех этапах исследования, картирования, количественного и качественного анализа состояния почвенного покрова — основа принятия управленческих решений и проведения научных исследований.

Применение данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и ГИС-технологий (геоинформационные системы), а также цифровые методы получения и обработки информации способны ответить на современные запросы науки и практики, которые требуют точности и оперативности получения информации, что позволяет в разы снизить стоимость конечного

продукта и повысить скорость картирования территории в разных масштабах (Савин, 2016; Ali, Kotb, 2010; Boettinger et al., 2008; Elbeih, 2021; Minasny, 2016).

В большинстве случаев создание цифровых почвенных карт заключается в оцифровке существующих бумажных почвенных карт (Векшина, 2019), которые уже не могут быть эффективны при решении проблем, стоящих перед наукой и практикой (Рухович и др., 2011). Также в научных публикациях можно найти примеры автоматизированного дешифрирования классификационной принадлежности почв по ДДЗ (Конюшкова, Козлов, 2010). Чаще всего для этого используют методы неконтролируемой классификации многоканальных изображений на заданное число классов с их последующей тематической интерпретацией, т.е. каждому классу приписывают соответствующее ему название почвы в принятой классификации (Browning, Duniway, 2011; Saunders, Boettinger, 2007). При данном подходе редко проверяется точность подобного соответствия, вследствие этого качество полученных моделей не позволяет применить их для решения практических и научных задач, требующих высокого уровня достоверности почвенной карты.

В нашей работе цифровая почвенная картография основана на моделировании пространственной организации почвенного покрова, в основе которого лежит совместный анализ фактического материала о почвах (обучающая выборка) и ландшафтных характеристик, полученных из независимых источников измерения, которые обрабатываются с применением геоинформационных методов с дальнейшей верификацией полученных результатов.

Площадь Кабардино-Балкарской Республики (КБР) составляет всего 12 470 км², но при этом обладает сложной структурой почвенного покрова, включающего 29 типов горных и равнинных почв и более 1500 их разновидностей (Молчанов и др., 1990; Разумов и др., 2003). Исследуемые территории характеризуются и разнообразием ландшафтов, типов растительности, особенностями землепользования. Более 55 % площади используется под пашню и плодовые насаждения. Аграрное направление экономики республики предполагает наличие подробных сведений о почвах, структуре и свойствах почвенного покрова. Почвенная карта КБР (Молчанов и др., 1990) была составлена около 30 лет назад и нуждается в обновлении и цифровизации, что предопределило необходимость создания цифровой почвенной карты, прежде всего равнинно-предгорной части Республики, наиболее используемой в сельском хозяйстве.

Цель исследований — разработать цифровую модель, отражающую структуру почвенного покрова равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии, на основе комплексной методики, сочетающей фактический материал о почвах с данными дистанционного зондирования и ГИС-методами.

Материалы и методы

Объектом исследования становятся 11 наиболее распространённых типов и подтипов почв степной зоны, лесостепного пояса и пояса луговых степей Кабардино-Балкарии (Соколов, Темботов, 1989). На этих территориях сформировались тёмно-каштановые почвы, различные подтипы чернозёмов (южные, обыкновенные, типичные и выщелоченные), а также серые лесные почвы. К различным частям поймы рек Баксан и Малки приурочены лугово- и луговато-чернозёмные, луговые, аллювиально-дерновые и аллювиально-луговые почвы.

В основе создания цифровой почвенной карты лежит методика, разработанная группой под руководством Ю. Г. Пузаченко, которая используется для изучения и картографирования различных элементов ландшафта (Желтухин и др., 2009; Козлов, 2012; Пузаченко и др., 2006; Сандлерский, 2013). Предложенный авторами методический подход заключается в том, что данные космической съёмки, характеристики рельефа, биоклиматические показатели и полевые описания объединяются в одну пространственную базу данных, элементарной единицей которой выступает пиксель. Взяв за основу данную методику, мы впервые применили её для создания модели структуры почвенного покрова, дополнив и расширив в соответствии со стоящими перед нами задачами.

Материалы, которые использовались для формирования цифровой почвенной карты, представляют собой два информационных блока: «внешняя» информация и обучающая выборка. «Внешняя» информация — это совокупность ДДЗ: мультиспектральные снимки спутников Landsat, набор климатических данных из глобальной климатической базы WorldClim и информация, полученная на основе данных цифровой модели рельефа (SRTM — *англ.* Shuttle Radar Topography Mission).

В работе использованы многоканальные сканерные снимки, полученные со спутников Landsat. Выбор съёмочной системы Landsat связан с её информативностью, масштабом исследований, временным охватом и свободным доступом к некоторым снимкам данных спутников. Мультиспектральные сканеры спутников Landsat позволяют оценить величину отражённой солнечной радиации и охватывают большую часть её спектра (Пузаченко и др., 2010). Наряду с прямыми значениями спектральной яркости каналов Landsat использовались разнообразные индексы, отражающие соотношение между каналами съёмки и имеющие приблизительную физическую интерпретацию (Желтухин и др., 2009; Кренке, Пузаченко, 2008). Также были использованы термодинамические переменные (Сандлерский, 2013; Puzachenko et al., 2011).

Данные о климате — набор глобальных климатических показателей из глобальной базы WorldClim, которая включает минимальную, максимальную и среднюю температуру, осадки, набор из 19 производных биоклиматических характеристик (BioClim) исследуемых территорий, а также сведения о климате прошлого и будущего. В данной работе использовались 19 биоклиматических характеристик (BioClim), которые являются производными от значений среднемесячных температур и осадков. Они отражают годовые тренды (среднегодовая температура, среднегодовое количество осадков), сезонность (годовой диапазон температур и осадков), экстремальные или лимитирующие экологические факторы: температуру самого холодного и самого тёплого месяцев, количество осадков, выпадающих на протяжении наиболее сухого и наиболее влажного кварталов (Fick, Hijmans, 2017).

Характеристики рельефа получены благодаря SRTM — международной миссии по сбору данных, на основе которых формируется цифровая модель рельефа (ЦМР) территории Земли (Liping et al., 2011). На основе данных SRTM была получена цифровая трёхмерная модель рельефа исследуемой территории. Эта модель позволяет проследить общий характер изменений гидротермического режима, которые могут быть оценены через уклон (градиент) и форму поверхности (средняя кривизна или лапласиан) и освещённость. Так как перераспределение влаги происходит на нескольких иерархических уровнях организации рельефа (микро-, мезо- и макрорельеф), то морфометрические показатели оцениваются для каждого из них (Пузаченко и др., 2002).

В результате объединения всех «внешних» переменных была сформирована общая цифровая база данных, где для каждой точки-пикселя территории в избранном масштабе получено отображение её мультиспектральных, климатических и рельефных характеристик. Всего в работе использовались 167 внешних переменных. В связи с тем, что используемые данные WorldClim представлены только с пространственным разрешением 150 м на местности, остальные переменные приведены к этому масштабу. Сформированная цифровая база данных представляет собой таблицу, в которой описывается определённое количество пикселей с пространственным разрешением 150 м на местности, каждый из которых имеет свои уникальные координаты и набор «внешних» характеристик.

Второй блок данных — это обучающая выборка, созданная на основе материалов полевых почвенных исследований, которые охватили площадь 5245 км². Для создания обучающей выборки на равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии были заложены мониторинговые площадки, на которых произведены морфогенетические исследования, описаны разрезы и сделаны прикопки. Всего было заложено 370 точек, из которых 124 — полнопрофильные разрезы и 246 — почвенные прикопки глубиной от 20–40 до 80–100 см. Прикопки и разрезы закладывали для уточнения границ залегания почвенных контуров и отбора образцов (в каждом генетическом горизонте). Количество почвенных разрезов и прикопок для каждого подтипа изучаемых почв определялось пропорционально занимаемой им в районе исследования площади и составляло от 11 до 70 шт.

Район исследования (рис. 1) расположен в границах $43^{\circ}15,566'–43^{\circ}57,073'$ с. ш. и $43^{\circ}5,240'–44^{\circ}24,779'$ в. д., высота — от 161 до 762 м н.у.м. (над уровнем моря). При определении местоположения мониторинговых площадок полнопрофильных почвенных разрезов и прикопок использовали картографические материалы (Молчанов и др., 1990) и персональный навигатор GPSMAP 60 CEX. Классификационную диагностику проводили в соответствии с генетической классификацией (Классификация..., 1977). Каждая точка получила номинальное цифровое значение в зависимости от принадлежности к определённому подтипу почв. Впоследствии по этой номинальной шкале составлялась легенда к почвенной карте.



Рис. 1. Район исследования в пределах равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии

Таким образом, при создании модели рассматривали взаимное отображение параметров двух типов: полученных на основе полевых данных (обучающая выборка) и независимых источников измерения (Landsat, SRTM, WorldClim). Независимые источники дают основу для интерполяции полученных при исследованиях фактических данных на всю исследуемую территорию. Задачу интерполяции можно решать с помощью различных статистических методов, таких как мультирегрессионный факторный, дискриминантный и нейросетевой. В настоящей работе использовали пошаговый дискриминантный анализ, который показал свою эффективность при наличии большого числа внешних переменных и является наиболее доступным и информативным методом (Кренке, 2011; Попов, 2016; Пузаченко и др., 2006).

Результаты исследования

В табл. 1 представлены результаты дискриминантного анализа, который отражает количество совпадений между исходной и предсказанной принадлежностью классифицируемых объектов к классам выборки. В таблице также содержится информация о том, какие объекты были переопределены из одного класса в другой. Результаты дискриминантного анализа показали, что все классы, каждый из которых соответствует определённому подтипу почвы, хорошо распознаются, а качество распознавания составляет 74–100 %. Наилучшее качество предсказания

расположения ареалов из изученных почв показали тёмно-каштановые и тёмно-серые лесные почвы, для которых точность распознавания составила 100 %. Наиболее слабо распознаются чернозёмы типичные, которые нередко залегают в комплексах с чернозёмами выщелоченными, а также аллювиально-луговые почвы, сочетающиеся с аллювиально-дерновыми. Тем не менее и в этих случаях адекватность модели составляет более 74 %. Общее качество дискриминантной модели — 85 %, что достаточно высоко при использовании пространственных данных Landsat (Гаврилюк, Ершов, 2012).

Таблица 1. Качество дискриминантного анализа

Подтипы почв	Предсказанная принадлежность к группе												
	Чернозёмы южные	Чернозёмы обыкновенные	Чернозёмы типичные	Чернозёмы выщелоченные	Тёмно-каштановые	Луговые	Лугово-чернозёмные	Луговато-чернозёмные	Тёмно-серые лесные	Аллювиально-дерновые	Аллювиально-луговые	Корректность предсказания, %	
Чернозёмы южные	29	0			2	0	0	0	0	0	0	94	
Чернозёмы обыкновенные	1	63	1		0	3	2				1	88	
Чернозёмы типичные	0	1	40	6		5	1						74
Чернозёмы выщелоченные		0	4	37		0	3						
Тёмно-каштановые			0	0	20	0	100						
Луговые		1		0	39	3		1	87				
Лугово-чернозёмные			2			32		3		80			
Луговато-чернозёмные		2	0	1	0	18	82						
Тёмно-серые лесные		0				0		11	0		100		
Аллювиально-дерновые	1		13	12	75								
Аллювиально-луговые	0					4	22	50		41		22	11
Итого:	30	70	46			51	22	50	41	22	11	13	14

- 1** Чернозём южный
- 2** Чернозём обыкновенный
- 3** Чернозём типичный
- 4** Чернозём выщелоченный
- 5** Тёмно-каштановая
- 6** Луговая
- 7** Лугово-чернозёмная
- 8** Луговато-чернозёмная
- 9** Тёмно-серая лесная
- 10** Аллювиально-дерновая
- 11** Аллювиально-луговая

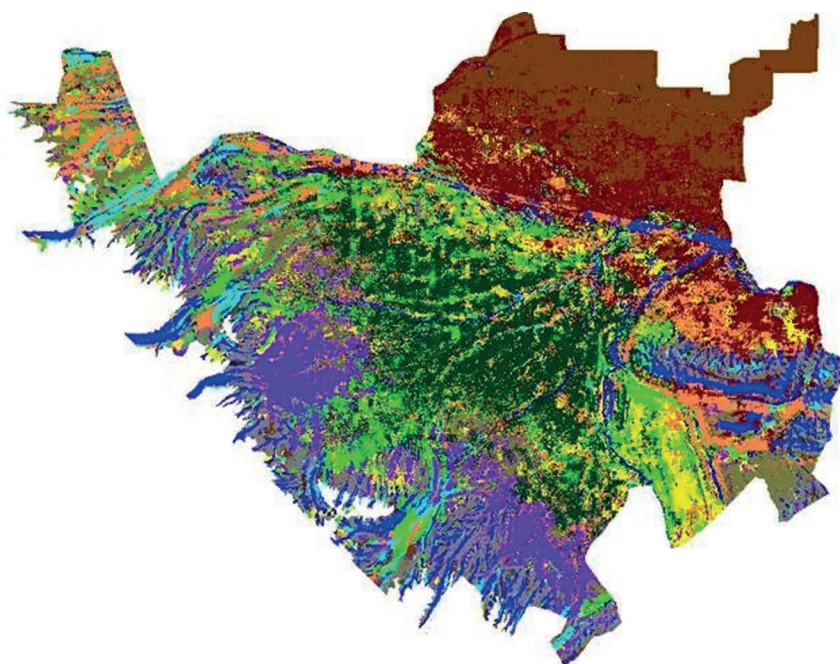


Рис. 2. Цифровая почвенная карта равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии

В результате комплексного применения традиционных, инновационных и статистических методов построена цифровая картографическая модель, отображающая пространственное распределение различных типов и подтипов почв исследуемых территорий. Картографическая модель представляет собой цифровую (растровую) карту равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии, созданную на основе дискриминантного анализа в программе Statistica и визуализированную в программе MapInfo (рис. 2, см. с. 132).

Таблица 2. Площади почв на исследуемой территории

Подтипы почв	Количество пикселей	Занимаемая площадь	
		км ²	%
Чернозёмы южные	25 202	564	11
Чернозёмы обыкновенные	27 632	618	12
Чернозёмы типичные	24 425	546	10
Чернозёмы выщелоченные	21 846	489	9
Тёмно-каштановые	27 384	613	12
Луговые	36 735	822	15
Лугово-чернозёмные	18 294	409	8
Луговато-чернозёмные	11 348	254	5
Тёмно-серые лесные	14 092	315	6
Аллювиально-дерновые	18 610	416	8
Аллювиально-луговые	8 880	199	4
Итого:	234 448	5245	100

Таблица 3. Результаты проверки созданной цифровой почвенной карты

№ п/п	Реальная почва	Предсказанная почва	Точность предсказания
1	Чернозём выщелоченный	Тёмно-серая лесная	—
2	Луговато-чернозёмная		+
3	Тёмно-серая лесная		
4	Чернозём типичный		
5	Чернозём обыкновенный		
6	Лугово-чернозёмная		
7	Аллювиально-луговая	Луговая	—
8	Луговая		+
9	Чернозём южный		
10	Луговая		
11	Луговато-чернозёмная	Лугово-чернозёмная	—
12	Луговая		+
13	Чернозём южный		
14	Аллювиально-луговая	Луговая	—
15	Чернозём обыкновенный		+
16	Тёмно-каштановая		
17	Чернозём обыкновенный		
18	Чернозём южный		
19	Лугово-чернозёмная		
20	Тёмно-каштановая		

Сравнение исходной почвенной карты (Молчанов, 1990) и построенной цифровой модели показало, что границы ареалов различных почвенных разностей на них достаточно хорошо совпадают. Модель в целом описывает контуры исходной карты, но более полно — их мозаичность. В *табл. 2* представлены предсказанные площади, занимаемые изученными подтипами почв на равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии. Из таблицы видно, что большая часть территории исследования занята луговыми, тёмно-каштановыми почвами и различными подтипами чернозёмов, которые вместе занимают около 70 % площади и составляют наиболее ценную часть земельного фонда Республики.

Важнейший и необходимый этап при создании карт заключается в верификации, позволяющей установить их истинность и адекватность с помощью сопоставления модельных результатов с соответствующими фактическими данными. Для проверки полученной цифровой модели на всей исследуемой территории было заложено 20 полнопрофильных почвенных разрезов. Результаты сравнения предсказанных подтипов почв с реальными представлены в *табл. 3*.

Верификация полученной модели показала, что в части точек имеет место несовпадение реальной классификационной принадлежности почвы и её отображения в модели. Например, в одной точке луговато-чернозёмную почву модель отражает как лугово-чернозёмную, а в двух точках аллювиальная почва была предсказана в модели как луговая. Указанные несоответствия в модели вполне объяснимы схожими условиями формирования и свойствами генетически близких подтипов гидроморфных почв. Проведённая верификация позволяет оценить достоверность полученной модели как высокую и считать её вполне адекватной и пригодной для применения в научных и практических целях.

Заключение

Результатом проведённой работы стала цифровая модель почвенного покрова равнинно-предгорной части Кабардино-Балкарии. Полученная модель обладает довольно высокой достоверностью, которая составляет 80 %. Построенная на основе современных информационных технологий новая цифровая версия традиционной почвенной карты может стать эффективным инструментом при решении хозяйственных, научных, аналитических и экологических проблем. Важным преимуществом цифровой почвенной карты представляется возможность её дальнейшего уточнения и увеличения объёма содержащейся в базе данных информации в зависимости от задач, стоящих перед пользователем.

Литература

1. Векшина В. Н. Построение цифровых моделей почвенного покрова западной части Большеземельской тундры // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. Вып. 99. С. 21–46. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-21-46.
2. Гаврилюк Е. А., Ершов Д. В. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 15–23.
3. Желтухин А. С., Пузаченко Ю. Г., Сандлерский Р. Б. Оценка качества местообитаний животных на основе учетов следовой активности и дистанционной информации // Сибирский эколог. журн. 2009. Т. 16. № 3. С. 341–351.
4. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 280 с.
5. Козлов Д. Н. Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. С. 35–57.
6. Конюшкова М. В., Козлов Д. Н. Автоматизированный анализ распространения темноцветных черноземовидных почв в северном Прикаспии по данным космической съемки (на примере Джаныбекского стационара) // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 5(45). С. 46–56.
7. Кренке А. Н. Отображение факторов формирования компонентов ландшафта на основе тематических карт, дистанционной информации и трехмерной модели рельефа: дис. ... канд. биол. наук. М.: ИГ РАН, 2011. 128 с.

8. Кренке А. Н., Пузаченко Ю. Г. Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации // Экологическое планирование и управление. 2008. Т. 2. № 7. С. 10–25.
9. Молчанов Э. Н. Почвенный покров Кабардино-Балкарской АССР: Пояснительная записка к Почвенной карте Кабардино-Балкарской АССР. М.: ГУГК СССР, 1990. 22 с.
10. Попов С. Ю. Опыт создания геоботанической карты методом дискриминантного анализа полевых и дистанционных данных // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 25–35. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-25-35.
11. Пузаченко М. Ю., Пузаченко Ю. Г., Козлов Д. Н., Федяева М. В. Картографирование мощности органического и гумусового горизонтов лесных почв и болот южно-таежного ландшафта (юго-запад Валдайской возвышенности) на основе трехмерной модели рельефа и дистанционной информации (Landsat-7) // Исслед. Земли из космоса. 2006. № 4. С. 70–79.
12. Пузаченко Ю. Г., Онуфреня И. А., Алещенко Г. М. Спектральный анализ иерархической организации рельефа // Изв. Российской акад. наук. Сер. географ. 2002. № 4. С. 29–38.
13. Пузаченко Ю. Г., Желтухин А. С., Сандлерский Р. Б. Анализ пространственно-временной динамики экологической ниши на примере популяции лесной куницы (*Martes martes*) // Журн. общей биологии. 2010. Т. 71. № 6. С. 467–487.
14. Разумов В. В., Курданов Х. А., Разумова Л. А., Крохмаль А. Г., Батырбекова Л. М. Экосистемы гор Центрального Кавказа и здоровье человека. М.: Илекса, Ставрополь: Ставропольсервисшкола, 2003. 448 с.
15. 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.
16. Савин И. Ю. Использование спутниковых данных для составления почвенных карт: современные тенденции и проблемы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 29–39. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-29-39.
17. Сандлерский Р. Б. Термодинамические характеристики южно-таежных биогеоценозов на основе дистанционной информации (юг Валдайской возвышенности, Центрально-лесной заповедник): дис. ... канд. биол. наук. М.: ИПЭЭ РАН, 2013. 269 с.
18. Соколов В. Е., Темботов А. К. Позвоночные Кавказа. Млекопитающие. Насекомоядные. М.: Наука, 1989. 547 с.
19. Ali R. R., Koth M. M. Use of Satellite Data and GIS for Soil Mapping and Capability Assessment // Nature and Science. 2010. Iss. 8. No. 8. P. 104–115.
20. Boettinger J., Ramsey R., Bodily J., Cole N., Kienast-Brown S., Nield S., Saunders A., Stum A. Landsat spectral data for digital soil mapping // Digital soil mapping with limited data / eds. A. Hartemink, A. McBratney, M. Mendonça-Santos. 2008. P. 193–202. DOI: 10.1007/978-1-4020-8592-5_16.
21. Browning D. M., Duniway M. C. Digital Soil Mapping in the Absence of Field Training Data: A Case Study Using Terrain Attributes and Semiautomated Soil Signature Derivation to Distinguish Ecological Potential // Applied and Environmental Soil Science. 2011. Art. No. 421904. 12 p. DOI: 10.1155/2011/421904.
22. Elbeih S. F. Evaluation of agricultural expansion areas in the Egyptian deserts: A review using remote sensing and GIS // Egyptian J. Remote Sensing and Space Science. 2021. V. 24. Iss. 3. No. 2. P. 889–906. DOI: 10.1016/j.ejrs.2021.10.004.
23. Fick S., Hijmans R. WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // Intern. J. Climatology. 2017. V. 37(2). DOI: 10.1002/joc.5086.
24. Liping Y., Xingmin M., Xiaoqiang Z. SRTM DEM and its application advances // Intern. J. Remote Sensing. 2011. V. 32(14). P. 3875–3896. DOI: 10.1080/01431161003786016.
25. Minasny B. Digital soil mapping: A brief history and some lessons // Geoderma. 2016. V. 264. P. 301–311. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.017.
26. Puzachenko Yu. G., Sandlersky R. B., Svirejeva-Hopkins A. Estimation of thermodynamic parameters of the biosphere, based on remote sensing // Ecological Modelling. 2011. V. 222(16). P. 2913–2923. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.05.011.
27. Saunders A. M., Boettinger J. L. Incorporating classification trees into a pedogenic understanding raster classification methodology, Green River Basin, Wyoming, USA // Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 389–399.

Application of remote information and GIS technologies to create digital soil map (by the example of the plain and foothill parts of Kabardino-Balkaria)

R. Kh. Tembotov, O. N. Gorobtsova, F. V. Gedgafova, T. S. Uligova, E. M. Khakunova

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories RAS, Nalchik 360051, Russia

E-mail: tembotov.rustam@mail.ru

The article shows the effectiveness of applying a methodology for creating digital soil maps that combines the actual material on soils (training sample) and remote sensing data processed using geostatistical methods. The technique was applied to form a model of the structure of the soil cover on the example of the plain-foothill part of Kabardino-Balkaria. Stepwise discriminant analysis was used to process combined data on the spatial dynamics of the properties of various types and subtypes of soils and further modeling. The obtained results indicate that all 11 studied soil subtypes are well recognized in the created model. The recognition quality is 74–100 %, and the overall quality of the discriminant model is 85 %, which allows us to consider the created digital soil map as quite adequate. Unlike conventional digitized versions of paper soil maps, the created information product is a cartographic model, which is a database that can be updated and supplemented, thereby increasing its reliability. Digital version of the traditional soil map, based on a combination of field data and remote information, is an effective tool for land management, development of agricultural technologies and soil protection measures.

Keywords: digital soil map, discriminant analysis, remote sensing data, digital elevation model, bioclimatic characteristics

Accepted: 28.07.2022

DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-128-137

References

1. Vekshina V. N., The development of digital models of the soil cover in the western part of Bol'shezemel'skaya tundra, *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva*, 2019, Vol. 99, pp. 21–46 (in Russian), DOI: 10.19047/0136-1694-2019-99-21-46.
2. Gavriluk E. A., Ershov D. V., Methodology of joint processing of multi-season Landsat-TM images and creation of a map of terrestrial ecosystems of the Moscow region based on them, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 4, pp. 15–23 (in Russian).
3. Zheltukhin A. S., Puzachenko Yu. G., Sandlerkii R. B., The quality of animal habitats estimated from track activity and remote sensing data, *Contemporary Problems of Ecology*, 2009, Vol. 2, No. 3, pp. 176–184.
4. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* (Classification and diagnostics of soils of the USSR), Moscow: Kolos, 1977, 280 p. (in Russian).
5. Kozlov D. N., Traditions and innovations in large-scale soil cartography, In: *Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya*, Moscow: Pochvennyi institut im. V. V. Dokuchaeva, 2012, pp. 35–57 (in Russian).
6. Konyushkova M. V., Kozlov D. N., Automated analysis of the geographic distribution of chernozem-like dark-colored soils in the Northern Caspian lowland on the basis of space-borne imagery (the case study at the Dzhanibek research station), *Aridnye ekosistemy*, 2010, Vol. 16, No. 5(45), pp. 46–56 (in Russian).
7. Krenke A. N., *Otobrazhenie faktorov formirovaniya komponentov landshafta na osnove tematicheskikh kart, distantsionnoi informatsii i trekhmernoi modeli rel'efa: Diss. kand. biol. nauk* (Mapping factors of the formation of landscape components based on thematic maps, remote information and a three-dimensional relief model, Cand. biol. sci. thesis), Moscow: IG RAN, 2011, 128 p. (in Russian).
8. Krenke A. N., Puzachenko Yu. G., Building a landscape cover map based on remote information, *Ekologicheskoe planirovanie i upravlenie*, 2008, Vol. 2, No. 7, pp. 10–25 (in Russian).
9. Molchanov E. N., *Pochvennyi pokrov Kabardino-Balkarskoi ASSR: Poyasnitel'naya zapiska k Pochvennoi karte Kabardino-Balkarskoi ASSR* (Soil cover of the Kabardino-Balkarian ASSR: Explanatory note to the Soil Map of the Kabardino-Balkarian ASSR), Moscow: GUGK SSSR, 1990, 22 p. (in Russian).
10. Popov S. Yu., Experience of creating a geobotanical map using discriminant analysis of field vegetation description and remote sensing data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 1, pp. 25–35 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-25-35.

11. Puzachenko M. Yu., Puzachenko Yu. G., Kozlov D. N., Fedyaeva M. V., The mapping of the thickness of organic matter and humus horizons of soils and bogs in the southern taiga (Valdai Hills) on the basis of digital elevation model and remote sensing data (Landsat-7), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2006, No. 4, pp. 70–79 (in Russian).
12. Puzachenko Yu. G., Onufrenya I. A., Aleshchenko G. M., Analyses of hierarchic organization of the relief, *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Ser. geograficheskaya*, 2002, No. 4, pp. 29–38 (in Russian).
13. Puzachenko Yu. G., Zheltukhin A. S., Sandler'skiy R. B., Analyzing spatial-temporal dynamics of the ecological niche: a marten (*Martes Martes*) population case study, *Zhurnal obshchei biologii*, 2010, Vol. 71, No. 6, pp. 467–487 (in Russian).
14. Razumov V. V., Kurdanov Kh. A., Razumova L. A., Krokmal A. G., Batyrbekova L. M., *Ekosistemy gor Tsentral'nogo Kavkaza i zdorov'e cheloveka* (Ecosystems of the Central Caucasus mountains and human health), Moscow: Ilekta, Stavropol: Stavropol'servishkola, 2003, 448 p. (in Russian).
15. Rukhovich D. I., Vil'chevskaya E. V., Kalinina N. V., Koroleva P. V., Wagner V. B., Problems of using digitized thematic maps on the territory of the former Soviet Union upon the creation of the "Soils of Russia" geographic information system, *Pochvovedenie*, 2011, No. 9, pp. 1043–1045 (in Russian).
16. Savin I. Yu., Usage of satellite data for soil mapping: modern tendencies and problems, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2016, Vol. 13, No. 6, pp. 29–39 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-29-39.
17. Sandler'skii R. B., *Termodinamicheskie kharakteristiki yuzhno-taevnykh biogeotsenozov na osnove distantsionnoi informatsii (yug Valdaiskoi vozvyshennosti, Tsentral'no-lesnoi zapovednik): Dis. kand. biol. nauk* (Thermodynamic characteristics of Southern Taiga biogeocenoses based on remote information (south of the Valdai Upland, Central Forest Reserve), Cand. biol. sci. thesis), Moscow: IPEE RAN, 2013, 269 p. (in Russian).
18. Sokolov V. E., Tembotov A. K., *Pozvonochnye Kavkaza. Mlekopitayushchie. Nasekomoyadnye* (Vertebrates of the Caucasus. Mammals. Insectivores), Moscow: Nauka, 1989, 547 p. (in Russian).
19. Ali R. R., Kotb M. M., Use of Satellite Data and GIS for Soil Mapping and Capability Assessment, *Nature and Science*, 2010, Issue 8, No. 8, pp. 104–115.
20. Boettinger J., Ramsey R., Bodily J., Cole N., Kienast-Brown S., Nield S., Saunders A., Stum A., *Landsat spectral data for digital soil mapping*, A. E. Hartemink, A. McBratney, M. Mendonça-Santos (eds.), 2008, pp. 193–202, DOI: 10.1007/978-1-4020-8592-5_16.
21. Browning D. M., Duniway M. C., Digital Soil Mapping in the Absence of Field Training Data: A Case Study Using Terrain Attributes and Semiautomated Soil Signature Derivation to Distinguish Ecological Potential, *Applied and Environmental Soil Science*, 2011, Art. No. 421904, 12 p., DOI: 10.1155/2011/421904.
22. Elbeih S. F., Evaluation of agricultural expansion areas in the Egyptian deserts: A review using remote sensing and GIS, *Egyptian J. Remote Sensing and Space Science*, 2021, Vol. 24, Issue 3, No. 2, pp. 889–906, DOI: 10.1016/j.ejrs.2021.10.004.
23. Fick S., Hijmans R., WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas, *Intern. J. Climatology*, 2017, Vol. 37, No. 2, DOI: 10.1002/joc.5086.
24. Liping Y., Xingmin M., Xiaoqiang Z., SRTM DEM and its application advances, *Intern. J. Remote Sensing*, 2011, Vol. 32, No. 14, pp. 3875–3896, DOI: 10.1080/01431161003786016.
25. Minasny B., Digital soil mapping: A brief history and some lessons, *Geoderma*, 2016, Vol. 264, pp. 301–311, DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.07.017.
26. Puzachenko Yu. G., Sandler'skiy R. B., Svirejeva-Hopkins A., Estimation of thermodynamic parameters of the biosphere, based on remote sensing, *Ecological Modelling*, 2011, Vol. 222, No. 16, pp. 2913–2923, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.05.011.
27. Saunders A. M., Boettinger J. L., Incorporating classification trees into a pedogenic understanding raster classification methodology, Green River Basin, Wyoming, USA, *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective*, Amsterdam: Elsevier, 2007, pp. 389–399.