

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.48

РАСПОЗНАВАНИЕ КАМЕНИСТЫХ, ПЕСЧАНЫХ И КАРБОНАТНЫХ С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВ НА ЮГЕ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ (ВОЛГОГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ) ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ

© 2023 г. И. Н. Горохова^а, *, Н. Б. Хитров^а, ** (ORCID: 0000-0001-5151-5109)

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

*e-mail: g-irina14@yandex.ru

**e-mail: khitrovnb@gmail.com

Поступила в редакцию 30.03.2023 г.

После доработки 04.05.2023 г.

Принята к публикации 01.06.2023 г.

Исследовали почвы Волго-Донской оросительной системы, в пределах опытной станции “Орошаемая”. Распознавание проводили по спектральной яркости космического изображения (Pleiades) открытой поверхности почв в 4 каналах, из которых наиболее ранжированные значения отмечены в канале B1 (0.43–0.55 мкм). Изучены три катены, вдоль которых получена полевая информация о почвах. Установлено, что наибольшую яркость (B1) создают разбросанные по поверхности камни, щебень и песок (970–1100 ед.). Далее следуют поверхностно-вскипающие почвы с сильнощебнистыми породами на глубине около 1.5 м и супесчаные почвы (710–830 ед.), вскипающие с поверхности почвы на пестрых суглинках и песках около 0.5 м (до 700 ед.), а также поверхностно-карбонатные почвы, где пестрые суглинки и пески расположены глубоко (более 70 см), или наблюдается отсутствие карбонатного материала в поверхностных горизонтах, с яркостью 560–670 ед. Использование такого подхода позволит более детально проводить распознавание почв по материалам космических съемок и разделять поверхностно-каменистые и песчаные почвы от поверхностно-карбонатных почв, отображающихся на снимках похожей пятнистой неоднородностью, но отличающихся спектральной яркостью.

Ключевые слова: космическое изображение, спектральная яркость, почвенно-геоморфологический профиль, спектральный профиль, каменистость почв, карбонатность почв, открытая поверхность почвы

DOI: 10.31857/S0032180X23600609, EDN: YILUEV

ВВЕДЕНИЕ

Волгоградская область относится к максимально освоенным территориям, где дальнейшее увеличение земель сельскохозяйственного назначения практически исчерпано. Основные массивы сельскохозяйственных угодий установились в начале 1960-х гг. после освоения целинных и залежных земель и широкого развития орошения, особенно масштабного – в сухостепной зоне.

В настоящее время по данным Минсельхоза [10] общая площадь пахотных земель в области на 01.01.2021 г. составила 5794 тыс. га, из которых около 179 тыс. га орошается.

В дореволюционной России представление о географии почв сухих степей внесли работы русских ученых Димо и Келлера, Высоцкого [5, 9], которые показали пестроту растительного и почвенного покрова, связь почв с микрорельефом. Основные закономерности природного состояния почв сухостепной зоны в целинных условиях

и на начальных этапах их активного сельскохозяйственного освоения установили советские ученые [1, 13, 14, 23] и многие другие. Результатом обобщения многолетних исследований почв специалистами различных организаций явилась книга [8]. Исследования орошаемых почв по многим направлениям в сухостепной зоне также отражены в трудах [3, 11, 18, 19, 22, 25].

К классическим методам изучения почв с 60-х годов XX в. и по настоящее время активно добавляются такие, как использование материалов дистанционного зондирования [7, 26–28, 30, 33, 35], изучение спектральных отражательных свойств почв и их компонентов [15, 20].

Материалы дистанционного зондирования являются одними из основных источников изучения орошаемых земель и орошаемых почв. Получаемые с помощью космических снимков изображения представляют собой высокоточные пространственно-временные модели. Они дают представ-

ление о структуре использования земель, способах орошения, мелиоративных мероприятиях, состоянии почвенных комплексов и динамике деградационных процессов. Однако интерпретация дистанционных материалов требует обязательного изучения особенностей района исследований на основе полевых работ и лабораторных анализов. Такие работы важны для обоснования выбранного метода обработки космической информации. Например, конкретное изображение со спутника является постоянным, в то время как используемые модели для оценки состояния почвы по этим изображениям и полученные результаты могут варьировать в зависимости от применяемых алгоритмов [36]. Важно уметь подбирать методы и модели, дающие удовлетворительный результат, подтверждаемый полевыми данными [34].

Ранее рассмотрена возможность выделения поверхностно-карбонатных почв и определения количества карбонатного материала в орошаемых почвах по пятнистости их изображения на космических снимках. Однако неоднородность орошаемых полей на снимках отражает не только наличие карбонатных пятен, но и пятен, связанных с особенностями почвообразующих и подстилающих пород [30]. Идентифицировать почвообразующие породы пытались исследователи из разных стран мира, главным образом, по материалам гиперспектральной космической съемки, которая позволила по спектральной яркости в определенных каналах выделять каолинит, иллит, монтмориллонитовую глину, крупный песок и супесь [31, 32]. Гиперспектральная космическая съемка имеет высокое спектральное, но низкое пространственное разрешение (30 м) и не подходит для изучения почвообразующих и подстилающих пород в пределах поля или нескольких отдельных полей.

Цель исследований – распознавание почвообразующих и подстилающих пород по внутриполевой неоднородности космического изображения в комплексе с полевыми исследованиями на примере орошаемых земель юга Приволжской возвышенности в Волгоградской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом изучения стала Волго-Донская оросительная система, расположенная в Волгоградской области, в сухостепной зоне на юге Приволжской возвышенности, протянувшись вдоль Волго-Донского канала. Исследования проводили в границах ФГБУ Опытная станция “Орошаемая”, занимающей центральную часть Волго-Донской оросительной системы (рис. 1).

Приволжская возвышенность, на которой находится опытная станция, представляет собой плато (130–170 м), расчлененное многочисленны-

ми речными долинами, оврагами и балками. Водоразделы здесь имеют слабовыпуклую форму и постепенно переходят в склоны долин. Формирование рельефа Приволжской возвышенности происходило под воздействием интенсивного проявления новейших тектонических поднятий и эрозионных процессов.

Основными почвообразующими породами юга Приволжской возвышенности являются палеогеновые (эоцен и палеоцен) кварцевые пески, неогеновые (ергенинская свита) пески, скифские красно-бурые глины и четвертичные лёссовидные суглинки.

Наиболее древними являются палеогеновые отложения, которые перекрывали всю территорию возвышенности, однако в результате неоген-четвертичного размыва были почти полностью уничтожены или погребены под континентальными рыхлыми ергенинскими отложениями. Несмотря на это, породы палеогенового возраста сохранились и являются почвообразующими на значительной части территории. Палеогеновые осадки представлены главным образом переслаиванием белых и серо-зеленых кварцево-глауконитовых песков различной зернистости с песчаниками и опоками. Ергенинская свита, которая сформировалась во второй половине неогена в аллювиальных и дельтовых условиях, представлена разномзернистыми кварцевыми белыми песками мощностью до 30–40 м. Они выходят на поверхность Волго-Донского водораздела (рис. 2) и вновь скрываются под более молодые скифские глины в северной части Ергенинской возвышенности [4, 8].

Юг Приволжской возвышенности входит в подзону каштановых почв. Почвенный покров представлен почвенными комбинациями, включающими светло-каштановые несолонцеватые почвы на водораздельных пространствах, светло-каштановые солонцовые комплексы с разным долевым участием солонцов в автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных условиях, сочетания и пятнистости лугово-каштановых, луговых почв разной степени засоления и солонцеватости, аллювиальные почвы в долинах рек [8, 12].

Орошение на опытной станции производится из Береславского и Варваровского водохранилищ, которые входят в систему Волго-Донского судоходного канала им. В.И. Ленина.

Полевые обследования западной части ключевого участка “Орошаемый” Волго-Донской оросительной системы проводили сентябре–августе 2022 г. Было заложено 3 почвенно-топографических профиля с описанием почв и почвообразующих пород.

При полевом обследовании использовали руководство по морфологическому описанию почв [2, 24], название почв давали по трем классифи-

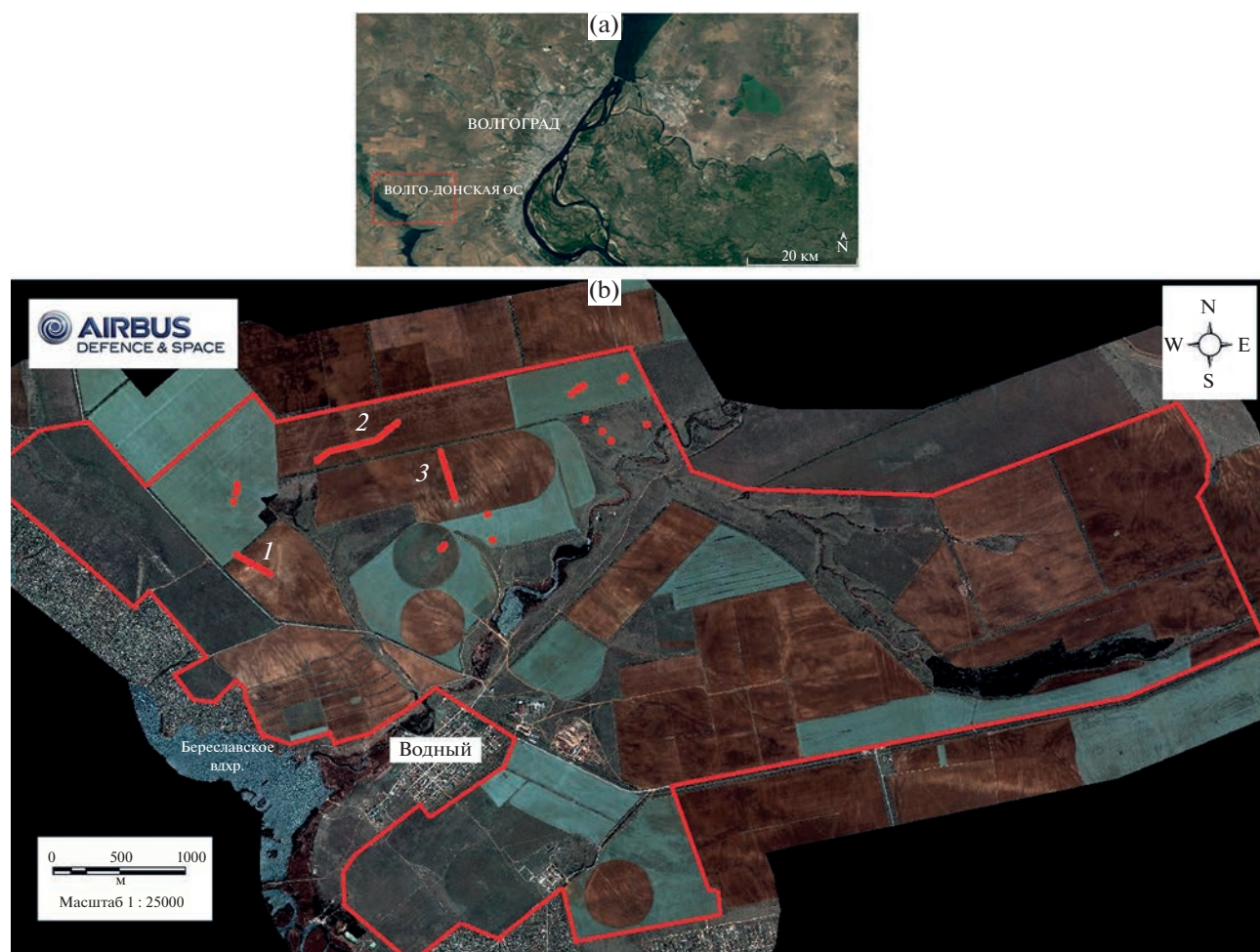


Рис. 1. Расположение Волго-Донской оросительной системы (а), отображенное на космическом снимке с портала Google Earth (Pleiades, 25.05.2021) и территория ФГБУ опытная станция “Орошаемая” (б), топографические профили (1, 2, 3) и точки почвенного опробования (2022 г.) на космическом снимке со спутника Pleiades (25.04.2020).

кациям: СССР [17] (далее К-1977), России [16, 21] (далее РК-2004(8)) и международной WRB [37] (далее WRB-2015).

Для каждой точки полевого опробования на космическом снимке Pleiades (25.04.2020) с разрешением 0.5–0.7 м в камеральных условиях определяли спектральную яркость с помощью скользящего окна диаметром 15 м (точность привязки на местности GPS-приемника) в 4 каналах: синем, В1 (0.43–0.55 мкм), зеленом, В2 (0.49–0.61 мкм), красном, В3 (0.60–0.72 мкм), ближнем инфракрасном, В4 (0.79–0.95 мкм). Результаты статистической обработки спектральных яркостей (порядка 700 пикселей на точку) представлены в таблицах. Обработку снимка проводили только для почв с открытой поверхностью. Также при работе с космической информацией использовали метод создания спектральных профилей в трех каналах (В1, В2, В3) в программе ENVI 5.1, построенных параллельно графическим почвен-

но-топографическим профилям, наглядно отражающих объект исследования.

После анализа всего полученного материала были выявлены визуальные и спектральные различия отображения на космическом снимке почв с открытой поверхностью и разными почвообразующими и подстилающими породами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим изображения почвенно-топографических профилей (катен), построенных по наземным данным и значениям спектральной яркости, взятым с космического снимка. Для характеристики профилей будем использовать средние значения спектральной яркости канала В1, как наиболее контрастного для дифференциации.

Катена 1 расположена на поле, которое с 1985 г. находится в богарном использовании. Распространены почвы светло-каштановые пахотные,

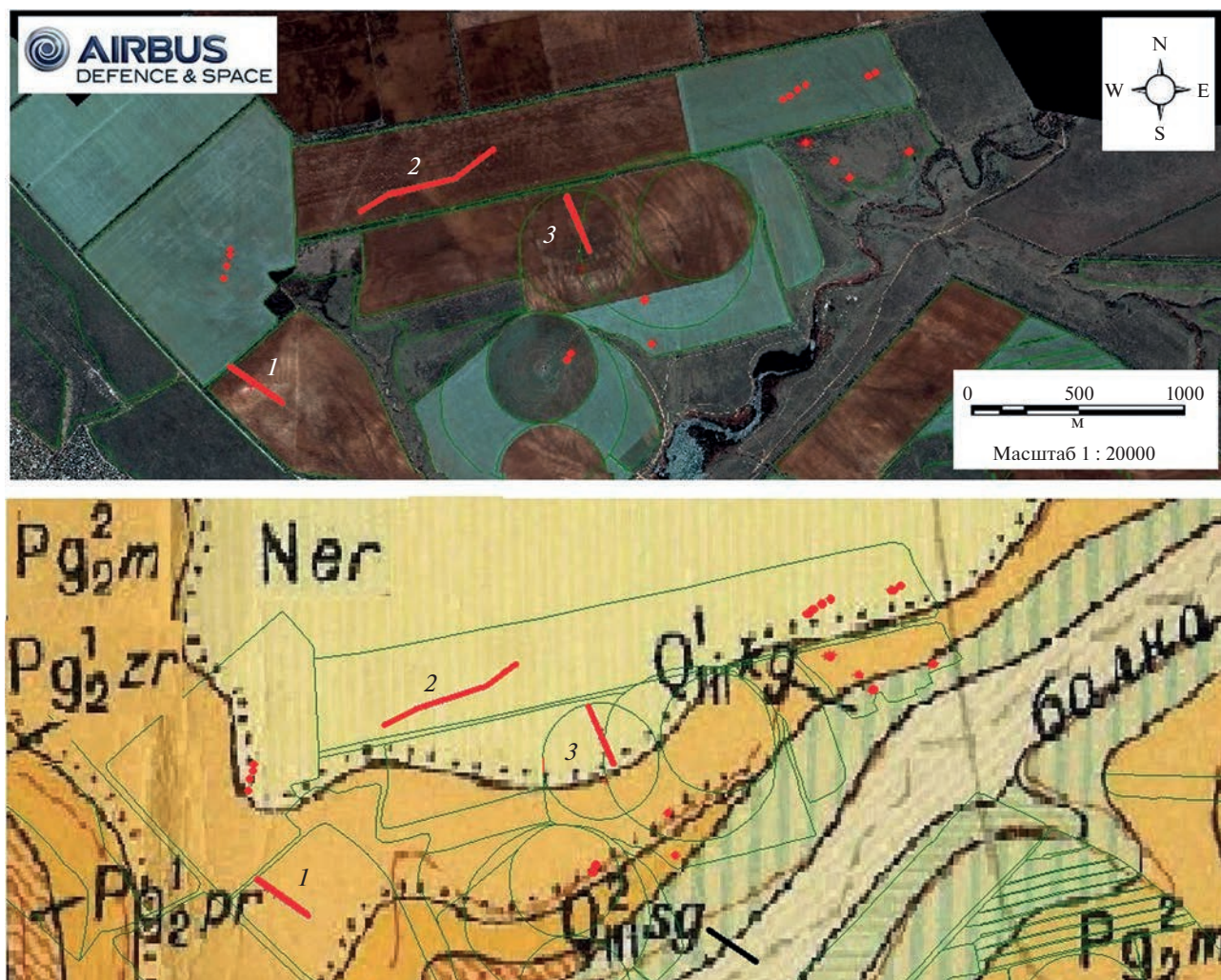


Рис. 2. Ключевой участок полевых исследований (2022 г.) на космическом снимке (Pleiades 25.04.2020) и увеличенный фрагмент Геологической карты СССР (1 : 200000) на его территорию. Четвертичная система. Верхнечетвертичные отложения: Q_{III}^{sg} — пески, суглинки, 1-я надпойменная (сухосельская) терраса бассейна р. Дон; Q_{III}^{sg} — пески, суглинки, 2-я надпойменная (карангатская) терраса бассейна р. Дон. Неогеновая система. Плиоцен: Neg — ергенинская свита без разделения, пески. Палеогеновая система. Эоцен: Pg_2^m — средний эоцен, мечеткинская свита, пески, алевроиты с прослоями песчаников и глин; Pg_2^{zg} — нижний эоцен, царичинская свита, пески, песчаники, алевроиты с прослоями песчаников и глин; Pg_2^{pr} — нижний эоцен, пралейская свита, пески, песчаники, алевроиты. Почвенно-топографические профили (1, 2, 3), точки полевого опробования (*) и современные границы сельскохозяйственных полей (— — —).

легкосуглинистые и супесчаные по К-1977; или разные агрозоны по РК-2004(8), или Kastanozems, Arenosols, Cambisols по WRB-2015 (табл. 1). Почвы развиты на разных почвообразующих породах: палево-бурых каменистых суглинках, переслаивающиеся с пестрыми суглинками и песками; каменистых песках и супесях разного цвета (белых, зеленых, красных), двучленных отложениях. Все почвы профиля не вскипают с поверхности и, следовательно, не содержат карбонатный материал в верхних слоях пахотного горизонта.

На космическом снимке почвы профиля с открытой поверхностью имеют неоднородный тон с ажурным светлым рисунком и отдельными яр-

кими светлыми пятнами, что связано с разбросанными по поверхности камнями и выходом песка на поверхность.

Средние значения спектральной яркости возрастают во всех каналах у супесчаных почв (C-452, C-454, C-455, C-456) (700–830 ед.), достигая максимума в точке C-453 (970 ед.), где отмечается выход песка на поверхность. Самую низкую спектральную яркость в катене имеют почвы, где каменистые суглинки подстилаются песками глубже 100 см (C-450, C-451, C-457) (600–775 ед.) (рис. 3).

Катена 2 заложена на поле, которое также длительное время находится в богарном исполь-

Таблица 1. Почвы профиля 1 и его спектральные статистические параметры в 4 каналах

№ точки	Почва: PK-2004(8); WRB-2015; формула профиля	Статистические параметры спектральной яркости	Спектральная яркость			
			B1	B2	B3	B4
C-450	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный глинисто-иллювиированный гипсодержащий высококовски-пающий легкосуглинистый на каменистых палево-бурых суглинках, подстилаемых с 85 см зелеными суглинками с гипсом и с 120 см белым песком; Haplic Kastanozem (Aric, Pantoloamic, Bathyarenic, Raptic); P1–P2i–Bca,i–BCAnc,i–2BCAnc,i–2BCA3nc,i,cs–3BDcs,(ca)–Dsand,(ca)–Dsand	Максимальная	675	819	1005	1451
		Минимальная	573	705	861	1185
		Средняя	619	750	915	1283
		Стандартное отклонение	15	21	28	47
C-451	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный глинисто-иллювиированный гипсодержащий высококовски-пающий легкосуглинистый на каменистых палево-бурых суглинках, подстилаемых с 60 см зелеными суглинками с гипсом и с 115 см желтоватым песком; Haplic Kastanozem (Aric, Pantoloamic, Bathyarenic, Raptic); P1–P2–P3pb,(ca)–Bca,i–BCAnc,i–2BDcs,(ca)–Dsand	Максимальная	652	811	1016	1476
		Минимальная	568	715	889	1233
		Средняя	604	757	947	1331
		Стандартное отклонение	14	17	21	41
C-452	Агрозем ожелезненный глинисто-иллювиированный супесчано-песчаный на каменистых супесях, подстилаемых с 50 см желтым, а с 77 см красным песком; Rhodic Brunic Arenosol (Aric, Ochric, Raptic); P1–P2ad–P3pb,ad–Bf,i–2BDsand–3D2sand–3D3ff,sand	Максимальная	771	978	1249	1905
		Минимальная	658	828	1074	1610
		Средняя	708	890	1163	1725
		Стандартное отклонение	20	25	35	54
C-453	Агрозем псевдофибровый песчаный на каменистых разноцветных песках, подстилаемых на 117 см тонкой прослойкой суглинка; Lamellic Arenosol (Aric, Ochric); P1–P2ff–BC1–BC2–2Dsand–3D суглинок	Максимальная	1108	1421	1819	2568
		Минимальная	775	966	1219	1747
		Средняя	969	1234	1587	2224
		Стандартное отклонение	97	129	157	240
C-454	Агрозем ожелезненный глинисто-иллювиированный супесчано-песчаный на каменистых супесях, подстилаемых с 50 см желтым, а с 77 см красным песком; Rhodic Brunic Arenosol (Aric, Ochric, Raptic); P1–P2–P3pb–Bf,i–BC(f)sand–2Dsand	Максимальная	834	1054	1399	2044
		Минимальная	700	902	1204	1704
		Средняя	765	984	1316	1879
		Стандартное отклонение	26	31	37	69

Таблица 1. Окончание

№ точки	Почва: РК-2004(8); WRB-2015; формула профиля	Статистические параметры спектральной яркости	Спектральная яркость			
			B1	B2	B3	B4
С-455	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный литохромный высококовскипающий супесчано-легкосуглинистый на двучленных отложениях (каменистых супесях на зеленоватых суглинках); Eutric Cambisol (Epiarenic, Katoloamic, Aric, Protocalcic, Ochric, Raptic); P1–P2–P3pb–2BCAnc–2BCsa–3D(ca), loam	Максимальная	904	1147	1424	2377
		Минимальная	746	964	1274	1872
		Средняя	832	1077	1349	2173
		Стандартное отклонение	26	28	28	100
С-456	Агрозем гумусово-стратифицированный литохромный глубоковскипающий супесчано-легкосуглинистый на двучленных отложениях (каменистых супесях на зеленоватых суглинках с охристыми новообразованиями); Eutric Cambisol (Aric, Loamic, Novic, Ochric, Raptic); P1rh–P2rh–2Ppa–2Bглауконитовый–2Bca–2BCsa–2Csa	Максимальная	877	1139	1415	2173
		Минимальная	771	1000	1245	1655
		Средняя	824	1068	1325	1929
		Стандартное отклонение	23	28	33	128
С-457	Агрозем аккумулятивно-карбонатный мицелярный высококовскипающий гипсодержащий легкосуглинистый на бурых суглинках; Haplic Kastanozem (Aric, Loamic); P1–P2–P3ca–BCAmc–BCsa–BCsa,cs	Максимальная	868	1101	1378	1896
		Минимальная	708	885	1123	1438
		Средняя	775	987	1246	1672
		Стандартное отклонение	29	43	55	92

зовании (с 1985 г.). Почвы светло-каштановые пахотные легко- и среднесуглинистые и светло-каштановые пахотные солонцеватые легко- и среднесуглинистые, а также солонцы каштановые пахотные среднесуглинистые (табл. 2). Почвы залегают на палево-бурых суглинках, подстилаемых с глубины 52 см и глубже зелеными глауконитовыми песками и зелеными суглинками. Одна часть почв профиля не вскипает с поверхности и, следовательно, не содержат карбонаты в верхних слоях пахотного горизонта, другая часть — вскипает.

На космическом снимке в середине и начале катены отмечаются светлые полосы (точка С-437-2, С-433, С-430, С-429, С-426), что связано с наличием карбонатов в верхних горизонтах почв и здесь средние значения спектральной яркости возрастают (600–670 ед.). Почвы, подстилаемые с 50–52 см пестрыми песками и суглинками и не вскипающие с поверхности (С-436, С-432, С-431), также отличаются некоторым повышением яркости, но в меньшем диапазоне (630–650 ед.). Остальные почвы, не вскипающие с поверхности и подстилаемые пестрыми суглинками и песками с 70 см и глубже (С-437, С-435, С-434, С-428, С-427),

имеют самый низкий диапазон яркостей в катене (550–620 ед.) (рис. 4).

Катена 3 заложена на длительно орошаемом поле (с 1985), где орошение было приостановлено только в 2019 г.

Почвы светло-каштановые пахотные карбонатные и светло-каштановые пахотные карбонатные солонцеватые среднесуглинистые на двучленных отложениях: палево-бурых суглинков с камнями, подстилаемые с 30–50 см и глубже пестрыми и зелеными песками и суглинками, местами с гипсом, ржавыми пятнами и камнями. Все почвы вскипают с поверхности, поэтому содержат карбонаты в верхнем горизонте почв. Между разрезами ФР-425 и ФР-438 и южнее последней точки катены (ФР-438) наблюдаются полосы с очень высоким содержанием камней на дневной поверхности.

Почвы на снимке (ФР-420), у которых пестрые пески отмечаются с глубины 70 см и глубже, имеют достаточно однородный и темный тон со средней спектральной яркостью 670 ед. Далее он изменяется на более светлый, с добавлением красноватого оттенка (ФР-421, ФР-422) (750–800 ед.). Почвы с пестрыми суглинками, камнями и гип-

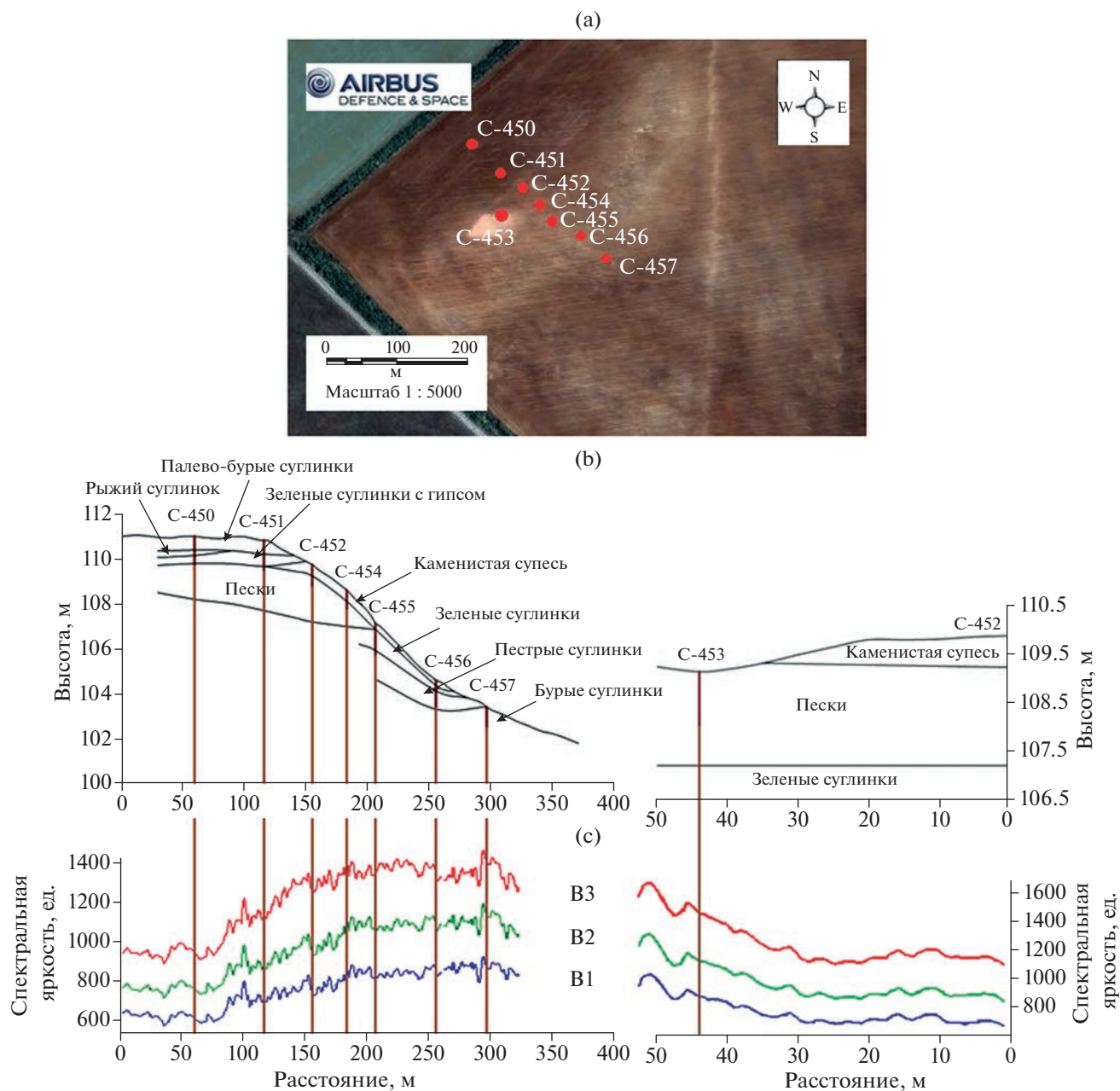


Рис. 3. Почвенно-топографический профиль 1: а – космическое изображение почвенно-топографического профиля (Pleiades 25.04.2020); б – схематическое изображение почвообразующих пород профиля; в – спектральное изображение профиля в трех каналах (B1, B2, B3).

сом на глубине около 50 см, становятся еще светлее (ФР-423, ФР-424, ФР-425, ФР-438) (800–820 ед.) и достигают самого яркого и светлого тона в той части поля, где камни оказываются на поверхности (1100 ед.) (рис. 5, табл. 3).

Если проанализировать и округлить (до 10 ед.) среднюю спектральную яркость, взятую со снимка всех представленных точек, то можно составить таблицу ранжирования яркостей почв с открытой поверхностью и их изменения, в зависи-

мости от почвообразующих и подстилающих пород (табл. 4). Видно, что ранжирование яркостей наблюдается во всех 4 каналах. Наибольшую яркость (B1) создают разбросанные по поверхности камни, щебень и песок (970–1100 ед.), затем следуют поверхностно-вскипающие почвы с сильнощебнистыми породами на глубине около 0.5 м (810–820 ед.) и супесчаные почвы (710–830 ед.). Вскипающие с поверхности почвы на пестрых суглинках и песках около 0.5 м также

Таблица 2. Почвы профиля 2 и его спектральные статистические параметры в 4 каналах

№ точки	Почва: PK-2004(8); WRB-2015; формула профиля	Статистические параметры спектральной яркости	Спектральная яркость, ед.			
			B1	B2	B3	B4
C-437-2	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный поверхностно-вскипающий легкосуглинистый на палево-бурых суглинках, подстилаемых с 120 см тонкозернистым песком; Haplic Kastanozem (Aric, Loamic, Raptic); P1ca–P2ca–Bca–BCAnc–BCca–2D(ca),sand	Максимальная	738	917	1153	1573
		Минимальная	627	775	960	1307
		Средняя	671	833	1040	1411
		Стандартное отклонение	18	22	32	43
C-437	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный высоковскипающий легкосуглинистый на палево-бурых суглинках, подстилаемых с 70 см тонкозернистым зеленым карбонатным песком; Haplic Kastanozem (Aric, Loamic, Raptic); P1–P2–P3(ca),pb–Bca–BCAnc–2Dca,sand–2Dca,ox,sand	Максимальная	705	885	1057	1541
		Минимальная	562	676	837	1115
		Средняя	615	751	917	1274
		Стандартное отклонение	20	31	32	62
C-436	Агрокаштановая солонцеватая квазиглееватая сегрегационная высоковскипающая легкосуглинистая на палево-бурых суглинках, подстилаемых с 52 см слоистыми отложениями (с 52 см тонкозернистый зеленый карбонатный песок – с 70 см палево-зеленый легкий суглинок – с 85 см зеленый бескарбонатный песок); Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Bathyarenic); P1–P2–P3–BMKsn–BCAnc–2BDca,nc,sand–3BCAnc–4Dca,sand–5Dsand	Максимальная	698	846	1016	1467
		Минимальная	573	700	854	1161
		Средняя	627	762	935	1309
		Стандартное отклонение	23	28	31	61
C-435	Агросолонец светлый сегрегационный срединно-вскипающий средне-тяжелосреднесуглинистый на палево-бурых суглинках, подстилаемых с 80 см зеленым песком с линзами суглинка; Haplic Solonetz (Aric, Loamic, Cutanic, Raptic); P1–P2–P3–SN–Bsn–BCAnc–2BDca,nc,sand–3Dca,sand	Максимальная	708	855	1006	1446
		Минимальная	543	661	804	1059
		Средняя	616	741	888	1220
		Стандартное отклонение	29	36	39	71
C-434	Агросолонец светлый сегрегационный срединно-вскипающий средне-тяжелосреднесуглинистый на палево-бурых суглинках, подстилаемых с 70 см зеленым суглинком и с 86 см зеленым песком с линзами суглинка; Haplic Solonetz (Aric, Loamic, Cutanic, Raptic); P1–P2–P3–SN–BCAnc,sn–BCAnc–2Dloam + sand–3D2sand	Максимальная	690	850	1021	1442
		Минимальная	567	697	840	1099
		Средняя	615	754	908	1242
		Стандартное отклонение	24	30	35	69

Таблица 2. Продолжение

№ точки	Почва: PK-2004(8); WRB-2015; формула профиля	Статистические параметры спектральной яркости	Спектральная яркость, ед.			
			B1	B2	B3	B4
С-433	Агрозем аккумулятивно-карбонатный диффузный солонцеватый поверхностно-вскипающий гипсодержащий среднесуглинистый на палево-бурых суглинках, подстилаемых с 55 см пестроцветными суглинками с гипсом с 120 см зеленым песком с линзами суглинка, с 150 см оливковой глины с прослоями суглинка; Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Bathygypsic); P1ca–P2ca–P3ca,pb–BCAnc,sn–2BDca,cs–3D2sand–4D3clay	Максимальная	723	937	1167	1642
		Минимальная	600	791	1011	1352
		Средняя	669	871	1103	1501
		Стандартное отклонение	17	21	24	46
С-432	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солонцеватый высоко-вскипающий квазиглееватый глубоко-гипсодержащий литохромный среднесуглинистый на двучленных суглинистых отложениях (рыжие песчанистые суглинки, подстилаемые с 50 см пестроцветными суглинками, с 84 см зелеными суглинками с оранжево-ржавыми пятнами, с 115 см зелеными суглинками с ржавыми пятнами и гипсом); Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Raptic) P1–P2–Bsn–Bca,sn–BCAnc,sn–2Dca–2Dca,q–2Dca,q,cs–3D2q–4D3ca,q–4Dca,q,cs	Максимальная	691	919	1179	1644
		Минимальная	585	732	981	1330
		Средняя	646	826	1074	1496
		Стандартное отклонение	17	30	39	54
С-431	Агрозем солонцеватый литохромный красноцветный высоко-вскипающий глубоко-гипсодержащий среднесуглинистый на двучленных суглинистых отложениях разного цвета (красные песчанистые суглинки, подстилаемые с 50 см зелеными суглинками с оранжево-ржавыми пятнами, с 100 см зелеными суглинками с ржавыми пятнами и гипсом); Eutric Cambisol (Aric, Loamic, Ochric, Raptic); P1–P2–P3–P4pb,(ca)–Bca,sn,ro–2Dca,nc–2Dca,cs	Максимальная	681	834	1053	1523
		Минимальная	582	728	914	1262
		Средняя	629	780	988	1398
		Стандартное отклонение	16	19	24	41
С-430	Агрокаштановая солонцеватая сегрегационная поверхностно-вскипающая среднесуглинистая на двучленных суглинистых отложениях разного цвета (палево-бурые суглинки, подстилаемые с 83 см красными песчанистыми суглинками с камнями); Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Raptic); P1ca–P2–P3–BMKsn–Bca,sn–BCAnc,sn–2BDca,nc,ro	Максимальная	673	832	1029	1481
		Минимальная	585	735	906	1227
		Средняя	631	788	979	1377
		Стандартное отклонение	19	19	24	46

Таблица 2. Окончание

№ точки	Почва: PK-2004(8); WRB-2015; формула профиля	Статистические параметры спектральной яркости	Спектральная яркость, ед.			
			B1	B2	B3	B4
С-429	Агрокаштановая солонцеватая сегрегационная поверхностно-вскипающая среднесуглинистая на палево-бурых суглинках, подстилаемые с 100 см суглинками с камнями; Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Raptic); P1ca–P2ca–BMKca,sn–Bca,sn–BCAnc–BCca–2Dca,loam	Максимальная	719	894	1114	1566
		Минимальная	591	731	930	1235
		Средняя	638	797	1008	1359
		Стандартное отклонение	18	21	26	47
С-428	Агрокаштановая солонцеватая сегрегационная высоковскипающая среднесуглинистая на палево-бурых суглинках, подстилаемые с 112 см суглинками с камнями; Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Bathyarenic); P1–P2–BMKsn–Bca,sn–BCAnc–BCca–2Dca,loam	Максимальная	591	704	845	1157
		Минимальная	538	639	768	1022
		Средняя	562	664	794	1073
		Стандартное отклонение	8	11	12	20
С-427	Агрокаштановая солонцеватая сегрегационная высоковскипающая среднесуглинистая на палево-бурых суглинках, подстилаемые с 120 см песком с карбонатами; Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Bathyarenic); P1–P2–BMKsn–Bca,sn–BCAnc,sn–BCca–2Dca,sand	Максимальная	628	752	891	1241
		Минимальная	536	634	747	990
		Средняя	561	663	787	1059
		Стандартное отклонение	14	18	26	41
С-426	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солонцеватый поверхностно-вскипающий среднесуглинистый на палево-бурых суглинках, подстилаемые с 117 см песком с камнями; Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Raptic); P1ca–P2ca–P3ca,pb–Bca,sn–BCAnc–BCca–2Dca,sand	Максимальная	641	781	944	1307
		Минимальная	547	670	811	1060
		Средняя	598	725	881	1198
		Стандартное отклонение	14	16	20	37

имеют достаточно высокую спектральную яркость (670–800 ед.). Но чем глубже в почвах расположены пестрые суглинки и пески, а также если наблюдается отсутствие карбонатного материала в поверхностных горизонтах, тем ниже становится яркость почв на снимке (от 560 до 670 ед.).

Использование такой таблицы позволит более детально подходить к распознаванию почв по материалам космических съемок и разделять поверхностно-каменистые и песчаные почвы от поверхностно-карбонатных почв, отображающихся на снимках пятнистой неоднородностью, но отличающихся спектральной яркостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Внутриполевая неоднородность сельскохозяйственных полей и ее отображение на космиче-

ской информации в виде светлых пятен и полос может быть связана как с выходом на поверхность и близким залеганием к поверхности (около 0.5 м) каменистых, щебнистых и песчаных почвообразующих и подстилающих пород, так и наличием карбонатного материала в верхних горизонтах почв. Использование космической информации позволяет провести разделение таких почв.

2. Для подробной оценки внутриполевой неоднородности необходимо использовать космическую многозональную съемку сверхвысокого разрешения (до 1 м) и анализировать изображение открытой поверхности почв для разных полей на одном снимке, полученном в одно время и при одних погодных условиях. Предварительно, космический снимок должен пройти радиометрическую калибровку и атмосферную коррекцию

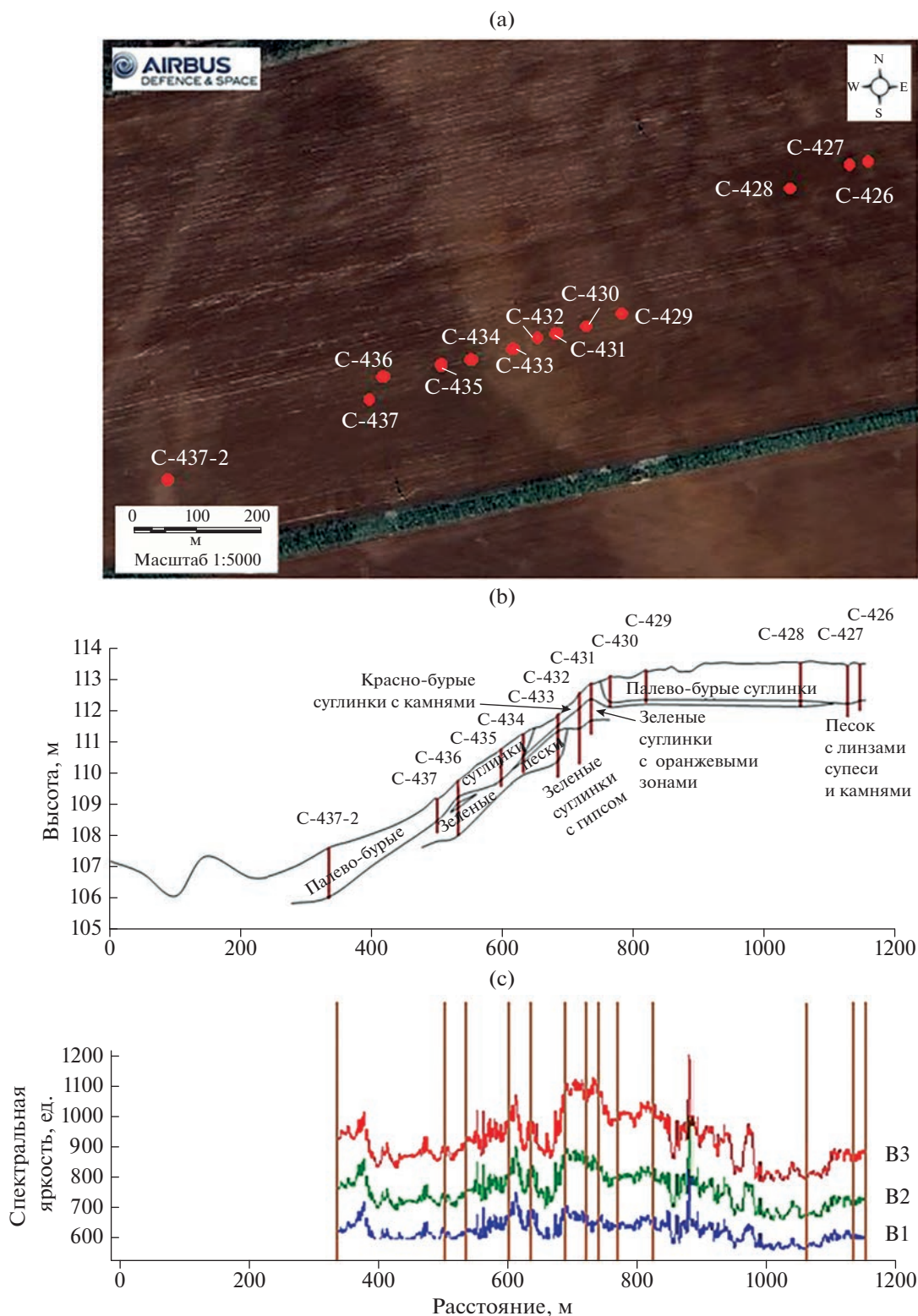


Рис. 4. Почвенно-топографический профиль 2: а – космическое изображение почвенно-топографического профиля (Pleiades 25.04.2020); б – схематическое изображение почвообразующих пород профиля; с – спектральное изображение профиля в трех каналах (B1, B2, B3).

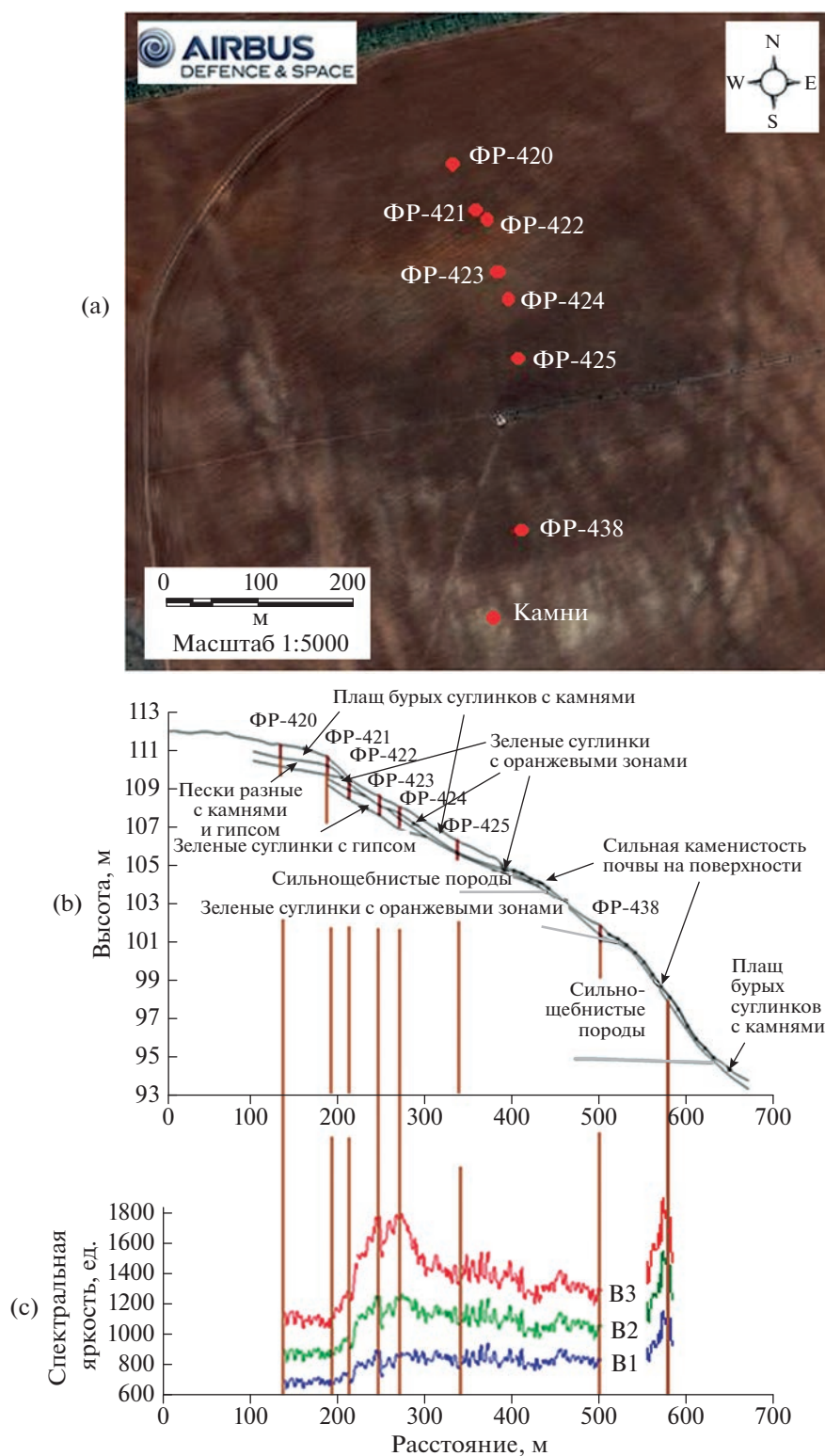


Рис. 5. Почвенно-топографический профиль 3: а — космическое изображение почвенно-топографического профиля (Pleiades 25.04.2020); б — схематическое изображение почвообразующих пород профиля; с — спектральное изображение профиля в трех каналах (B1, B2, B3).

Таблица 3. Почвы профиля 3 и его спектральные статистические параметры в 4 каналах

№ точки	Почва: РК-2004(8); WRB-2015; формула профиля	Статистические параметры спектральной яркости	Спектральная яркость, ед.			
			B1	B2	B3	B4
ФР-420	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный поверхностно-вскипающий агропереуплотненный гипсодержащий среднесуглинистый на палево-бурых суглинках с камнями, подстилаемыми с 70 см пестроцветным песком с камнями и гипсом; Haplic Kastanozem (Aric, Loamic, Raptic); P1ca–P2ca,ad–P3ca,pb–Bca–BCAnc–2BCAnc,i–3Dca,dc,cs,sand	Максимальная	746	946	1208	1792
		Минимальная	604	775	987	1413
		Средняя	671	859	1097	1601
		Стандартное отклонение	25	32	42	72
ФР-421	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационно-натечный поверхностно-вскипающий агропереуплотненный гипсодержащий среднесуглинистый средне-каменистый на палево-бурых каменистых суглинках с камнями, подстилаемыми с 50 см пестроцветным песком с камнями и гипсом; Haplic Kastanozem (Aric, Loamic, Raptic); P1ca–P2ca,ad–P3ca,pb–BCAnc,ic,sk–2Dca,cs,sand	Максимальная	854	1209	1666	2400
		Минимальная	667	890	1201	1709
		Средняя	753	1036	1405	2013
		Стандартное отклонение	35	64	97	138
ФР-422	Агрозем аккумулятивно-карбонатный мицеллярно-диффузный поверхностно-вскипающий солонцеватый агропереуплотненный литохромный среднесуглинистый поверхностно-каменистый на палево-бурых каменистых суглинках, подстилаемыми с 28 см пестроцветными суглинками; Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Raptic); P1ca–P2ca,ad–P3ca,pb–2BCAmc,dc,sn–2Dca,sn,loam–3D3ca,sn–4D4ca,sn	Максимальная	898	1262	1780	2558
		Минимальная	691	1005	1447	1989
		Средняя	799	1147	1621	2308
		Стандартное отклонение	37	49	75	123
ФР-423	Агрозем аккумулятивно-карбонатный сегрегационный солонцеватый поверхностно-вскипающий агропереуплотненный литохромный среднесуглинистый профильно-каменистый на двучленных каменистых отложениях: палево-бурых суглинках, подстилаемыми с 54 см зелеными суглинками; Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Raptic) P1ca–P2ca,ad–P3ca,ad,pb–BCAnc,sn–2BDca,sn,cs,loam–2Dca,cs	Максимальная	907	1229	1532	2208
		Минимальная	733	975	1219	1663
		Средняя	804	1076	1359	1898
		Стандартное отклонение	33	46	55	99

Таблица 3. Окончание

№ точки	Почва: РК-2004(8); WRB-2015; формула профиля	Статистические параметры спектральной яркости	Спектральная яркость, ед.			
			B1	B2	B3	B4
ФР-424	Агрозем аккумулятивно-карбонатный мицеллярный солонцеватый поверхностно-вскипающий агропереуплотненный литохромный (зеленый) среднесуглинистый поверхностно-каменистый на зеленых суглинках с камнями, подстилаемых с 105 см зеленой глиной с ржавыми пятнами и линзами песка, и с 155 см сцементированным песком; Luvic Kastanozem (Aric, Loamic, Protosodic, Raptic); P1ca -P2ca,ad-Bca,sn-BCAmc,sn-BC(ca),cs-2BDcs,loam-2Dcs,clay+sand-3D2sand	Максимальная Минимальная Средняя Стандартное отклонение	898 734 808 29	1195 972 1070 39	1480 1231 1346 46	2135 1672 1880 86
ФР-425	Агросолонец светлый агрогенноуплотненный сегрегационный срединно-вскипающий среднесуглинистый на двучленных суглинистых отложениях (бурые суглинки на зеленых суглинках с 54 см), подстилаемых сильнокаменистыми плитчатыми отложениями 74 см; Haplic Solonetz (Aric, Loamic, Cutanic, Ochric, Endoskeletal, Raptic); P1-P2ad-SN-BCA1nc,sn-2BCA2nc,sn-3Dsk,ic	Максимальная Минимальная Средняя Стандартное отклонение	910 716 821 39	1164 895 1049 54	1426 1112 1292 66	2089 1507 1834 119
ФР-438	Агросолонец светлый агрогенноуплотненный сегрегационный высоковскипающий среднесуглинистый на двучленных суглинистых отложениях (бурые суглинки на зеленых суглинках с 53 см), подстилаемых сильнокаменистыми отложениями 77 см; Haplic Solonetz (Aric, Loamic, Cutanic, Ochric, Endoskeletal, Raptic); P1-P2ad-P3sn-SN-BCAnc,sn-2BCAnc,sn-3Dca,sk,ic	Максимальная Минимальная Средняя Стандартное отклонение	985 687 817 47	1246 855 1035 60	1533 1071 1269 73	2337 1479 1857 138
Камни	Преимущественно карбонатный щебень, 60–80% покрытия поверхности	Максимальная Минимальная Средняя Стандартное отклонение	1214 950 1092 46	1581 1191 1432 67	1878 1416 1698 83	2752 1999 2416 133

для устранения влияния атмосферы и технических помех съемки.

3. Обязательно изучение природных и геологических условий района исследования, истории освоения и использования сельскохозяйственных земель, поскольку выход каменистых, щебнистых и песчаных пород на поверхность или близко к поверхности, эродированность участка, проведение планировки полей, орошение, спо-

соб и длительность орошения приводят к внутри-полевой неоднородности поверхности поля и влажности почв.

4. Спектральная яркость во всех каналах съемки, отображающая близко залегающие к поверхности геологические породы и поверхностно-карбонатные почвы, имеет схожие, но различимые значения, что позволяет использовать космический снимок для разделения этих объектов. Наиболь-

Таблица 4. Изменения спектральной яркости почв с открытой поверхностью в зависимости от состава и глубины залегания почвообразующих и подстилающих пород (по средним значениям с округлением до 10 ед.)

Характеристика почвообразующих и подстилающих пород почв	Интервал спектральной яркости в разных каналах				Номер точки
	B1	B2	B3	B4	
Каменистые с поверхности почвы	1100	1400	1700	2400	Камни
Песчаные с поверхности почвы	970	1200	1600	2200	С-453
Вскипающие с поверхности почвы на сильнощебнистых породах с глубины около 0.5 м	810–820	1050–1070	1270–1350	1830–1880	ФР-424, ФР-425, ФР-438
Супесчаные почвы на палево-бурых суглинках	710–830	890–1080	1160–1350	1720–2170	С-452, С-454, С-455, С-456
Вскипающие с поверхности почвы на палево-бурых суглинках, подстилаемые пестрыми суглинками или песками с глубины около 0.5 м	670–800	870–1100	1100–1620	1500–2300	ФР-421, ФР-422, ФР-423, С-433
Почвы на палево-бурых суглинках, подстилаемые пестрыми суглинками или песками около 0.5 м	630–650	760–830	930–1100	1310–1500	С-431, С-432, С-436
Вскипающие с поверхности почвы на палево-бурых суглинках, подстилаемые пестрыми суглинками или песками с 70 см и глубже	600–670	720–860	880–1100	1200–1600	ФР-420, С-437-2, С-430, С-429, С-426
Почвы на палево-бурых суглинках, подстилаемые пестрыми суглинками или песками с глубины 70 см и глубже	560–620	660–760	790–950	1060–1330	С-427, С-428, С-434, С-435, С-437, С-450, С-451

шую яркость (B1) создают разбросанные по поверхности камни, щебень и песок (970–1100 ед.). Визуально на снимке они имеют яркий ажурный или пятнистый рисунок изображения. Далее следуют поверхностно-карбонатные почвы с сильнощебнистыми породами на глубине около полутора (810–820 ед.) и супесчаные почвы (710–830 ед.). Визуально они также выделяются в виде светлых, но однородных по структуре пятен или полос. Вскипающие с поверхности почвы на пестрых суглинках и вскипающие с глубины ≈ 50 см на песках имеют спектральную яркость (670–800 ед.) и осветленный фон на снимке. Карбонатные почвы, где пестрые суглинки и пески расположены глубоко (более 70 см), или наблюдается отсутствие карбонатного материала в поверхностных горизонтах, имеют яркость почв от 560 до 670 ед. Для разделения каменистых, песчаных и карбонатных с поверхности почв можно использовать построение спектральных профилей через неоднородные участки или определение и статистическую обработку яркостей почв вокруг точек опробования на снимке.

5. Предложенный метод предполагает использование его при классификации космического

изображения для выделения каменистых, песчаных и карбонатных почв. Способ отражает состояние конкретного района исследований, поэтому для расширения географии ее применения требуются дальнейшие исследования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов-Каратаев И.Н. Мелиорация солонцов в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 563 с.
2. Базовые шкалы морфологических элементов почв. Методическое руководство по описанию почв в поле. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1982. 58 с.
3. Барановская А.В., Азовцев В.И. Влияние орошения на миграцию карбонатов в почвах Поволжья // Почвоведение. 1981. № 10. С. 17–26.
4. Волгоградская область: природные условия, ресурсы, хозяйство, население, геоэкологическое состояние. Волгоград: Перемена, 2011. 528 с.

5. *Высоцкий Г.Н.* Ергеня: культурно-фитологический очерк // Тр. бюро по прикладной ботанике. Петроград: тип. К. Маттисена в Юрьеве, 1915. 331 с.
6. Геологическая карта СССР (М 1 : 200000), лист М-38-XXXIII. Всесоюзные аэрогеологический трест Министерства геологии СССР. М., 1968.
7. *Горохова И.Н., Панкова Е.И., Чурсин И.Н.* Методические подходы к разработке мониторинга орошаемых земель юга Европейской части России на основе материалов космической съемки // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. С. 84–93. <https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10087>
8. *Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н.* Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1970. 319 с.
9. *Димо Н.А., Келлер Б.А.* В области полупустыни: Почвенные и ботанические исследования на юге Царицынского уезда Саратовской губернии. Саратов: Изд-во Саратовского губернского земства, 1907. С. 3–185.
10. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения РФ в 2020 г. М., 2022. 384 с.
11. *Зимовец Б.А.* Экология и мелиорация почв сухостепной зоны. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1991. 248 с.
12. *Зинченко Е.В., Горохова И.Н., Круглякова Н.Г., Хитров Н.Б.* Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 68–109. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-104-68-109>
13. *Иванова Е.И.* Очерк почв южной части Подуральского плато и прилегающих районов Прикаспийской низменности. Л.: Изд-во АН СССР, 1928. 320 с.
14. *Иванова Е.Н., Фридланд В.М.* Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция // Вопросы улучшения кормовой базы в степной, полупустынной и пустынной зонах СССР. М.—Л.: Изд-во. АН СССР, 1954. С. 162–190.
15. *Карманов И.И.* Спектральная отражательная способность и цвет почв как показатели их свойств. М.: Колос, 1974. 351 с.
16. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
17. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 247 с.
18. *Любимова И.Н., Дегтярева Е.Т.* Изменение карбонатного профиля почв солонцовых комплексов при агрогенном воздействии // Почвоведение. 2000. № 7. С. 855–860.
19. *Минашина Н.Г.* Мелиорация засоленных почв. М.: Колос, 1978. 263 с.
20. *Орлов Д.С., Суханова Н.И., Розанова М.С.* Спектральная отражательная способность почв и их компонентов. М.: Изд-во МГУ, 2001. 176 с.
21. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
22. *Приходько В.Е.* Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. М.: Интеллект, 1996. 179 с.
23. *Роде А.А.* Почвообразовательный процесс и эволюция почв. М.: Географгиз, 1947. 142 с.
24. Руководство по описанию почв. Рим. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций, 2012. 101 с.
25. *Сиземская М.Л.* Современная природно-антропогенная трансформация почв полупустыни Северного Прикаспия. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. С. 276.
26. *Симакова М.С.* Методика картирования почв Прикаспийской низменности по материалам аэрофотосъемки // Почвенно-географические исследования и использование аэрофотоснимков в картографировании почв. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 283–357.
27. *Панкова Е.И., Мазиков В.М.* Методические вопросы использования аэрофотоснимков для характеристики засоления почв // Почвенно-мелиоративные процессы в районах нового орошения. Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1975. С. 97–111.
28. *Вышивкин Д.Д.* Географическая интерпретация космических снимков в целях тематического картирования засоленных земель // Исследования природной среды космическими средствами М.: ВИНТИ, 1975. Т. 4. С. 34–37.
29. *Антонова С.Ю., Кравцова В.И.* Опыт использования космических многозональных снимков для изучения засоления территории // Исследования природной среды космическими средствами М.: ВИНТИ, 1976. С. 131–139.
30. *Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Панкова Е.И.* Дистанционная диагностика содержания карбонатов в орошаемых почвах сухостепной зоны Волгоградской области // Почвоведение. 2021. № 6. С. 657–674. <https://doi.org/10.31857/S0032180X21060071>
31. *Jia-ge Chen, Jun Chen, Qin-jun Wang, Yue Zhang, Haifeng Ding, Zhang Huang.* Retrieval of Soil Dispersion Using Hyperspectral Remote Sensing // Indian Soc. Remote Sensing. 2016. V. 44. P. 563–572.
32. *Medeiros Pessoa L.G., Galvão Dos Santos Freire M.B., Wilcox B.P., Machado Green C.H., Tolêdo De Araújo R.J., De Araújo Filho J.C.* Spectral reflectance characteristics of soils in northeastern Brazil as influenced by salinity levels // Environ. Monitoring Assessment. 2016. V. 188. P. 616.
33. *Myers V.J., Carter D.L., Rippert W.G.* Remote sensing for estimate soil salinity // J. Irrigation Drainage Division. 1966. V.4. P. 59–68.
34. *Ren D., Wei B., Xu X., Engel B., Li G., Huang Q., Xiong Y., Huang G.* Analyzing spatiotemporal characteristics of soil salinity in arid irrigated agro-ecosystems using integrated approaches // Geoderma. 2019. V. 356. P. 113935. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113935>
35. *Richardson J.A.* Detection of soils with sky lab multispectral, scanner data program // Eng. And Remote Sensing. 1976. V. 5. P. 679–684.
36. *Wang F., Shi Z., Biswas A., Yang S., Ding J.* Multi-algorithm comparison for predicting soil salinity // Geoderma. 2020. V. 365. P. 114211. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114211>
37. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 2015. No. 106. FAO, Rome. 192 p.

Recognition of Rocky, Sandy and Calcareous Soils from the Surface in the South of the Volga Upland (Volgograd Oblast) from Satellite Images

I. N. Gorokhova^{1, *} and N. B. Khitrov^{1, **}

¹Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia

**e-mail: g-irina14@yandex.ru*

***e-mail: khitrovn@gmail.com*

The purpose of the work is to recognize rocky, sandy and calcareous soils from the surface using a multi-zone satellite image in the south of the Volga Upland in the Volgograd oblast. The object of the study was the Volga-Don irrigation system, within the experimental station “Oroshayemaya”. The recognition was carried out by the spectral brightness of the space image of the bare soil surface in 4 bands. The most ranked values among them were marked in B1 band. Three catenae were studied, along which field information about soils was obtained. It was found that the greatest brightness (B1) is created by stones, rubble and sand scattered on the surface (970–1100 units). This is followed by: surface-effervescent soils with strongly rubbed rocks at a depth of about half a meter and sandy loam soils (710–830 units), with effervescence from the soil surface on mottled loams and sands of about half a meter (up to 700 units), and surface-calcareous soils, where mottled loams and sands occur deep (more than 70 cm), or with the absence of calcareous material in the surface horizons, with a brightness of 560–670 units. The use of this approach will enable more detailed recognition of soils on the basis of satellite imagery materials and separate surface-rocky and sandy soils from surface-calcareous soils, which are displayed in images with a similar spotty heterogeneity, but differ in spectral brightness.

Keywords: spectral brightness, soil-topographic profile, spectral profile