



УДК 528.88

АНАЛИЗ АГРАРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КРЫМА НА ПРОТЯЖЕНИИ ПОСЛЕДНИХ ЧЕТЫРЕХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ СПУТНИКОВЫХ СЪЕМОК**ANALYSIS OF THE AGRICULTURAL MANAGEMENT OF NORTH-WEST CRIMEA TERRITORY OVER THE PAST FOUR DECADES BASED ON REMOTE SENSING DATA****Э.А. Терехин¹, Т.Н. Смекалова²
E.A. Terekhin¹, T.N. Smekalova²**¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85² Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, просп. Академика Вернадского, 4¹ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St, Belgorod, Russia, 308015² V.I. Vernadsky Crimean Federal University, 4 Vernadskogo St, Simferopol, 295007, Republic of Crimea, Russia

E-mail: terekhin@bsu.edu.ru; tsmek@mail.ru

Аннотация. Применение данных дистанционного зондирования является одним из эффективных инструментов при оценке истории землепользования. Цель работы заключалась в анализе аграрного использования территории Северо-западного Крыма за 40-летний период, начиная со второй половины 1970-х гг. по настоящее время. Исследование выполнено на основе серии мультиспектральных спутниковых снимков серии Landsat и более детальных спутниковых данных. Оценка проведена с точностью до отдельных обрабатываемых полей. Установлено, что на протяжении всего анализируемого периода степень агрогенной нагрузки существенно не изменилась. Обрабатываемые площади были распространены на всех территориях, где это позволяли геоморфологические условия. В то же время, с начала 1990-х гг. наблюдается тенденция к незначительному снижению общей площади распаханых земель. С применением геоинформационных методов подготовлена картограмма плотности распространения распаханых земель, позволяющая оценить их территориальные особенности и выявить ареалы, на которых отсутствовали следы аграрного использования.

Resumé. The use of remote sensing data is one of the effective tools in the assessment of land use history. The purpose of the research is analysis of the agricultural management of North-Western Crimea territory for a 40-year period, starting from the second half of the 1970s until nowadays. The study was performed on the basis of Landsat multispectral satellite images series. The study was performed at the level of specific cultivated fields. It was found that throughout the analyzed period, the degree of agricultural influence has not changed significantly. Cultivated areas have been extended to all areas where it is allowed by geomorphological conditions. Since the beginning of the 1990s there is a tendency to a slight decrease in the total area of cultivated land. With the use of geo-information techniques there has been prepared a cartogram of the density of farmland spread. It is possible to assess their territorial characteristics and identify the areas, where there were no traces of agricultural use.

Ключевые слова: история землепользования, Северо-западный Крым, дистанционное зондирование, геоинформационное картографирование, Landsat.

Key words: land use history, the North-Western Crimea, remote sensing, GIS-mapping, Landsat.

Введение

Территория Крыма характеризуется длительной историей аграрного освоения. Начиная с VIII в. до н. э., в различных его частях идет процесс формирования земледельческих систем [Рыбаков, 1984], продолжающийся с длительными перерывами более двух тысячелетий. Он протекает и в настоящее время. Территория западного Крыма, включая полуостров Тарханкут, в XX в., особенно во второй его половине, возможно, характеризовалась наиболее интенсивным аграрным использованием за



всю его историю [Lisetskii, 2015]. В послевоенные годы процесс освоения целинных и залежных земель, затронул весь Крымский полуостров. На месте древних систем земледелия появились современные сельскохозяйственные угодья, значительную долю из которых занимают пашни.

В связи этим исследование истории аграрного использования становится актуальным, т. к. с одной стороны позволит оценить масштабы антропогенного воздействия на ландшафты Крыма, а с другой стороны, выявление ареалов в большей или меньшей степени используемых земель, позволит понять, насколько существенно подверглись современному аграрному воздействию участки, на которых обнаружены древние земледельческие системы. Эти системы были зафиксированы как в прибрежной, так и в континентальной части полуострова [Смекалова, 2011; Смекалова, 2013; Смекалова, Кутайсов, 2013].

Последующие периоды аграрного использования территории стирают, либо существенно нивелируют следы предыдущего использования земель. Но это происходит далеко не всегда: следы более ранних земледельческих систем (особенно если они существовали длительное время) могут быть идентифицированы на материалах аэрофото- или космических съемок [Смекалова, 2015]. В то же время длительная аграрная обработка снижает вероятность выявления древних земледельческих систем, в связи с чем, интерес представляет поиск территорий, в наименьшей степени, подвергнувшихся аграрному использованию. Изучение этой проблемы позволит с одной стороны оценить основные тенденции развития земледелия на протяжении последних нескольких десятилетий, а с другой стороны – выявить территории, на которых с наибольшей вероятностью могли сохраниться участки древних земледельческих систем, что представляет интерес для исторического анализа систем земледелия в Крыму.

Данные дистанционного зондирования выступают одним из наиболее эффективных инструментов при оценке землепользования [Ганзей, 2007], в том числе, за длительные периоды времени [Скачкова, 2013; Украинский, 2014; Бури, 2015]. Применение сезонных и многолетних рядов спутниковых данных позволяет восстановить историю землепользования до уровня отдельных обрабатываемых полей [Prishchepov, 2012; Dutrieux, 2016], выявлять тенденции в использовании земель [Sieber, 2013] за несколько десятилетий.

Цель исследования заключалась в оценке особенностей аграрного использования территории западного Крыма на основе материалов спутниковой съемки высокого пространственного разрешения. Основная задача исследования состояла в изучении площади обрабатываемых земель, динамики их количества и территориальных особенностей. В исследовании предстояло выявить в большей или меньшей степени используемые под пашню угодья и оценить тенденции аграрного использования территории северо-западного Крыма на протяжении последних 40 лет, начиная с середины 1970-х гг.

Материалы, объекты и методы исследования

Для достижения цели исследования было принципиально важно выяснить, пахалось ли конкретное поле в анализируемый год или нет. Исследование особенностей землепользования на протяжении 40 лет требовало подборки и анализа временного ряда данных дистанционного зондирования. В настоящем исследовании оценка особенностей аграрного использования была выполнена на основе серии разновременных спутниковых данных Landsat TM, ETM+, OLI с пространственным разрешением 15–30 м/пиксель, полученных в период 1983–2015 годов и снимков Landsat MSS более низкого разрешения (80 м), охватывающих период с середины 1970-х по начало 1980-х гг. (табл. 1). Снимки соответствующего разрешения позволяют анализировать состояние растительного и почвенного покрова для конкретных участков землепользования или обрабатываемых полей. Местоположение снимков Landsat на земной поверхности определяется номером ячейки в системах WRS-1 (для Landsat 1-3) и WRS-2 (для Landsat 4-8).



Таблица 1

Спутниковые снимки, использованные в исследовании

Table 1

Satellite images used in this research

Ячейка в системе WRS-1/WRS-2	Спутник-сенсор	Дата
192028	Landsat MSS	16.06.1975
192028	Landsat MSS	30.04.1977
192028	Landsat MSS	15.05.1981
178028	Landsat MSS	19.05.1983
178028	Landsat TM	27.04.1984
178028	Landsat TM	19.05.1986
178028	Landsat TM	01.06.1988
178028	Landsat TM	18.08.1990
178028	Landsat TM	01.07.1990
178028	Landsat ETM+	21.08.2000
178028	Landsat ETM+	10.05.2003
178028	Landsat TM	06.06.2010
178028	Landsat OLI	27.04.2013
178028	Landsat OLI	19.05.2015

Для достоверного определения типа землепользования (распахивалось поле или нет) конкретных посевных площадей на текущий год в идеальном варианте необходима серия спутниковых снимков за сезон. Однако для географических условий Крыма, характеризующихся значительным процентом облачных дней на протяжении года, выполнение этого условия проблематично. В то же время, одиночные снимки Landsat, полученные в одну из дат вегетационного сезона, по ряду диагностических признаков позволяют сделать вывод об особенностях использования участка землепользования на анализируемый год.

По причине того, что космические снимки Landsat MSS, которые были применены для анализа землепользования в период 1975–1983 гг., имеют менее детальное пространственное разрешение и меньшее число каналов, чем снимки Landsat, полученные другими сенсорами, для повышения эффективности анализа с применением программы ERDAS IMAGINE они были синтезированы в цвета, близкие к естественным.

Территория исследования охватывала северо-западную часть Крыма, административно соответствующую Черноморскому району.

Ключевыми диагностическими признаками того, пахалось поле в анализируемый год или нет, являлись существенные отличия спектрально-отражательных свойств его растительного или почвенного покрова от достоверно необрабатываемых земель. При этом следует отметить, что наиболее надежным признаком аграрного использования поля в текущем году выступало наличие признаков оголенной почвы с полным отсутствием растительности в некоторые сроки.

Эффективность применения спутниковых данных может быть повышена, если удастся подобрать снимок на период максимальных контрастных отличий (связанных с состоянием почвенного покрова и растительности) обрабатываемых площадей от остальных территорий. Анализ серий спутниковых снимков, подобранных нами за вегетационные периоды разных лет, позволил установить, что таким временем является период с конца апреля до начала июня, либо период за сентябрь.

Для эффективного анализа спектрально-отражательных характеристик конкретных посевных площадей, их растительного и почвенного покрова, в исследовании был применен векторный слой обрабатываемых полей, отредактированный с учетом анализа разновременных спутниковых изображений и на основе современных снимков сверхвысокого пространственного разрешения. Применение этого слоя позволило с высокой точностью определить площадь обрабатываемых полей и повысить эффек-



тивность их дешифрирования на снимках в отдельные годы. Особенно это относится к данным Landsat MSS, (разрешение которых было ниже, чем у Landsat TM).

С применением методов геоинформационного анализа были проанализированы спектрально-отражательные признаки для каждой исследуемой обрабатываемой площади, что позволило, впоследствии получить объективное представление о состоянии растительного или почвенного покрова на конкретный год.

Для оценки состояния почвенно-растительного покрова и определения типа землепользования нами были, использованы комбинации различных диапазонов спектра, информативных для анализа растительного покрова: среднего инфракрасного, красного (2.09–2.35 мкм, 1.55–1.75 мкм, 0.63–0.69 мкм) и ближнего инфракрасного, красного и зеленого (0.75–0.90 мкм, 0.63–0.69 мкм, 0.52–0.60 мкм).

Для создания картограмм обрабатываемых полей снимки были детально проанализированы на отдельные годы. Для обеспечения автоматизации некоторых процедур были задействованы методы классификации спектральной яркости объектов на спутниковых снимках.

Результаты и их обсуждение

Особенности аграрного использования территории Северо-западного Крыма в наше время во многом определяются его географическими и, в значительной степени, геоморфологическими условиями; по всей видимости, так было и в предыдущие исторические периоды освоения Крыма. Значительная часть анализируемой территории представляет собой возвышенность в виде холмистой равнины, расчлененной балками, оврагами и сухоречьями.

На основе спутниковых данных нами было установлено, что территориальная структура аграрных угодий северно-западного Крыма с середины 1970-х гг. существенных изменений не претерпела, т. е. подавляющее большинство современных угодий находились в стадии ежегодной обработки длительное время.

Особенностью территориальной структуры пахотных земель является то, что обрабатываемые площади протянулись с запада на восток тремя полосами, соединяющимися в восточной части полуострова Тарханкут. Южная полоса обрабатываемых земель, шириной около 3 км, выражена сильнее и протянулись вдоль берега Черного моря и озера Донузлав. Северная полоса угодий выражена менее значительно. Северная, центральная и южная полосы обрабатываемых угодий разделены между собой склонами Тарханкутской возвышенности, на которых также фрагментарно присутствуют обрабатываемые поля, но их число в период 1990-2000 гг. существенно сократилось.

Для объективной оценки особенностей распространения пахотных земель в Северо-западном Крыму в геоинформационной среде ArcGIS нами была подготовлена картограмма плотности их расположения (рис.).

Она была создана на базе векторного файла контуров пахотных земель (подготовленного на основе спутниковых данных) и с применением методов геоинформационного анализа (оверлейные операции, ординарный кригинг). Для создания картограммы предложен прием, заключающийся в разбиении всей анализируемой территории на сеть ячеек квадратной формы со стороной 1 км, с последующим вычислением степени распаханности в каждой из ячеек и интерполированием полученных значений. Для наглядного представления о максимальном территориальном распространении распаханых земель за анализируемый интервал времени, их картограмма была подготовлена на период, характеризующийся максимальной площадью распашки (1980-е гг.).

По причине того, что к первой половине 2010-х гг. площадь пашни существенно не снизилась, картограмма дает представление об особенностях аграрного использования территории северно-западного Крыма и в настоящее время.

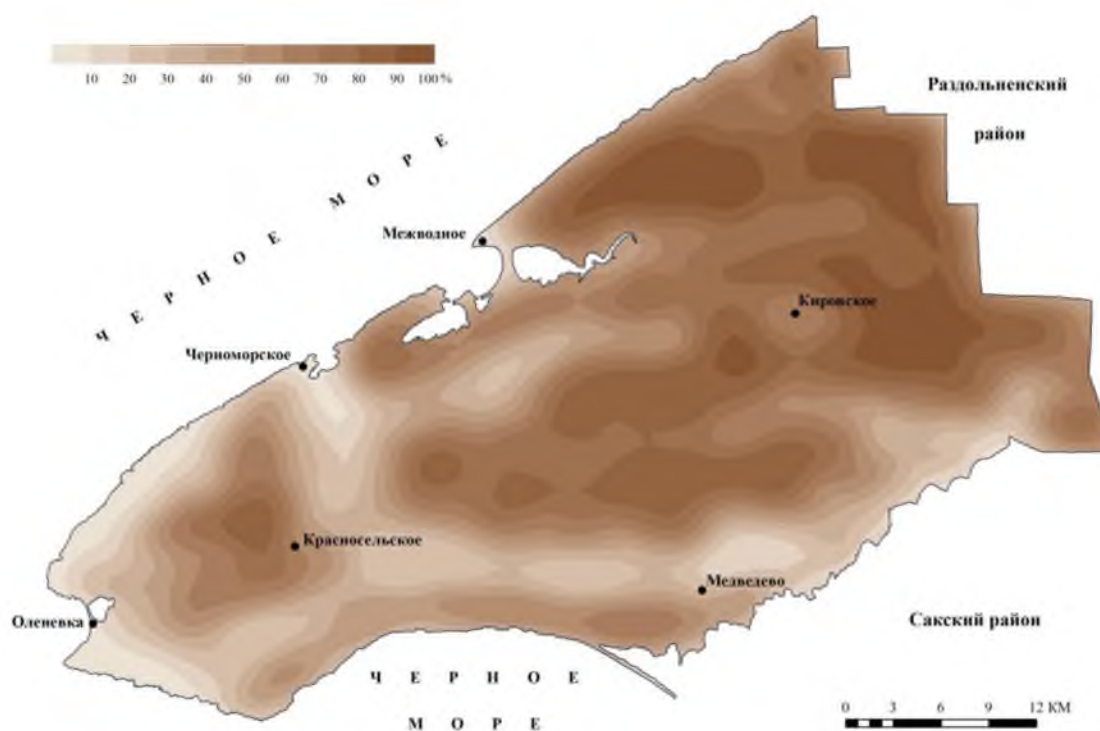


Рис. Картограмма плотности распаханых земель (% от общей площади) в Северо-западном Крыму по состоянию на середину 1980-х гг.

Fig. Cartogram of density of cultivated agricultural territory (% at total area) of the North-Western Crimea as of mid-1980

С применением полученной картограммы и файла контуров распаханых земель были выявлены территории, на которых отсутствовали следы аграрного использования за весь анализируемый период времени. Эти участки приурочены к западному побережью полуострова Тарханкут, а также к северному и южному склону Тарханкутской возвышенности.

На основе анализа серии из 15 спутниковых снимков установлено, что с начала 1990-х гг. наблюдалась определенная тенденция к сокращению общей площади пахотных земель при ее небольших межгодовых колебаниях (табл. 2). Но это сокращение оказалось незначительным. В период максимальной степени распаханности, который, как установлено, приходился на конец 1970-х – 1980-е гг., общая площадь обрабатываемых земель составила 89899 га, т. е. 61.2% от территории Черноморского района. Эта величина примерно выше средней распаханности полуострова, составляющей 48.5% [Осенний, 2013] и примерно соответствует степени распаханности территории Центрального Черноземья.

Оценка площади обрабатываемых земель была выполнена с точностью до одного возделываемого поля на каждый анализируемый временной срез. При расчете доли пахотных земель учитывалась территория Черноморского района без площади озер Донузлав, Лиман, Панское, Джарылгач.

Сокращение площади пахотных земель произошло за счет их перевода в залежи, расширения площади населенных пунктов и появления объектов промышленности (включая, карьеры, разработки полезных ископаемых). Оценка показала, что в наибольшей степени снижение доли распаханых полей произошло в западной части полуострова Тарханкут и, в определенной степени, в юго-восточной. При этом в восточной части полуострова, площадь пахотных земель за весь анализируемый период оставалась наиболее стабильной.



Таблица 2

Динамика площади и количества обрабатываемых полей в северо-западном Крыму

Table 2

Dynamics of the area and amount of cultivated fields in the north-western Crimea

Год	Площадь пашни, га	Количество обрабатываемых полей	Доля пахотных земель, %
1977	89971.8	1328	61.3
1981	89861.6	1325	61.2
1983	89738.5	1324	61.1
1986	89687.6	1318	61.1
1988	89748.4	1319	61.1
1990	89949.4	1326	61.2
2000	88952.7	1273	60.6
2003	89203.3	1296	60.7
2010	85980.2	1172	58.5
2013	87235.1	1224	59.4

Заключение

В период с середины 1970-х по настоящее время территория Северо-западного Крыма характеризовалась относительно стабильной по площади аграрной нагрузкой. Общая доля пахотных земель с 1977 г. по 2013 г. снизилась с 61.3% до 59.4%, но остается достаточно высокой. Снижение площади пахотных земель произошло не только за счет перевода обрабатываемых площадей (расположенных, преимущественно, на труднообрабатываемых территориях) в залежь, но и появления на месте сельскохозяйственных угодий населенных пунктов (например, рост территории поселка Черноморское), объектов промышленности. К участкам, выведенным из севооборота, преимущественно относятся бывшие пахотные угодья, располагающиеся среди сети оврагов и балок, протянувшейся по северному и южному склону Тарханкутской возвышенности. В процессе исследования географически определены территории, ни разу не входившие в структуру обрабатываемых земель за весь анализируемый период. Преимущественно они расположены вдоль побережья западной окраины полуострова Тарханкут и протянулись полосой по южному склону Южно-тарханкутского увала.

Благодарности

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

Список литературы

References

1. Бури М.С., Кузнецов А.В., Чодри К.К., Куприянов А.В. 2015. Методы анализа спутниковых изображений для исследования урбанизации и землепользования в период с 1975 по 2015 г. в г. Самаре. Компьютерная оптика, 39 (5): 818–822.
Buri M.S., Kuznetsov A.V., Chodri K.K., Kuprijanov A.V. 2015. Satellite image analysis to evaluate the urban growth and land use changes in the city of Samara from 1975 to 2015. Komp'yuternaja optika [Computer Optics], 39 (5): 818–822. (in Russian)
2. Ганзей С.С., Ермошин В.В., Мишина Н.В., Ширайва Т. 2007. Современное использование земель в бассейне Амура. География и природные ресурсы, (2): 17–26.
Ganzej S.S., Ermoshin V.V., Mishina N.V., Shiraiva T. 2007. Sovremennoe ispol'zovanie zemel' v bassejne Amura. Geografija i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources], (2): 17–26. (in Russian)
3. Осенний Н.Г. 2013. Пути повышения эффективности полеводства в АПК. Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования



Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Сельскохозяйственные науки, 154: 6-12.

Osenniy N.G. 2013. Ways to improve the efficiency of field crops growing in ARC. Nauchnye trudy Yuzhnogo filiala Natsional'nogo universiteta bioresursov i prirodopol'zovaniya Ukrainy "Krymskiy agrotekhnologicheskij universitet". Seriya: Sel'skokhozyaystvennye nauki, 154: 6-12. (in Russian)

4. Рыбаков Б.А. (гл. ред.). 1984. Античные государства Северного Причерноморья. М., Наука, 392.

Rybakov B.A. (ch. ed.). 1984. Antichnye gosudarstva Severnogo Prichernomor'ja [Ancient Northern Black Sea states]. Moscow, Nauka, 392. (in Russian)

5. Скачкова А.С., Курлович Д.М., Катковский Л.В. 2013. Структура и динамика земельного фонда Воложинского района Минской области за период с 1975 по 2010 г. (по результатам автоматизированного дешифрирования классов земных покрытий в европейской номенклатуре corine land cover). Вестник БГУ. Серия 2. Химия. Биология. География, (1): 98–103.

Skachkova A.S., Kurlovich D.M., Katkovskij L.V. 2013. Structure and dynamics of the land fund, Volozhin district, Minsk region in the period from 1975 to 2010 (based on automated interpretation of earth covering classes in European nomenclature corine land cover). Vestnik BGU. Serija 2. Himija. Biologija. Geografija, (1): 98–103. (in Russian)

6. Смекалова Т.Н. 2011. Система расселения, коммуникаций и сигнализации в античное время в Северо-западном Крыму. В кн.: Боспорский феномен: население, языки, контакты. Материалы международной научной конференции (Санкт-Петербург, 22–25 ноября 2011 г.). СПб.: 362–367.

Smekalova T.N. 2011. Settlement system, communication and alarm systems in ancient times in the north-western Crimea. In: Bosporskij fenomen: naselenie, jazyki, kontakty. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Sankt-Peterburg, 22–25 nojabrja 2011 g.) [Bosporan phenomenon: population, languages, contacts. Proceedings of the international scientific conference (St. Petersburg, 22–25 November 2011)]. Saint Petersburg: 362–367. (in Russian)

7. Смекалова Т.Н., Чудин А.В., Пасуманский А.Е., Кутайсов В.А., Белик Ю.Л. 2013. Ключевая точка северо-западного Крыма. Вестник Российского гуманитарного научного фонда, 2 (71):85-104.

Smekalova T.N., Chudin A.V., Pasumanskiy A.E., Kutaysov V.A., Belik Yu.L. 2013. The key point of the northwestern Crimea. Vestnik Rossiyskogo gumanitarnogo nauchnogo fonda, 2 (71): 85–104. (in Russian)

8. Смекалова Т.Н., Кутайсов В.А. 2013. Материалы к археологической карте Крыма. Т. VIII. Ч. 2. Пастухи и земледельцы раннего железного века в северо-западном Крыму. Симферополь, 336.

Smekalova T.N., Kutaysov V.A. 2013. Materialy k arheologicheskoj karte Kryma. T. VIII. Ch. 2. Pastuhi i zemledel'cy rannego zhelezного veka v severo-zapadnom Krymu [Materials for the archaeological map of Crimea. Simferopol. T. VIII. Part 2. Shepherds and tillers of the Early Iron Age in northwestern Crimea]. 336. (in Russian)

9. Смекалова Т.Н., Кутайсов В.А., Кецко Р.С. 2015. Новые данные о хоре Калос Лимена Проблемы истории, филологии, культуры, 3 (49): 140–159.

Smekalova T.N., Kutaysov V.A., Ketsko R.S. 2015. New Data about the Chorus of Kalos Limen, Problemy istorii, filologii, kul'tury [Journal of history, philology and culture], 3 (49): 140–159. (in Russian)

10. Украинский П.А., Гаджиев Р.Ш. 2015. Изменение землепользования в водоохранной зоне реки Тихая Сосна (Ретроспективное исследование по космическим снимкам со спутников миссии landsat 1984–2014 гг.). Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 10 (2): 286–289.

Ukrainskij P.A., Gadzhiev R.Sh. 2015. Land-use change in water protection zone of the Tikhaya Sosna river (a retrospective study by satellite images from the landsat mission 1984–2014). Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij, 10 (2): 286–289. (in Russian)

11. Dutrieux L.P., Jakovac C. C., Latifah S. H., Kooistra L. 2016. Reconstructing land use history from Landsat time-series: Case study of a swidden agriculture system in Brazil. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 47: 112–124.

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

13. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M. 2012. Effects of institutional changes on land use: Agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven Economies in post-Soviet Eastern Europe. Environmental Research Letters, 7: 1–13.



14. Sieber A., Kuemmerle T., Prishchepov A. V., Wendland K. J., Baumann M., Radeloff V. C., Baskin L. M., Hostert P. 2013. Landsat-based mapping of post-Soviet land-use change to assess the effectiveness of the Oksky and Mordovsky protected areas in European Russia. *Remote Sensing of Environment*, 133: 38–51.

15. USGS Global Visualization Viewer. Available at: <http://glovis.usgs.gov/>.