

ОТРАСЛЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАСУШЛИВЫХ ЗЕМЕЛЬ

УДК 631.4

РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ<sup>1</sup>

© 2020 г. И.Н. Горохова\*, Е.И. Панкова\*, И.Н. Чурсин\*\*

*\*Почвенный институт им. В.В. Докучаева*

*Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2. E-mail: g-irina@rambler.ru*

*\*\*Научный геоинформационный центр РАН*

*Россия, 119019, г. Москва, ул. Новый Арбат, д. 11. E-mail: chursin.ivan93@gmail.com*

Поступила в редакцию 18.06.2019. После доработки 15.08.2019. Принята к публикации 30.09.2019

В статье изложены основные положения методического подхода к оценке состояния орошаемых земель на юге Европейской части России на основе космической съемки со спутника Landsat-8 и наземных наблюдений. Используются визуальный и основанный на нем автоматизированный методы дешифрирования орошаемых земель по космическим снимкам, рассмотрена возможность определения по ним показателей, необходимых для наблюдений за состоянием орошаемых земель: 1) площадь орошаемых массивов, 2) площадь многолетней залежи на орошаемых массивах, 3) площадь орошаемых полей под разными сельскохозяйственными культурами, 4) генезис пятнистости орошаемых полей, обусловленных состоянием возделываемых культур и свойствами почв. Выполненная работа является первым шагом к созданию мониторинга орошаемых земель на основе дистанционного зондирования. В статье использованы оптимальный тип и даты съемки материалов космической съемки, разработаны дешифровочные признаки для оценки состояния сельскохозяйственных культур и свойств орошаемых почв, разработана технология автоматизированного дешифрирования космических снимков для выделения пятнистости орошаемых полей на базе алгоритма «деревьев принятия решений».

*Ключевые слова:* мониторинг, орошаемые земли, показатели состояния, космические снимки, дешифровочные признаки, автоматизированная классификация сельскохозяйственных культур и орошаемых почв.

**DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10087**

Согласно данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» (2018), основная доля сельскохозяйственной продукции в стоимостном выражении производится в засушливой зоне страны, где сосредоточено 78% пахотных земель. Известно, что для обеспечения стабильного сельскохозяйственного производства на засушливых землях требуется развитие орошения. По данным Росреестра, в настоящее время общая площадь орошаемых земель России составляет 4658.7 тыс. га. При этом 24.6% площади находятся в неудовлетворительном состоянии и только около 50% в хорошем (Государственный доклад ..., 2018).

В России осуществляется государственный мониторинг окружающей среды, представляющий собой «систему наблюдений, оценки и прогнозирования и направленный на получение достоверной информации о состоянии земель, об их количественных и качественных характеристиках, их

<sup>1</sup> Работа выполнена по теме государственного задания Почвенного института им. В.В. Докучаева № 0591-2019-0023 «Изучить влияние природных условий и особенностей землепользования на почвенный покров, в том числе с участием засоленных, солонцовых и слитизированных почв и разработать технологию оценки интенсивности эксплуатации почв сельскохозяйственных угодий», а также по теме государственного задания Научного геоинформационного центра РАН № ААА-А1170213110015-2 «Разработка методов комплексного мультиспектрального анализа природных ландшафтов для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения с применением группировок малых космических аппаратов и современных ГИС-технологий».

использовании и о состоянии плодородия почв. Объектами государственного мониторинга земель являются все земли в Российской Федерации независимо от форм собственности, их целевого назначения и разрешенного использования» (Государственный ..., 2016). При осуществлении государственного мониторинга земель необходимые сведения получают с использованием методов дистанционного зондирования, сети наземных наблюдений и из различной документации. При этом основным источником данных о площадях и состоянии орошаемых земель в России является мелиоративный кадастр, который базируется исключительно на наземных наблюдениях и при его составлении не используются дистанционные методы. Кроме того, при определении площадей не учитываются площади заброшенных залежных земель на орошаемых массивах. Также, согласно публикациям последних лет, общепринятой методики для проведения мониторинга орошаемых земель в засушливых регионах России на базе дистанционного зондирования не существует.

Цель данных исследований – разработка методических подходов для оценки состояния орошаемых земель на юге Европейской части России на основе материалов космической съемки и решение задач, необходимых для проведения мониторинга в дальнейшем: 1) определение площади орошаемых массивов, 2) определение площади многолетней залежи на орошаемых массивах, 3) определение площади орошаемых полей под разными сельскохозяйственными культурами, 4) определение генезиса пятнистости орошаемых полей, обусловленных состоянием возделываемых культур и свойствами почв, лимитирующих их плодородие.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал следующее: изучение состояния сельскохозяйственных земель с привлечением дистанционной информации ведется уже несколько десятилетий и количество научных работ на эту тему постоянно растет. Среди множества работ выделяются публикации по исследованиям свойств орошаемых почв на базе космической информации, в том числе засоления почв. Этой проблемой в Средней Азии занимались Е.И. Панкова с Д.И. Соловьевым (1993) и с Д.И. Руховичем (1999). И.Ю. Савин с соавторами (2019) опубликовал обобщающую работу по использованию технологий составления почвенных карт на основе космической съемки. Нами в течение многих лет на примере Светлоярской оросительной системы в Волгоградской области проводилась работа по изучению на основе дистанционной информации состояния орошаемых земель (Горохова и др., 2017).

Влияние орошения на свойства почв анализируется в большом количестве зарубежных работ, при этом чаще всего исследования ведутся с привлечением спутниковых данных. Особое внимание в статьях уделяется изучению засоления орошаемых почв (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2014; Fourati et al., 2017; Jiang, Shu, 2018). В этих работах подчеркивается, что спутниковая информация позволяет выделять засоленные почвы и проводить количественную оценку засоления. Наиболее широко используются материалы со спутников Landsat (5, 7, 8) и Hyperion EO-1, HJ-1A1. Помимо засоления почв хорошо определяются участки подтопленных земель из оросительных каналов и участки с плохо функционирующим дренажом. Для выделения полей с разными сельскохозяйственными культурами, а также для распознавания солончаков и других засоленных почв используются расчетные, эмпирически выведенные индексы (Fourati et al., 2017); широко применяются также геостатистические методы обработки наземных и спутниковых данных (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2014). При автоматизированной обработке космического изображения используют значения спектральной яркости и разные спектральные индексы, при картографировании – метод универсального кригинга (Jiang, Shu, 2018). Отмечается, что спутниковые материалы Landsat (5, 7, 8) оптимальны прежде всего для мелко- и среднemasштабного картографирования и эффективны в сочетании с ГИС-технологиями. Предварительное дешифрирование снимков обязательно должно проверяться полевыми наблюдениями. Точность выделения засоленных почв по дистанционным материалам может достигать 78% (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2014). При анализе космических снимков часто засоление почв увязывается с состоянием возделываемой сельскохозяйственной культуры, при этом солеустойчивые культуры могут не реагировать на засоление и иметь хороший вид на снимке. Однако, как показал обзор литературы, несмотря на ограничения, использование спутниковых данных, ГИС-технологий и современных компьютерных программ по обработке космических изображений для оценки и картографирования орошаемых, в том числе засоленных, подтопленных, переувлажненных почв, позволяет отслеживать происходящие изменения.

### Объект и методы исследований

Объектом исследований являются орошаемые земли на юге Европейской части России. В основу работы положен опыт авторов по оценке площадей, состояния орошаемых почв на основе спутниковой информации и полевых исследований, проведенных в Волгоградской области в разных природных районах (Сарпинская низменная равнина, возвышенность Ергени). Обобщение полученных результатов позволило сформулировать некоторые положения в качестве единого методического подхода на первом этапе работ по созданию мониторинга орошаемых земель на юге Европейской части России.

1. В качестве основного источника информации об орошаемых землях предлагается использовать космические снимки со спутника Landsat-8, как наиболее доступные, мультиспектральные (11 каналов), геопривязанные, высокого разрешения (30 м в мультиспектральном и 15 м в панхроматическом диапазонах), получаемые с периодичностью 2.5 недели и шириной полосы съемки 185 км.

При автоматизированной обработке снимков прежде всего необходимо использовать синюю, зеленую, красную, ближнюю инфракрасную (NIR) и панхроматическую зоны съемки, поскольку сочетание красного, зеленого и синего каналов дает приближенное к естественному цветное (RGB) изображение объекта, а наиболее информативными для анализа состояния возделываемых сельскохозяйственных культур и почв, расчета вегетационного индекса (NDVI) являются красная и инфракрасная зоны спектра. Для повышения пространственного разрешения изображения до 15 м необходимо добавление панхроматического канала.

2. Оптимальным периодом съемки для выделения на снимках полей с озимыми зерновыми культурами, кормовыми травами, землями под паром, многолетней залежью, а также для выделения неоднородности (пятнистости) орошаемых полей, определяющих состояние посевов, являются месяцы май и июнь (поскольку в это время культуры и их состояние хорошо дифференцируются на снимках).

3. Для выявления генезиса пятнистости орошаемых земель необходимо проведение полевых работ, т.к. она может быть связана с засолением, переувлажнением, окарбоначиванием почв, а также с плохой обработкой земель или недополивом.

4. При автоматизированной обработке космических снимков необходимо использовать современные ГИС-технологии и специализированные программы (AutoCAD Map, MapInfo, ENVI, ERDAS IMAGINE, ArcGIS Desktop/Workstation и его наиболее распространенные модули Arc/Info, ArcView и др.), которые дают возможность оперативно проанализировать изображение и получить информацию о площадях орошаемых и неиспользуемых земель, а также о структуре посевов и состоянии почв.

5. Для получения сведений об орошаемых землях помимо дистанционной информации нужны: топографические карты крупных или средних масштабов и фондовые материалы (литолого-геоморфологические, почвенные, гидрогеологические карты и др.).

6. Проведение полевых рекогносцировочных и маршрутных исследований позволит получать информацию, необходимую для дешифрирования снимков.

Методически работа, рассматриваемая в данной статье, представлена в двух вариантах – визуального дешифрирования космического снимка и простой автоматизированной обработки мультиспектрального изображения орошаемых земель с использованием стандартных программ ENVI 5.1. и MapInfo Pro 15. Для визуального анализа объектов, отраженных на спутниковых материалах, использовались следующие характеристики: тон, структура, форма и размер объектов, условия почвообразовательного процесса (уровень грунтовых вод (УГВ) в настоящее и прошлое время), характер поверхности (озимые зерновые культуры, кормовые травы, залежь, пашня).

На начальном этапе работ с космическим снимком обязательно проводится коррекция, которая включает яркостные преобразования, направленные на улучшение качества изображения как для визуального дешифрирования на экране, так и последующей автоматизированной обработки. Внесение соответствующих поправок называют радиометрической калибровкой и атмосферной коррекцией. Радиометрическая калибровка предназначена для устранения системных помех спутника, атмосферная коррекция – для устранения влияния атмосферы.

### Результаты исследований

Результатом исследований орошаемых земель на основе материалов космической съемки стало определение: 1) площадей орошаемых массивов, 2) площади многолетней залежи в пределах

орошаемых массивов, 3) площадей орошаемых полей под разными сельскохозяйственными культурами, 4) генезиса пятнистости орошаемых полей, обусловленных состоянием возделываемых культур и свойствами почв. Для этого была составлена серия карт, отвечающая по точности и содержанию требованиям к картам примерно средних масштабов (1:100000) и достаточная для выполнения поставленных задач.

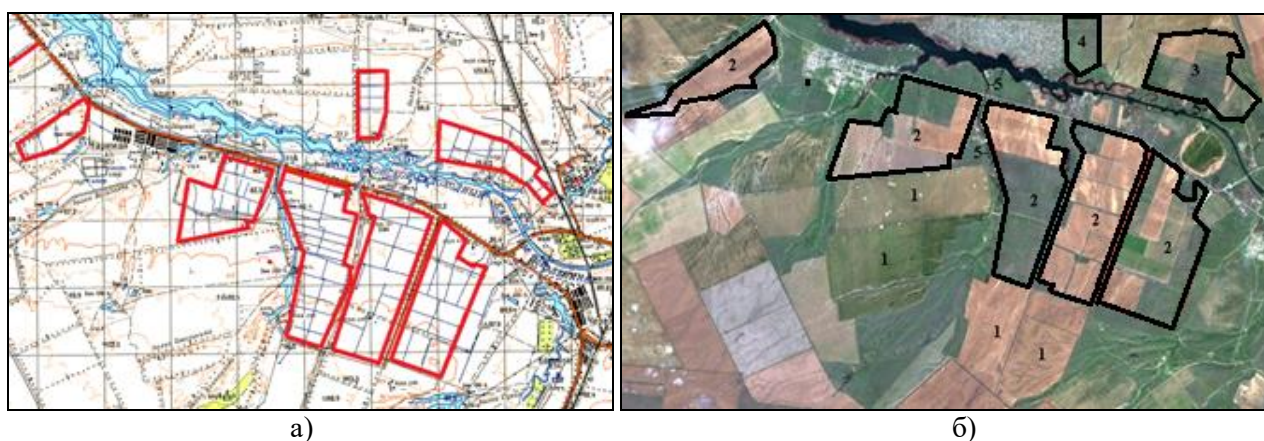
*Карта орошаемых земель.* Орошаемые земли, в отличие от богарных, имеют свои дешифровочные признаки, главные из которых следующие:

1) поля орошаемых земель, как правило, меньше по площади сельскохозяйственных полей, занятых богарными почвами;

2) к орошаемым полям подходят головной оросительный канал и каналы-распределители, которые видны на снимке.

Предварительно рекомендуется найти оросительные системы на топографических картах, а затем полученную информацию использовать для анализа космического снимка. Информация на топографической карте поможет определить оросительные системы, которые функционировали ранее (60-80-е годы прошлого столетия), и выяснить по космическому снимку, что стало с ними в настоящий момент времени.

На рисунке 1 представлены оросительные системы, расположенные вдоль Волго-Донского канала. Сравнивая изображения на топографической карте (1984 г.) и космическом снимке (2016 г.), можно отметить, что в данное время не все системы функционируют, изменилась также конфигурация некоторых массивов орошения за счет включения в орошение дополнительных площадей.



**Рис. 1.** Оросительные системы вдоль Волго-Донского канала. *Условные обозначения:* а – выделенные на топографической карте (М 1:100000, 1984 г.), б – на космическом RGB-снимке со спутника Landsat OLI-8 (01.05.2016); 1 – богарные земли, 2 – орошаемые массивы, 3 – орошаемые массивы с площадью, увеличенной по сравнению с изображением на топокарте, 4 – заброшенный орошаемый массив, 5 – оросительный канал.

Следует иметь в виду, что в настоящее время часть ранее орошаемых массивов может использоваться без орошения, поэтому относить их к орошаемым неверно, хотя, согласно кадастровому учету, они относятся к орошаемым, а по факту используются как богара. Определить, являются ли земли на данный момент богарными или используются как орошаемые влагозарядковые, можно только по опросу хозяев наделов, что затрудняет точное определение орошаемых земель по космическому снимку.

*Карта сельскохозяйственных культур орошаемых земель (включая залежные земли).* Предварительный визуальный анализ цветного (RGB) изображения космического снимка (рис. 2) позволил установить, что оросительная система в период проведения съемки являлась частично или полностью заброшенной и орошаемые земли перешли в разряд многолетней залежи. Многолетняя залежь отличается от возделываемых полей отсутствием сельскохозяйственной культуры, темным тоном, а также размытой структурой изображения. Иногда на снимке видно, что подводящие каналы лишены воды или вовсе засыпаны.



В период съемки орошаемых земель в мае-июне месяце находящиеся в стадии зрелости озимые зерновые культуры хорошо отличаются на космическом снимке от полей с кормовыми травами своим светлым тоном и ярко выраженной пятнистой структурой (рис. 2).

Возможна также автоматизированная обработка космического снимка. В настоящее время существует множество программ, позволяющих произвести классификацию изображения, рассчитывая спектральную яркость или яркостные индексы объектов исследования. Такие различия положены в основу автоматизированной классификации изображений.



**Рис. 2.** Визуальное выделение полей с разными сельскохозяйственными культурами и многолетней залежью на космическом RGB-снимке со спутника Landsat OLI-8 (01.05.2016). Условные обозначения: 1 – озимые зерновые, 2 – кормовые травы, 3 – скошенные кормовые травы, 4 – пашня под паром, 5 – многолетняя залежь.

Например, алгоритм «Анализ главных компонент» в программе ENVI (где используется математический метод главных компонент) дает композитное и более контрастное изображение орошаемых земель. Данное преобразование позволяет выделить массивы орошения, поля с разными сельскохозяйственными культурами, залежью и пашней, визуальное дешифрирование которых в цветном изображении затруднено или невозможно (рис. 3).



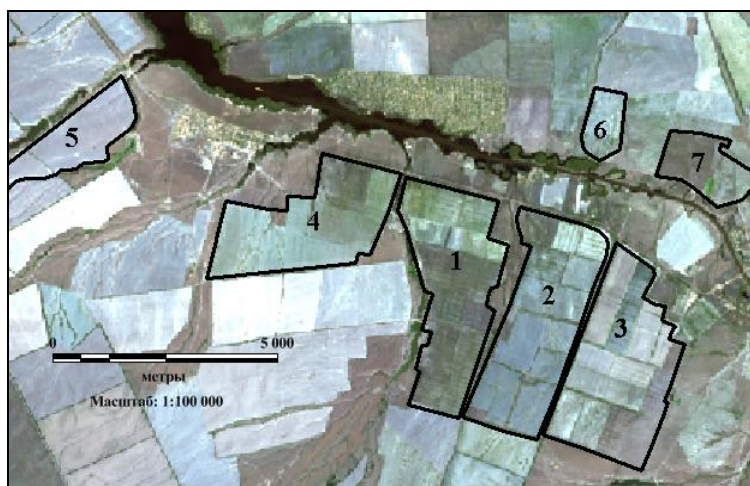
**Рис. 3.** Композитное изображение оросительных систем вдоль Волго-Донского канала на обработанном алгоритмом «Анализ главных компонент» мультиспектральном изображении со спутника Landsat OLI-8 (01.05.2016.).

Выполнив визуально или с помощью программ (ENVI, MapInfo) векторизацию массивов орошения, полей с разными сельскохозяйственными культурами и залежью, можно автоматизировано подсчитать площади всех объектов (рис. 4, 5).

*Карта пятнистости полей.* Орошаемые поля часто характеризуются неоднородностью или пятнистостью изображения на космическом снимке, что связано с состоянием сельскохозяйственных культур и свойствами почв, оказывающими влияние на культуры. Возделываемая культура может иметь выпад в виде пятен, вызванные такими неблагоприятными процессами, как подтопление, засоление, окарбоничивание с поверхности почв или плохая агротехническая обработка полей.

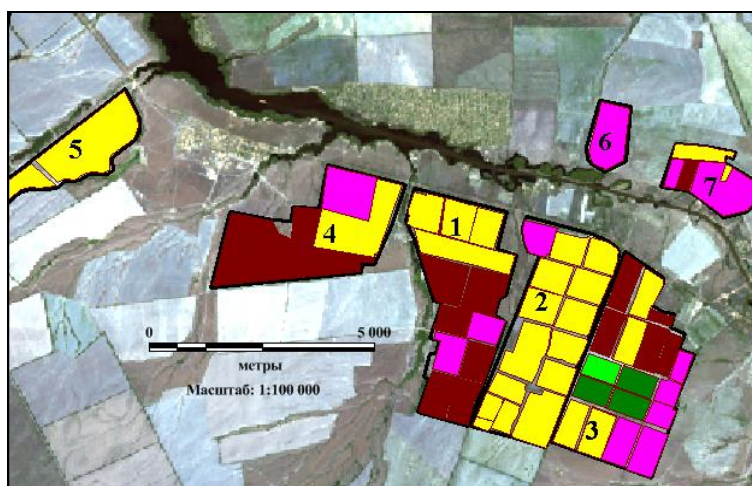
Для составления карты пятнистости полей и определения генезиса пятен были разработаны и использованы дешифровочные признаки, созданные по результатам анализа фондовых, полевых материалов, анализа спутникового изображения орошаемых земель и проведена типизация пятнистости, помогающая провести распознавание почв и их свойства (табл.).

При визуальном дешифрировании объектов, отраженных на дистанционной информации, использовались следующие характеристики: тон, структура, форма и размер пятен, условия почвообразования (УГВ в настоящее время и в прошлом), возделываемая культура или открытая поверхность (озимые зерновые культуры, кормовые травы, залежь, пашня).



Номер массива	Код	Объект	Площадь_га
1	0	Орошаемый массив	682,00
2	0	Орошаемый массив	749,00
3	0	Орошаемый массив	758,00
4	0	Орошаемый массив	612,00
5	0	Орошаемый массив	300,00
6	0	Орошаемый массив	100,00
7	0	Орошаемый массив	212,00
Всего			3 413,00

**Рис. 4.** Орошаемые массивы вдоль Волго-Донского канала и их площади, выделенные и просчитанные по синтезированному RGB-снимку Landsat-8 OLI (19.06.2015).



Номер массива	Код	Объект	Площадь_га
Всего	1	Озимые зерновые	1 708,00
	2	Кормовые травы	38,00
	3	Скошенные кормовые травы	126,00
	4	Пашня под паром	853,00
	5	Залежь	678,00



**Рис. 5.** Поля с разными сельскохозяйственными культурами и залежью на орошаемых массивах вдоль Волго-Донского канала и их площади, выделенные и просчитанные по синтезированному RGB-снимку Landsat-8 OLI (19.06.2015).

Пятнистость орошаемых полей на юге России, отраженная на космических снимках, имеет разную природу, и поэтому интерпретация дистанционных материалов требует обязательного изучения особенностей района исследований и обоснования причин появления пятнистости на основе полевых работ и лабораторных анализов почвенных образцов.

Установлено, что пятнистость, связанная с окарбончанием почв с поверхности, стабильна и постоянна, хорошо отражается на космических снимках в видимых каналах независимо от природного района, сезона съемки и возделываемой культуры и имеет одну природу происхождения, связанную с планировкой полей и подтягиванием карбонатов к поверхности за счет транспирации влаги растениями. Наличие в верхнем горизонте значительного (>4-5%) количества карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ ) делает почвы на пятнах после полива плотными и способствует образованию поверхностной корки, что приводит к гибели растений. На снимке такие почвы выделяются как пятна светлого тона разного размера, часто топографически связанные с бывшими повышениями мезорельефа.

Луговые и луговатые, наиболее прогумусированные и увлажненные почвы характеризуются темным тоном и хорошо визуальны выделяются на снимках с открытой поверхностью, на полях с озимыми зерновыми культурами. Однако пятна луговых почв маскируются под пологом кормовых трав, поэтому в случае визуального дешифрирования (для уточнения их распространения) дополнительно требуется информация с открытой поверхностью почв.

**Таблица.** Типизация пятнистости орошаемых полей на одновременных RGB-снимках со спутников Landsat.

Пятна на снимке под разными культурами, дата съемки	Природный район	УГВ и способ орошения	Дешифровочные признаки			Название почвы (Классификация ..., 1977)	Причина образования пятнистости на поле
			Тон и структура	Форма	Размер		
Озимые зерновые, июнь, 2015 г.  Пятна поверхностно- и высококарбонатных почв	Сарпинская низменная равнина	>5 м, влагозарядковый	Светлый, светло-серый с неоднородной, пятнистой структурой	Вытянутая, повторяет бывшие повышения мезорельефа	Крупные и средние пятна от 50 м до 800 м в длину и от 10 м до 220 м в ширину	Пахотная, орошаемая светло-каштановая поверхностно- и высококарбонатная, легко- и среднесуглинчатая на средневальских морских отложениях	Окарбончание почв с поверхности и содержание карбонатов >4-5%. Пятна возникли в результате планировки полей и других сопутствующих процессов, наличие в верхнем горизонте значительного количества карбонатов делает почвы после полива плотными, с образованием поверхностной корки
Кормовые травы, июнь, 2015 г.  Пятна поверхностно- и высококарбонатных почв		>5 м, поверхностный, напуском по бороздам		Вытянутая вдоль борозд полива	Крупные и средние пятна от 90 до 800 м в длину и от 30 м до 120 м в ширину		



## Продолжение таблицы.

Пятна на снимке под разными культурами, дата съемки	Природный район	УГВ и способ орошения	Дешифровочные признаки			Название почвы (Классификация ..., 1977)	Причина образования пятнистости на поле
			Тон и структура	Форма	Размер		
<p>Озимые зерновые, май, 2016 г.</p>  <p>Пятна луговатых и луговых почв</p>	Сарпинская низменная равнина	>5 м, в прошлом поверхностный, напуском по бороздам; сейчас влагозарядковый	Темный с неоднородной, пятнистой структурой	Вытянутая, повторяет бывшие понижения мезорельефа	Крупные и средние пятна от 300 м до 800 м в длину и 30-120 м в ширину	Пахотная, орошаемая лугово- или луговато-каштановая среднесуглинистая на среднехвалыньских морских отложениях	Диагностирует дополнительное ирригационное, поверхностно-грунтовое или грунтовое увлажнение
<p>Кормовые травы, июнь 1985 г.</p>  <p>Пятна вторично засоленных почв</p>	Северные Ергени	2.5-1.5 м, поверхностный, напуском по бороздам	Светлый, светло-серый	Вытянутая и округлая, с волнистыми границами	Средние пятна 100-200 м в длину и 50-100 м в ширину; мелкие пятна 50-100 м в длину и 20-50 м в ширину	Пахотная, орошаемая светло-каштановая, солончакковая, среднесуглинистая на покровных суглинках	Пятнистость указывает на сильное вторичное засоление почв на глубину 1 м независимо от размера светлых пятен, темный тон на снимке отражает слабосредне засоленные почвы у полей с крупнопятнистым рисунком и незасоленные и слабозасоленные на полях со средне- и мелкопятнистым рисунком

Пятнистость, связанная с вторичным засолением почв, проявляется в условиях высокого уровня грунтовых вод (1.5-2.5 м) и сопровождается образованием выпадов кормовых трав в виде светлых пятен различного размера. Эта пятнистость характеризует сильное засоление почв на глубину 1 м независимо от размера светлых пятен. Темный тон в этом случае на снимке отражает слабо-среднее засоление почв орошаемых полей с крупнопятнистым рисунком и незасоленные и слабозасоленные почвы на полях с мелко- и среднепятнистым рисунком (Горохова и др., 2017).

Примеры описанных дешифровочных признаков разных почв и их свойств представлены в таблице.

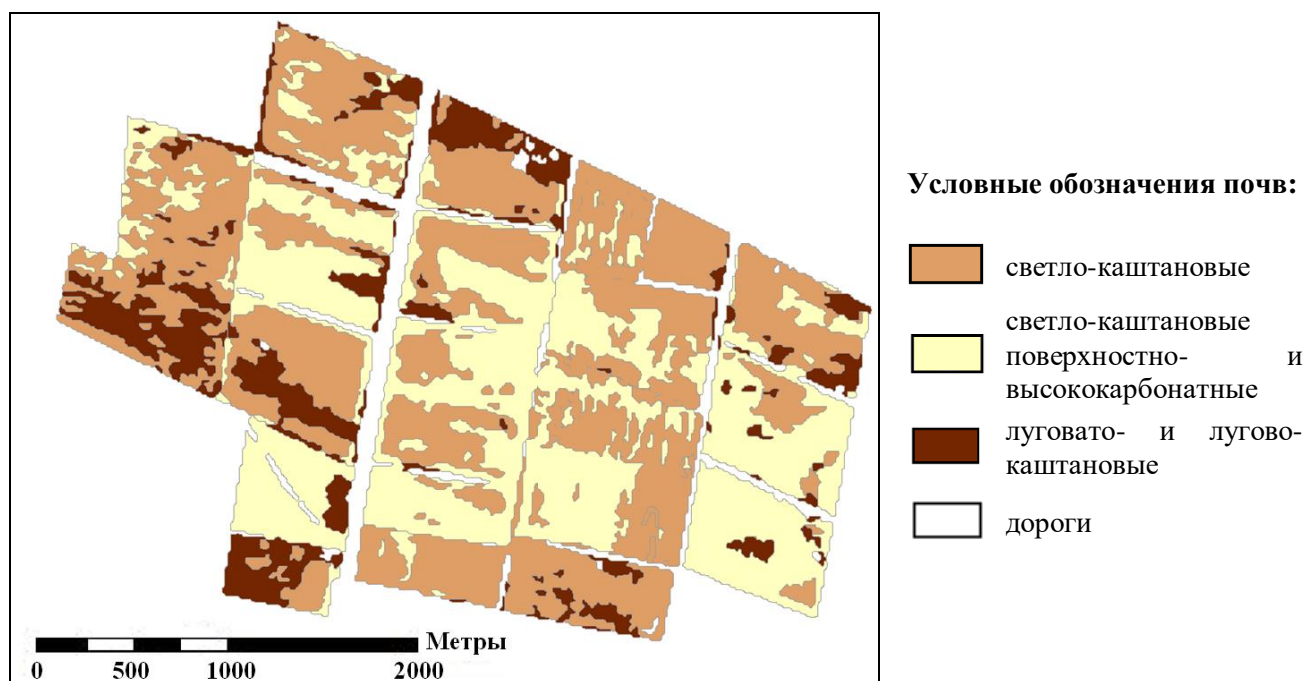


Для проведения автоматизированного дешифрирования пятнистости полей и последующего их картографирования применялась технология, разработанная И.Н. Чурсиным с соавторами (2018), на базе алгоритма «деревьев принятия решений». Проверка технологии осуществлялась по пяти снимкам со спутника Landsat-8 за летние сезоны 2015-2018 годов и 11 каналам съемки. Разработанная технология подразумевает создание обучающей выборки на базе карты сельскохозяйственных угодий и значений спектральной яркости выделяемых пятен. Обучающая выборка создавалась с учетом представленных дешифровочных признаков (табл.).

Первым этапом автоматизированного дешифрирования стало выделение группы полей с разными сельскохозяйственными культурами, в том числе полей, на которых выявлены пятна. Второй этап состоял в выделении пятен на полях, когда группа яркостных признаков набиралась исходя из того, что поля с разными сельскохозяйственными культурами имеют пятна одного генезиса, но они могут различаться по яркости: например, выпадения кормовой культуры на поверхностно- и высококарбонатных почвах и светлые пятна с такими же почвами на вызревших озимых зерновых культурах имеют один генезис, но различаются по форме и тону (табл.).

К достоинствам используемого метода классификации типов почв следует отнести то, что, как отмечалось выше, не все типы можно выделить визуально. Например, лугово-каштановые почвы, расположенные на полях с люцерной, хорошо маскируются густым пологом культуры. Включение в классификацию информации из каналов NIR, SWIR1, SWIR2 спутника Landsat-8 помогает решить эту проблему. Более подробно данная технология классификации по снимкам представлена в статье И.Н. Чурсина с соавторами (2018).

По результатам автоматизированной классификации была построена карта пятнистости полей на территории одного из орошаемых массивов Светлоярской оросительной системы в Волгоградской области (рис. 6). На составленной карте основную долю занимают орошаемые зональные светло-каштановые почвы (45%), далее следуют орошаемые поверхностно- и высококарбонатные светло-каштановые почвы (38%) и наименьшую долю занимают орошаемые луговато- и лугово-каштановые почвы (17%).



**Рис. 6.** Картограмма пятнистости орошаемых полей Светлоярского орошаемого участка Светлоярской оросительной системы в Волгоградской области.

Информация с созданных карт может быть использована для уточнения мелиоративного кадастра и при проведении мелиоративных мероприятий по улучшению свойств почв (например, по

представленной карте пятнистости орошаемых полей можно адресно провести такие мелиоративные мероприятия, как разрушение поверхностной корки, внесение органических удобрений и др.).

### Выводы

Основным результатом проведенных работ стало решение на дату использованных материалов космической съемки таких задач, как: 1) определение площадей орошаемых массивов, 2) определение площади многолетней залежи на орошаемых массивах, 3) определение площадей орошаемых полей под разными сельскохозяйственными культурами, 4) определение генезиса пятнистости орошаемых полей, обусловленных состоянием возделываемых культур и свойствами почв.

Актуальность результатов представленных исследований обусловлена тем, что основным источником данных о состоянии и площадях орошаемых земель на юге России в настоящее время является мелиоративный кадастр, который ведется исключительно наземными методами и не учитывает площади залежных земель на орошаемых массивах.

Разработанный методический подход к изучению орошаемых земель позволяет считать его в качестве первого этапа работ по созданию методических рекомендаций к мониторингу орошаемых земель юга Европейской части России с привлечением космической информации. Он также может быть рекомендован гидрогеолого-мелиоративным партиям, которые осуществляют регулярный наземный контроль за орошаемыми землями и являются составителями мелиоративного кадастра.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Горохова И.Н., Панкова Е.И.* 2017. Природа пятнистости орошаемых почв сухостепной зоны (на примере Светлоярской оросительной системы) // Аридные экосистемы. Т. 23. № 3 (72). С. 44-54. [*Gorokhova I.N., Pankova E.I.* 2017. The Nature of the Patchiness of Irrigated Soils in the Dry Steppe Zone (on Example of the Svetloyarskaya Irrigation System) // Arid Ecosystems. Vol. 7. No. 3. P. 161-170.]
- Горохова И.Н., Панкова Е.И., Шишконова Е.А.* 2017. Опыт использования космических снимков для составления карты землепользования орошаемых и залежных земель Светлоярской оросительной системы // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 89. С. 68-89.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». 2018. М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ. 203 с.
- Государственный (национальный) доклад «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2015 году». 2016. М.: Министерство экономического развития, Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. 202 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. Издательство: Колос, 1977 г. 221 с.
- Панкова Е.И., Рухович Д.Н.* 1999. Дистанционный мониторинг засоления орошаемых почв аридных территорий. // Почвоведение. № 2. С. 253-263
- Панкова Е.И., Соловьев Д.А.* 1993. Дистанционный мониторинг засоления орошаемых почв. РАСХН. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 191с.
- Савин И.Ю., Столбовой В.С., Иванов А.Л., Прудникова Е.Ю., Жоголев А.В., Воронин А.Я.* 2019. Технология составления и обновления почвенных карт. М.: Перо. 328 с.
- Чурсин И.Н., Филиппов Д.В., Горохова И.Н.* 2018. Разработка метода «Дерево принятия решений» для автоматизированного распознавания сельскохозяйственных культур по мультиспектральным снимкам высокого разрешения на примере орошаемого участка // Материалы X Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков. М. Т. 1. С.407-413.
- Jiang H., Shu H.* 2018. Optical remote-sensing data based research on detecting soil salinity at different depth in an arid-area oasis, Xinjiang, China // Earth Science Informatics. P. 1-14.
- Fourati H.-T., Bouaziz S., Benzina M., Bouaziz M.* 2017. Detection of terrain indices related to soil salinity and mapping salt-affected soils using remote sensing and geostatistical techniques // Environmental Monitoring and Assessment. No. 189 (4). 11 p.
- Taghizadeh-Mehrjardi R., Minasny B., Sarmadian F., Malone B.P.* 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran // Geoderma. P. 15-28.