

ПАЛЕОЭКОЛОГИЯ

Э.А. Терехин, Т.Н. Смекалова

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
ул. Победы, 85, Белгород, 308015, РФ

E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
просп. Вернадского, 4, Симферополь, 295007, РФ

E-mail: tnsmek@mail.ru

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ И ТЕКСТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ ФОРМ ДРЕВНЕГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И МЕЖЕВАНИЯ, ТИПИЧНЫХ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО КРЫМА, ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ¹

На основе разновременных спутниковых данных, полученных со значительным временным интервалом (50 лет), проведено исследование древних земледельческих форм на территории Западного Крыма. Представлены результаты количественной оценки структурных и текстурных признаков древних земледельческих форм, характерных для территории Западного Крыма. Предложен способ количественной оценки текстурных признаков древних земледельческих форм, располагающихся на месте современных аграрных угодий. Способ основан на вычислении текстурных показателей в пределах контуров современных сельскохозяйственных угодий, разбитых сетью ячеек с размером, позволяющим визуально анализировать пространственные признаки форм древнего земледелия. Показана возможность пространственных улучшающих преобразований снимков для выявления и количественной оценки древних земледельческих форм, располагающихся на месте современных сельскохозяйственных угодий. Установлено, что эффективность одних и тех же пространственных улучшающих преобразований спутниковых изображений зависит от ряда их настраиваемых параметров, которые определяются геометрическими особенностями анализируемых форм археологических объектов.

Ключевые слова: древнее земледелие, геоархеология, дистанционное зондирование Земли, геоинформационное картографирование, ГИС-технологии, Западный Крым.

DOI: 10.20874/2071-0437-2016-35-4-170-179

Введение

Существование различных цивилизаций и этнических групп в Крыму на протяжении нескольких тысячелетий сопровождалось для многих из них формированием собственных систем земледелия, некоторые из которых сохранялись на протяжении столетий. Несмотря на активные археологические исследования на Крымском полуострове, еще с конца XVIII в. [Тункина, 2002], проблема изучения аграрного освоения Крыма остается актуальной.

Появление аэрофотографий и особенно совершенствование спутниковой аппаратуры, в частности появление в конце 1990-х — начале 2000 гг. цифровых спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения и повышение доступности спутниковых данных, в том числе архивных изображений, открыло новые возможности для изучения древних земледельческих систем в разных регионах планеты, включая территорию Крыма и Северного Причерноморья.

Главными преимуществами спутниковых снимков при изучении древних земледельческих форм выступают одновременный охват достаточно больших территорий, позволяющий выявлять системы межевания, и отображение на снимках деталей земледельческих систем, трудно распознаваемых при наземных исследованиях, например контуров наделов, скрытых в некоторых местах небольших слоев почвы и частично выступающих из-под нее.

Исследование пространственно-временной картины аграрного освоения земель Западного Крыма существенно осложнено интенсивным сельскохозяйственным использованием этих тер-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ мол_нр, № 16-36-50010.

Анализ структурных и текстурных признаков форм древнего земледелия и межевания...

риторий на протяжении XX в. и в настоящее время. Вместе с тем оно является актуальной задачей с точки зрения исторического анализа развития земледелия на полуострове.

Сложность выявления древних земледельческих форм во многом обусловлена тем, что на них наложены контуры современных сельскохозяйственных угодий. Несмотря на это, в ряде исследований [Смекалова, 2006; Смекалова, Кутайсов, 2013; Гарбузов, 2009] доказано, что многие формы древнего земледелия, сложившиеся на протяжении нескольких веков, даже при их нахождении на месте современных аграрных угодий, могут быть выявлены на основе анализа аэрофотографий или спутниковых снимков. В свою очередь, по этой причине представляет интерес изучение информационных возможностей спутниковых изображений, пространственное разрешение которых примерно соответствует линейным размерам отдельных структурных частей форм древнего земледелия.

Актуальным остается вопрос количественной оценки спектрально-отражательных, структурных и текстурных признаков древних земледельческих форм, как и проблема их применения для дешифрирования форм древнего земледелия [Rowlands 2006; Lasaponara, 2012]. Под структурными и текстурными показателями мы понимаем характеристики изображений, рассчитываемые в результате пространственных улучшающих преобразований снимков (фильтрация, свертка, морфологические преобразования). Пространственные улучшающие преобразования аэрофотографий и спутниковых изображений могут существенно повысить эффективность дешифрирования небольших объектов, включая объекты археологии [Багаутдинов, 2015].

Вследствие того, что структурные элементы древнего земледелия часто характеризуются относительно небольшими размерами, их изучение требует снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения. При этом при дешифрировании форм древнего земледелия на первое место выходят преимущественно не спектрально-отражательные признаки, а свойства, характеризующие геометрические и пространственные особенности объектов, т.е. свойства структуры и текстуры [Alexakis, 2009].

Цель настоящего исследования заключалась в анализе структурных и текстурных признаков форм древнего земледелия, характерных для территории Западного и Юго-Западного Крыма, и оценке возможности применения признаков текстуры для детектирования и интерпретации древних земледельческих систем. Рабочую гипотезу настоящего исследования можно сформулировать следующим образом: формы древнего земледелия характеризуются уникальными текстурными признаками, которые при определенных условиях могут быть использованы для их выявления и анализа.

Материалы, методика и объекты исследования

Количественный или качественный анализ структурных и текстурных диагностических признаков форм древнего земледелия (в нашем случае характерных для Западного Крыма) на основе спутниковых данных требует их предварительного дешифрирования на материалах дистанционного зондирования Земли либо идентификации на основе ранее проведенных исследований.

Территория Крыма, причем не только прибрежная, но и, как показано в ряде исследований [Смекалова, 2011; Кутайсов, Смекалова, 2013; Смекалова, Волошинов, Гарипов, 2016; Гарбузов, 2015], континентальная, была объектом аграрного освоения на протяжении длительных периодов времени начиная с VI в. до н.э., что делает актуальным поиск древних земледельческих форм и на удалении от береговой линии.

При проведении исследования исходили из того, что в Крыму были различные периоды аграрного освоения, характеризующиеся формированием длительно существующих систем межевания. Из них наиболее ранний относится к позднему бронзовому и раннему железному векам [Смекалова, Кутайсов, 2014], после чего развитие земледельческих систем в значительной степени было связано с античными государствами (Херсонесом, Боспором) и Крымской Скифией, а в более позднее время — с Российской империей. Вследствие продолжительного времени существования систем земледелия и межевания, типичных для каждого этапа аграрного освоения полуострова, на территориях их присутствия могли сформироваться особые структурные характеристики местности, которые могли сохраниться до наших дней и найти отражение на материалах аэрофотографий и спутниковых съемок.

В качестве объекта исследования была выбрана территория, расположенная не небольшом удалении от побережья Черного моря между городами Евпаторией и Севастополем (рис. 1).

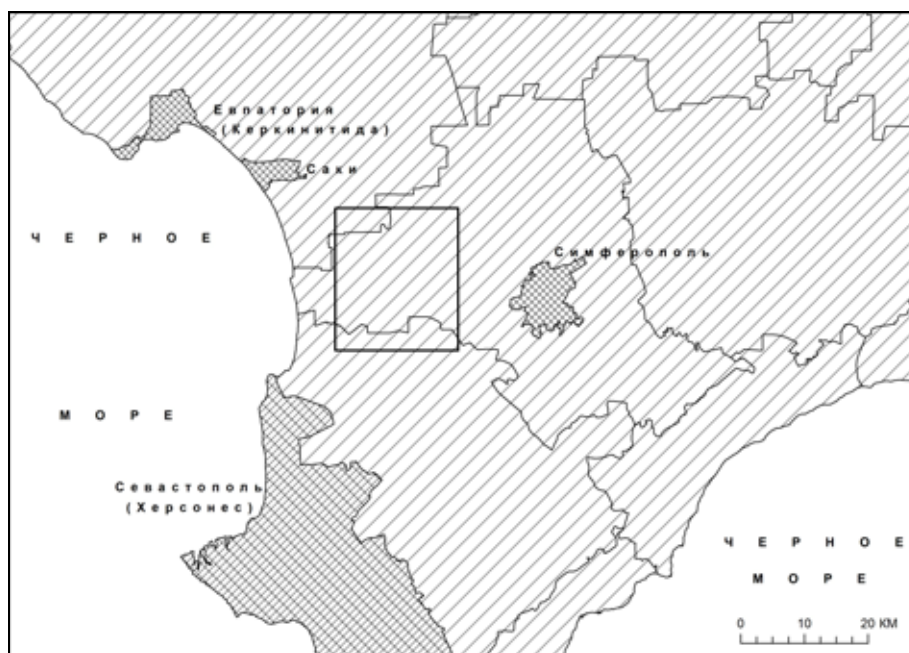


Рис. 1. Местоположение территории исследования в пределах Крыма.

Выбор анализируемой территории обусловлен возможным присутствием на ней следов древнего межевания и наличием разновременных спутниковых данных с пространственным разрешением, позволяющим выявлять системы земледелия и анализировать их структурные особенности. Для надежного анализа пространственных и структурных характеристик земледельческих систем оно должно составлять примерно 1–2 м/пиксель. При этом стоит отметить, что собственно наличие древних земледельческих систем может быть установлено и на основе менее детальных снимков [Agariou, 2015].

Если рассматривать территорию исследования с позиций размещения древнегреческих городов, то она расположена между хорами (системами межевания сельскохозяйственных земель, прилегающих к греческим городам) полисов Керкинитиде и Херсонес, первый из которых относится к территории современного г. Евпатории, а второй — к г. Севастополю. В связи с тем, что текстурные и структурные особенности объектов на аэрофото- или космических снимках определяются в значительной степени пространственными, а не спектрально-отражательными свойствами объектов, признаки текстуры могут быть проанализированы как на многозональных, так и на черно-белых (панхроматических) изображениях, при условии что пространственное разрешение используемых данных будет сопоставимо с геометрическими размерами анализируемых древних земледельческих форм.

Исходными данными для настоящего исследования послужили материалы современных (2010-е гг.) и архивных (1960-е гг.) спутниковых съемок с разрешением около 1 м/пиксель [LPDAAC], материалы веб-сервиса Google «Планета Земля», картографические данные, материалы близких по тематике исследований, связанные с анализом древних земледельческих форм в Крыму и Северном Причерноморье.

Дешифрирование древних земледельческих форм (ДЗФ), проведенное нами на основе данных дистанционного зондирования, было выполнено в соответствии со следующими критериями:

— контуры и расположение ДЗФ в большинстве случаев должны характеризоваться отсутствием согласия с расположением современных возделываемых полей. Например, система древних земледельческих форм может пересекать несколько современных полей без какого-либо согласования контуров с ней;

— для современных контуров сохранившихся ДЗФ, как правило, должно быть характерно отсутствие правильных геометрических форм. Это обусловлено длительным воздействием природных и антропогенных факторов, которые во многих случаях приводят к существенному смещению ДЗФ и искажению их контуров;

Анализ структурных и текстурных признаков форм древнего земледелия и межевания...

— важным критерием достоверного отнесения выявленного объекта к формам древнего земледелия является его четкое выявление и одни и те же геометрические особенности на разновременных спутниковых данных, желательного полученными с максимально большим интервалом времени. В настоящем исследовании интервал между самыми ранними и самыми поздними спутниковыми данными достигал 49 лет (1965–2014 гг.);

— при возможности анализа серии снимков на разные даты вегетационного периода (такие возможности, в частности, предоставляет веб-сервис Google Maps) для дешифрирования ДЗФ наилучшим образом подходят снимки, сделанные в апреле или октябре. В эти сроки, вследствие минимального объема зеленой растительности и высокой увлажненности почвы, формы древнего земледелия могут быть идентифицированы даже на участках древесной растительности, например в системе виноградников.

На основе перечисленных критериев с привлечением материалов археологической карты Крыма нами была проведена оценка исследуемой территории на предмет наличия следов древнего земледелия. В результате сформирована выборка объектов, на основе которой выполнен анализ текстурных признаков ДЗФ.

Ввиду того, что значительная часть территории Крыма, где ранее располагались или могли располагаться формы древнего земледелия, относится к зоне современного аграрного использования, объектом изучения выступали практически исключительно современные сельскохозяйственные угодья (преимущественно пахотные земли). Обусловлено это тем, что древние системы земледелия в большинстве случаев, так же как и современные, располагались на территориях с наиболее плодородными почвами [Lisetskii, 2015].

Если объектом изучения являются посевные площади, то эффективность анализа их спектрально-отражательных или иных свойств, извлекаемых из спутниковых данных, может быть значительно повышена путем исключения из анализа всех непахотных земель, а это достигается применением векторных контуров посевных площадей [Терехин, 2014, 2015]. Указанный прием позволяет более достоверно выявлять внутренние неоднородности внутри анализируемых полей, что особенно важно при дешифрировании форм древнего земледелия, признаки которых на космических снимках могут быть существенно нивелированы вследствие аграрного использования территории в более позднее время. Исходя из того что во многих случаях ДЗФ охватывают современные посевные площади не целиком, а частично, нами предложено дополнительно разбивать векторные контуры посевных площадей сетью квадратных или прямоугольных ячеек, в пределах которых структурные особенности форм древнего земледелия просматриваются достаточно надежно. С нашей точки зрения, этот дополнительный прием дает возможность более эффективно проводить количественный анализ текстурных признаков древних земледельческих форм, так как усреднение значений текстурных признаков производится внутри ячеек, в пределах которых ДЗФ визуальным образом дешифрируются более четко, чем в пределах контуров всей посевной площади.

На следующем этапе для исходных спутниковых снимков с применением программного пакета ERDAS IMAGINE нами рассчитывались различные виды пространственных улучшающих преобразований с получением растровых изображений в виде структурных или текстурных показателей, анализируемый перечень которых был сформирован исходя из предварительного визуального анализа особенностей отображения ДЗФ на спутниковых снимках. Основная идея улучшающих пространственных преобразований состоит в том, что анализ информации снимка производится в пределах скользящего по пространству изображению окна, представляющего собой матрицу, размер которой может составлять 3×3 или более пикселей. При этом в пределах скользящего окна производится пересчет значений пикселей исходного изображения в соответствии с особенностями применяемого математического преобразования. Соответственно те или иные пространственные преобразования теоретически могут улучшить информационные свойства снимков для последующего анализа объектов, интересующих исследователя. К проанализированным нами показателям относятся:

— текстурные статистические фильтры (Texture): среднее, стандартное отклонение, максимум, минимум, дисперсия, асимметрия, эксцесс, среднее евклидово расстояние;

— фильтры-свертки (Convolution): использующие матрицу коэффициентов для пересчета пикселей в зависимости от их окрестности: градиентный фильтр Собеля, фильтр высоких частот, фильтр низких частот, граничные фильтры;

— морфологические фильтры (morphological): локальный минимум (дилатация), локальный максимум (эрозия), раскрытие, свертывание [Шовенгердт, 2010].

Все показатели были рассчитаны методом скользящего окна [Лурье, 2003]. Причем для каждого показателя были получены растровые изображения с применением различных вариантов скользящих окон (3×3, 5×5, 7×7 пикселей).

После расчета растров каждого показателя методами зональной статистики с применением геоинформационной системы ArcGIS 10.1 нами рассчитывались их усредненные значения в пределах ранее сформированной сети ячеек, на которые была разбита территория исследования. В результате получили экспериментальную выборку значений текстурных показателей, соответствующих ячейкам, покрывающих как участки древних земледельческих форм, так и фрагменты всех остальных посевных площадей анализируемой территории. Формирование аналитической выборки позволило с применением пакета STATISTICA 10 статистически оценить степень отличия текстурных признаков древних земледельческих форм от текстурных признаков всех остальных сельскохозяйственных полей или их участков, присутствующих на территории исследования. Методом дисперсионного анализа была проведена оценка эффективности конкретных пространственных улучшающих преобразований для исследования особенностей форм древнего земледелия, располагающихся на месте современных сельскохозяйственных угодий.

Результаты и обсуждение

Совокупность форм древнего земледелия, выявленная нами на территории исследования на основе описанных в предыдущем разделе критериев, характеризуется выраженными признаками на снимках разных лет (рис. 2).



Рис. 2. Формы древнего земледелия на спутниковых снимках сверхвысокого пространственного разрешения, полученных с интервалом 50 лет:
1 — контуры древних земледельческих форм.

На текущий момент достоверно определить период, к которому относятся обнаруженные древние земледельческие формы, проблематично; возможно, для этого потребуются геофизические исследования местности. В то же время необходимо отметить, что в южной части территории исследования ранее [Колтухов, 1992] обнаружены следы древнегреческого городища. Также следует отметить, что внешние диагностические признаки всех выявленных объектов во многом близки с признаками древних систем межевания, идентифицированных в других рай-

Анализ структурных и текстурных признаков форм древнего земледелия и межевания...

онах Крыма и на Таманском полуострове [Гарбузов, 2009; Смекалова, 2015] и относящихся, в частности, к эпохе древнегреческих полисов.

На изображении 1965 г. четко видно несоответствие ДЗФ современной системе земледелия, что является, на наш взгляд, одним из диагностических признаков ранее существующих земледельческих систем. На снимке 2014 г. контуры древних земледельческих форм выглядят менее четко, чем на изображении 1965 г., что может быть обусловлено последующим 50-летним периодом активного аграрного использования территории, характерного для второй половины XX в. С другой стороны, меньшая четкость ДЗФ на снимке 2014 г., возможно, объясняется датой получения снимка. Снимок 1965 г. сделан 4 октября, а снимок 2014 г. — 5 июля. При этом нами установлено, что снимки апреля или октября оптимальны для выявления ДЗФ, так как в это время они не закрыты растительностью или стерней, что может иметь место в позднелетний и летний периоды. Выявленная совокупность объектов позволила провести статистическую оценку их текстурных показателей и понять, насколько они отличаются от аналогичных признаков остальных угодий.

Анализ результатов улучшающих преобразований исходных снимков показал, что некоторые виды преобразований на качественном и количественном уровне могут быть полезны при выявлении древних земледельческих форм (рис. 3).

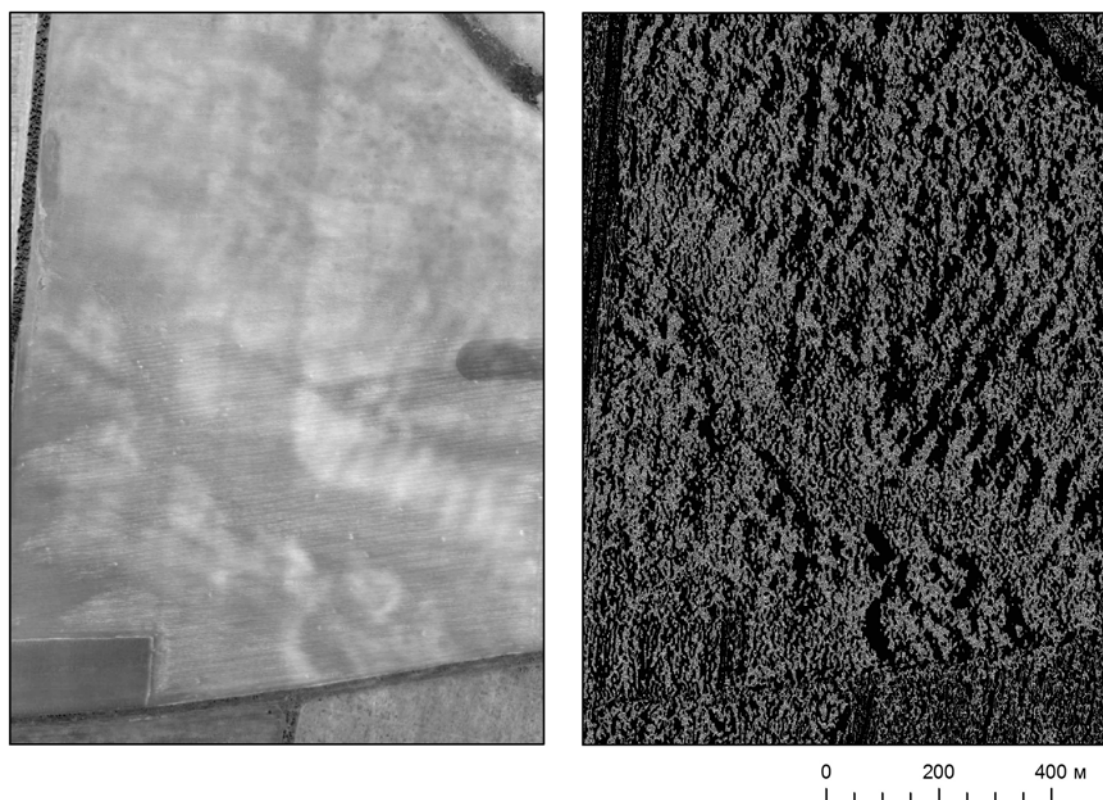


Рис. 3. Результат преобразования исходного снимка (левое изображение) с применением фильтра Собеля (правое изображение) в дискретных цветах.

На правом изображении рис. 3 направление (с северо-востока на юго-запад) и контуры древних земледельческих форм видны четче.

Установлено влияние размеров скользящих окон, используемых при пересчете исходных изображений, на эффективность вычисления текстурных признаков древних земледельческих форм (табл.).

Несмотря на то, что статистический анализ выявил ряд показателей, по которым участки древних земледельческих форм в наибольшей степени отличаются от остальных угодий, итоговый вывод об эффективности конкретного пространственного преобразования принимался на

основе как статистического анализа, так и визуальной оценки изображений, полученных в результате применения конкретных типов преобразований. Обусловлено это влиянием ряда факторов, которые, на наш взгляд, могут оказать существенное воздействие на эффективность количественного анализа текстурных признаков. К таким факторам относятся:

- период года, в который получен снимок;
- размер ячейки, в которой происходит усреднение того или иного структурного или текстурного показателя;
- геометрические особенности самих древних земледельческих форм, полноценный учет которых при количественном анализе проблематичен.

Степень статистического различия текстурных признаков древних земледельческих форм с текстурными признаками остальных аграрных угодий*

| Показатель-фильтр | Размер скользящего окна | F | A | Показатель-фильтр | Размер скользящего окна | F | A |
|-------------------|-------------------------|------|---|-------------------|-------------------------|------|---|
| Среднее | 3×3 | 5,04 | 1 | Экссесс | 3×3 | 0,02 | 0 |
| Среднее | 5×5 | 5,06 | 1 | Экссесс | 5×5 | 0,00 | 0 |
| Среднее | 7×7 | 5,07 | 1 | Экссесс | 7×7 | 0,00 | 0 |
| Максимум | 3×3 | 3,47 | 0 | Асимметрия | 3×3 | 2,83 | 0 |
| Максимум | 5×5 | 2,85 | 0 | Асимметрия | 5×5 | 1,46 | 0 |
| Максимум | 7×7 | 2,48 | 0 | Асимметрия | 7×7 | 1,28 | 0 |
| Минимум | 3×3 | 6,82 | 1 | Дисперсия | 3×3 | 3,08 | 0 |
| Минимум | 5×5 | 7,81 | 1 | Дисперсия | 5×5 | 3,34 | 0 |
| Минимум | 7×7 | 8,46 | 1 | Дисперсия | 7×7 | 4,63 | 1 |
| Ст. отклонение | 3×3 | 4,14 | 1 | Свертывание | 3×3 | 4,33 | 1 |
| Ст. отклонение | 5×5 | 4,46 | 1 | Свертывание | 5×5 | 3,81 | 0 |
| Ст. отклонение | 7×7 | 4,58 | 1 | Свертывание | 7×7 | 3,40 | 0 |
| Медиана | 3×3 | 5,04 | 1 | Дилатация | 3×3 | 6,82 | 1 |
| Медиана | 5×5 | 5,04 | 1 | Дилатация | 5×5 | 2,85 | 0 |
| Медиана | 7×7 | 5,06 | 1 | Дилатация | 7×7 | 2,48 | 0 |
| Собея 1 | 3×3 | 1,43 | 0 | Эрозия | 3×3 | 6,82 | 1 |
| Собея 1 | 5×5 | 1,48 | 0 | Эрозия | 5×5 | 7,81 | 1 |
| Собея 1 | 7×7 | 0,77 | 0 | Эрозия | 7×7 | 8,46 | 1 |
| Собея 2 | 3×3 | 3,68 | 0 | Раскрытие | 3×3 | 5,74 | 1 |
| Собея 2 | 5×5 | 6,20 | 1 | Раскрытие | 5×5 | 6,39 | 1 |
| Собея 2 | 7×7 | 3,94 | 1 | Раскрытие | 7×7 | 7,04 | 1 |

*F — критерий Фишера; A — достоверность отличия: 1 — достоверное отличие, 0 — отсутствие достоверного отличия; уровень значимости — 0,05.

Тем не менее проведенная количественная оценка структурных и текстурных признаков древних земледельческих форм позволила отобрать ряд показателей, которые могут быть применены при поиске и детектировании форм древнего земледелия в пределах контуров современных сельскохозяйственных угодий. В частности, к таким показателям относятся фильтр Собея, фильтр средних и минимальных значений.

Заключение

Исследование, выполненное на основе высокодетальных спутниковых снимков, позволило получить представление о текстурных и структурных признаках форм древнего земледелия, типичных для территории Западного Крыма. Для анализа текстурных показателей древних земледельческих форм предложен новый подход, основанный на оценке показателей структуры и текстуры в ячейках квадратной или прямоугольной сети. На такие ячейки разбиваются векторные контуры угодий, в пределах которых производится поиск или анализ древних земледельческих форм. Установлено, что на эффективность пространственных улучшающих преобразований влияет размер скользящего окна, в пределах которого происходит пересчет значений исходного снимка. Статистический анализ текстурных признаков форм древнего земледелия позволил выявить показатели, по которым древние земледельческие формы в наибольшей степени отличаются от остальных угодий. В то же время установлено, что итоговое решение об эффективности пространственных улучшающих преобразований должно приниматься на основе совместного анализа результатов количественной оценки текстурных признаков и на основе особенностей отображения древних земледельческих форм на картограммах текстурных пока-

зателей. Обусловлено это тем, что количественная оценка текстурных показателей зависит от многих факторов, учет ряда которых проблематичен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Багаутдинов Р.С., Копенков В.Н., Сергеев В.В., Мышкин В.Н., Трибунский С.А.* Исследование возможности использования космических снимков для выявления археологических объектов // Компьютерная оптика. 2015. Т. 39, № 3. С. 439–444.
- Гарбузов Г.П.* Районирование античных агроландшафтов Таманского полуострова // Древности Боспора. 2009. Т. 13. С. 123–140.
- Гарбузов Г.П.* Влияние плодородия почв на пространственное распределение античных поселений европейского Боспора // Проблемы истории, филологии, культуры. 2015. № 1 (47). С. 344–353.
- Колтухов С.Г., Зубарь В.М., Мыц В.Л.* Новый район хоры Херсонеса эллинистического периода // Археология. 1992. № 2. С. 85–94.
- Кутайсов В.А., Смекалова Т.Н.* Ортли. Античные усадьба и виноградник на дальней хоре Херсонеса. Симферополь, 2013. С. 136–240. (Материалы к археологической карте Крыма; Вып. XI, ч. 2).
- Лурье И.К., Косиков А.Г.* Теория и практика цифровой обработки изображений. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Науч. мир, 2003. 168 с.
- Смекалова Т.Н.* Система расселения, коммуникаций и сигнализации в античное время в Северо-западном Крыму // Боспорский феномен: Население, языки, контакты: Материалы междунар. науч. конф. СПб., 2011. С. 362–367.
- Смекалова Т.Н., Волошинов А.А., Гарипов А.С.* Дистанционные и геофизические методы в изучении системы расселения, пространственной структуры и хозяйственных типов позднекифских поселений Юго-Западного Крыма // Stratum plus. 2016. № 4. С. 269–298.
- Смекалова Т.Н., Кутайсов В.А.* Пастухи и земледельцы раннего железного века в северо-западном Крыму. Симферополь, 2013. 336 с. (Материалы к археологической карте Крыма; Т. VIII, ч. 2)
- Смекалова Т.Н., Кутайсов В.А.* Два новых античных виноградника в северо-западном Крыму // ВДИ. 2014. № 2. С. 54–78.
- Смекалова Т.Н., Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А., Чудин А.В., Гарипов А.С.* Изучение пространственной организации древнего землепользования в северо-западном Крыму геоархеологическими методами // Вестн. археологии, антропологии и этнографии. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2015. № 1 (28). С. 150–160.
- Смекалова Т.Н., Смекалов С.Л.* Системы дорог и клеров городов европейского Боспора по данным аэрофотосъемки, картографии и наземных разведок // Археол. вести. 2006. № 13. С. 204–225.
- Терехин Э.А.* Методические основы оценки площади чистых паров на основе данных дистанционного зондирования // Науч. ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2014. Т. 26, № 3 (174). С. 148–156.
- Терехин Э.А.* Сезонная динамика NDVI многолетних трав и ее использование для типизации их посевов на территории Белгородской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12, № 1. С. 9–17.
- Тункина И.В.* Русская наука о классических древностях Юга России (XVIII — середина XIX в.). СПб.: Наука, 2002. 676 с.
- Шовенгердт Р.А.* Дистанционное зондирование: Методы и модели обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 560 с.
- Agapiou A., Alexakis D., Sarris A., Hadjimitsis D.* Linear 3-D transformations of Landsat 5 TM satellite images for the enhancement of archaeological signatures during the phenological cycle of crops // Intern. Journ. of Remote Sensing. 2015. Vol. 36, № 1. P. 20–35.
- Alexakis A., Sarris A., Astaras T., Albanakis K.* Detection of Neolithic settlements in Thessaly (Greece) through multispectral and hyperspectral satellite imagery // Sensors. 2009. № 9. P. 1167–1187.
- Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)* [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://lpdaac.usgs.gov>.
- Lasaponara R., Masini N., Holmgren R., Forsberg YB.* Integration of aerial and satellite remote sensing for archaeological investigations: A case study of the Etruscan site of San Giovenale // Journ. of Geophysics and Engineering. 2012. № 9. P. 26–39.
- Lisetskii F., Stolba V.F., Marinina O.* Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea // Geoderma. 2015. Vol. 239–240. P. 304–316.
- Rowlands A., Sarris A.* Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi — sensor remote sensing // Journ. of Archaeol. Science. 2006. № 34. P. 795–803.

ANALYSIS OF STRUCTURAL AND TEXTURAL FEATURES OF FORMS OF ANCIENT FARMING AND LAND SURVEY, TYPICAL OF THE TERRITORY OF WESTERN CRIMEA BASED ON REMOTE SENSING DATA

On the basis of multi-temporal remote sensing data received with an interval of 50 years, a study of ancient forms of farming in the territory of Western Crimea was carried out. The results of quantitative assessment of structural and textural features of ancient farming forms, typical of Western Crimea, are presented. A method of estimating textural features of ancient farming forms, which are located at the site of today's agricultural land is suggested. The method is based on calculating the parameters of texture within the contours of modern farmland, split into cells of a size which let us visually analyze the spatial features of the ancient forms of agriculture. A possibility of spatial transformation of images in order to identify and quantify ancient agricultural forms, which are located in the place of today's agricultural lands, is shown. It was found that the efficiency of the same spatial transformation of satellite images depends on a number of adjustable parameters, which are determined by the geometric features of the analyzed forms of archaeological objects.

Key words: Ancient arable farming, Geoarchaeology, remote sensing, GIS mapping, GIS technology, Western Crimea.

DOI: 10.20874/2071-0437-2016-35-4-170-179

REFERENCES

Agapiou A., Alexakis D., Sarris A., Hadjimitsis D., 2015. Linear 3-D transformations of Landsat 5 TM satellite images for the enhancement of archaeological signatures during the phenological cycle of crops. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 36, no. 1. pp. 20–35.

Alexakis A., Sarris A., Astaras T., Albanakis K., 2009. Detection of Neolithic settlements in Thessaly (Greece) through multispectral and hyperspectral satellite imagery. *Sensors*, no. 9, pp. 1167–1187.

Bagautdinov R.S., Kopenkov V.N., Sergeev V.V., Myshkin V.N., Tribunskii S.A., 2015. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniia kosmicheskikh snimkov dlia vyiavleniia arkheologicheskikh ob"ektov [Study of the applicability of satellite imagery for detection of archeological objects]. *Komp'yuternaia optika*, vol. 39, no. 3, pp. 439–444.

Garbuzov G.P., 2009. Raionirovanie antichnykh agrolandshaftov Tamanskogo poluostrova [Zoning of ancient agricultural landscapes of the Taman peninsula]. *Drevnosti Bospora*, vol. 13, pp. 123–140.

Garbuzov G.P., 2015. Vliianie plodorodiia pochv na prostranstvennoe raspredelenie antichnykh poselenii evropeiskogo Bospora [Influence of soil fertility on the spatial distribution of ancient settlements of the European Bosphorus]. *Problemy istorii, filologii, kul'tury*, no. 1 (47), pp. 344–353.

Koltukhov S.G., Zubar' V.M., Myts V.L. 1992. Novyi raion khory Khersonesa ellinisticheskogo perioda [A new area of the Chersonese chora of Hellenistic period]. *Arkheologija*, no. 2, pp. 85–94.

Kutaisov V.A., Smekalova T.N., 2013. *Ortli. Antichnye usad'ba i vinogradnik na dal'nei khore Khersonesa* [Ortles. Ancient farmstead and vineyard at a distant Chersonese chora], Simferopol', pp. 136–240. (Materialy k arkheologicheskoi karte Kryma; XI, ch. 2).

Lasaponara R., Masini N., Holmgren R., Forsberg YB., 2012. Integration of aerial and satellite remote sensing for archaeological investigations: A case study of the Etruscan site of San Giovenale. *Journal of Geophysics and Engineering*, no. 9, pp. 26–39.

Lisetskii F., Stolba V.F., Marinina O., 2015. Indicators of agricultural soil genesis under varying conditions of land use, Steppe Crimea. *Geoderma*, vol. 239–240, pp. 304–316.

Lur'e I.K., Kosikov A.G., 2003. *Teoriia i praktika tsifrovoi obrabotki izobrazhenii. Distantionnoe zondirovanie i geograficheskie informatsionnye sistemy* [Theory and practice of digital image processing. Remote sensing and geographic information systems], Moscow: Nauchnyi mir, 168 p.

Rowlands A., Sarris A., 2006. Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi — sensor remote sensing. *Journal of Archaeological Science*, no. 34, pp. 795–803.

Shovengerdt R.A., 2010. *Distantionnoe zondirovanie: Metody i modeli obrabotki izobrazhenii* [Remote sensing: Methods and models of image processing], Moscow: Tekhnosfera, 560 p.

Smekalova T.N., 2011. Sistema rasseleniia, kommunikatsii i signalizatsii v antichnoe vremia v Severo-zapadnom Krymu [A system of settlement, communication and alarm in ancient times in the North-Western Crimea]. *Bosporskii fenomen: Naselenie, iazyki, kontakty: Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, St. Petersburg, pp. 362–367.

Анализ структурных и текстурных признаков форм древнего земледелия и межевания...

Smekalova T.N., Kutaisov V.A., 2013. *Pastukhi i zemledel'tsy rannego zheleznogo veka v severo-zapadnom Krymu* [The Early Iron Age shepherds and farmers in the North-Western Crimea], Simferopol', 336 p. (Materialy k arkheologicheskoi karte Kryma; vol. VIII).

Smekalova T.N., Kutaisov V.A., 2014. Dva novykh antichnykh vinogradnika v severo-zapadnom Krymu [Two new ancient vineyards in the North-Western Crimea]. *Vestnik drevnei istorii*, no. 2, pp. 54–78.

Smekalova T.N., Lisetskii F.N., Marinina O.A., Chudin A.V., Garipov A.S., 2015. Izuchenie prostranstvennoi organizatsii drevnego zemlepol'zovaniia v severo-zapadnom Krymu geoarkheologicheskimi metodami [Study of the spatial organization of the ancient land in the North-Western Crimea with geo-archaeological methods]. *Vestnik arkheologii, antropologii i etnografii*, no. (28), pp. 150–160.

Smekalova T.N., Smekalov S.L., 2006. Sistemy dorog i klerov gorodov evropeiskogo Bospora po dannym aerofotos'emki, kartografii i nazemnykh razvedok [System of roads and strips in the cities of the European Bosphorus according to aerial photography, mapping and ground reconnaissance]. *Arkheologicheskie vesti*, no. 13, pp. 204–225.

Smekalova T.N., Voloshinov A.A., Garipov A.S., 2016. Distantsionnye i geofizicheskie metody v izuchenii sistemy rasseleniia, prostranstvennoi struktury i khoziaistvennykh tipov pozdneskifskikh poselenii lugo-Zapadnogo Kryma [Remote and geophysical methods in the study of a system of resettlement, spatial structure and economic types of late Scythian settlements of the South-Western Crimea]. *Stratum plus*, no. 4, pp. 269–298.

Terekhin E.A., 2014. Metodicheskie osnovy otsenki ploshchadi chistykh parov na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniia [Methodical bases for an estimation of complete fallow area, based on remote sensing data]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*, Seriya Estestvennye nauki, vol. 26, no. 3 (174), pp. 148–156.

Terekhin E.A., 2015. Sezonnaia dinamika NDVI mnogoletnikh trav i ee ispol'zovanie dlia tipizatsii ikh posevov na territorii Belgorodskoi oblasti [NDVI seasonal dynamics of perennial grasses and its use for classification of their crops in Belgorod Region]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniia Zemli iz kosmosa*, vol. 12, no. 1. pp. 9–17.

Tunkina I.V., 2002. Russkaia nauka o klassicheskikh drevnostiakh luga Rossii (XVIII — seredina XIX) [Russian science on classical antiquities of Southern Russia], St. Petersburg: Nauka, 676 p.