Методика картографирования динамики пахотных угодий в бассейнах рек Европейской территории России за период 1985–2015 гг.

М.А. Иванов¹, А.В. Прищепов^{1,2}, В.Н. Голосов¹, Р.Р. Залялиев¹, К.В. Ефимов³, А.А. Кондратьева⁴, А.Д. Киняшова¹, Ю.К. Ионова¹

¹Казанский федеральный университет, Казань, 420008, Россия E-mail: maximko-87@mail.ru ²Университет Копенгагена, Копенгаген, 1350, Дания E-mail: alpr@ign.ku.dk ³Государственный университет по землеустройству, Москва, 105064, Россия E-mail: kirillka_pozitiv@mail.ru ⁴Казанский государственный аграрный университет, Казань, 420011, Россия E-mail: alino4ka_19_94@mail.ru

Работа посвящена методике картографирования используемых и заброшенных пахотных угодий на участках Европейской части России, расположенных в различных климатических, ландшафтных и геоморфологических условиях. В работе описана технологическая схема визуального дешифрирования пахотных земель на основе разносезонных снимков Landsat 5 и Landsat 8 для двух временных срезов (середина 1980-х гг. и современный период 2013–2015 гг.). Описаны классификационные признаки различных типов пашни: яровые культуры, озимые культуры, пар, заброшенные пашни. Представлена методика оцифровки пахотных угодий, в основе которой лежат принципы, использованный в проекте CORINE Land Cover 2000 (CLC2000). Получены векторные слои используемых пахотных угодий за два рассматриваемых периода. Выполнена валидация полученных результатов по снимкам высокого разрешения.

Ключевые слова: Landsat, пахотные угодья, динамика землепользования, Европейская часть России

Одобрена к печати: 15.09.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-5-161-171

Введение

В многочисленных работах, посвященных динамике землепользования и оценке площадей заброшенных сельскохозяйственных земель на территории бывшего СССР, подробно рассмотрены возможные причины этих изменений, например институциональные преобразования, демография, агроклиматические характеристики (Baumann et al., 2011; Prishchepov et al., 2013). Исследования динамики сельскохозяйственного землепользования и факторов забрасывания сельскохозяйственных земель в большей мере были сосредоточены в средней полосе России, где наблюдалась самая высокая концентрация заброшенных земель. Тем не менее отдельные наблюдения с использованием спутниковых данных (de Beurs, Ioffe, 2014), позволяют судить о присутствии заброшенных сельскохозяйственных земель также на территориях со значительной долей пахотных земель, например в лесостепной и в степной зонах.

К сожалению, официальные статистические данные, например данные о динамике посевных площадей, не позволяют оценить пространственные изменения землепользования из-за агрегирования статистических данных на уровне административных единиц. Также количественные показатели изменения землепользования сильно разнятся в различных источниках. Например, в государственных докладах о состоянии окружающей среды и о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения приводятся площади земель на основании их юридической принадлежности к той или иной категории, а не реального землепользования. Поэтому большое количество пахотных земель, которые фактически не используются уже несколько лет, могут формально еще относится к категории пашни. Таким образом, сокращение площади пахотных земель по официальным данным часто сильно занижено по сравнению с фактическим положением (Люри и др., 2010).

Спутниковый мониторинг играет важную роль в оценке динамики землепользования и состояния растительного покрова (Cohen, Goward, 2004). Данные дистанционного зондирования могут служить источником для соответствующих детальных карт изменения сельскохозяйственного землепользования (Bartalev, Plotnikov, Loupian, 2016; Kraemer et al., 2015). Для создания и обновления пространственных баз данных землепользования на региональном уровне подходят разновременные мультиспектральные снимки среднего пространственного разрешения (10–30 м), например бесплатные данные, полученные спутниками Landsat (European..., 2016; Hansen, Loveland, 2012).

Основной целью данного исследования является разработка методики картографирования изменения площади используемых пахотных земель на участках Европейской территории России, расположенных в различных климатических, ландшафтных и геоморфологических условиях, с 1985 по 2015 г.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

 картографирование используемых пахотных угодий на территории девяти участков для двух временных срезов: конец 1980-х гг. и современный период 2013—2015 гг. путем визуального дешифрирования разносезонных снимков Landsat 5 TM и Landsat 8 OLI;

- оценка достоверности дешифрирования.

Материалы и методы

Исследования проводились в пределах южной половины Восточно-Европейской равнины, которая является основным земледельческим регионом России в пределах девяти речных бассейнов, расположенных в различных агроклиматических зонах (*puc. 1*).

Выбор участков осуществлялся для максимально полного охвата территорий, разнообразных по ландшафтно-климатическим условиям и обусловленным этими условиями характерам земледелия. В соответствии с ландшафтной картой СССР под редакцией И.С. Гудилина масштаба 1:2500000 (Ландшафтная..., 1980) рассматриваемые бассейны располагаются в пределах трех ландшафтных зон: лесная, лесостепная и степная. В подтаежных ландшафтах лежат территория бассейна р. Иж и северо-восточная половина бассейна р. Меши. Бассейны рек Улемы, Свияги, Ведуги и северная часть бассейна р. Медведица расположены в лесостепных ландшафтах. Все остальные участки соответствуют типично степным ландшафтам.

В качестве исходных данных были использованы Level-1 standard data products Landsat 5 (Themaic Mapper, TM) и Landsat 8 (Operational Land Imager, OLI) в виде уровней яркости (digital numbers). Для каждого исследуемого участка подобраны разносезонные

снимки в бесснежное время за два периода: вторая половина 1980-х гг. и период 2013–2016 гг. Для визуальной интерпретации снимки Landsat 5 были синтезированы в сочетании R, G, B каналами 5, 4, 3, а для Landsat 8 — сопоставимые с Landsat 5 каналы 6, 5, 4. При такой комбинации каналов в псевдоцветах здоровая растительность выглядит ярко зеленой, а почвы розовато-лиловыми. Данная комбинация часто используется для анализа динамики сельскохозяйственных угодий (Quinn, 2001).



Рис. 1. Местоположение исследуемых бассейнов: 1 — бассейн р. Иж по замыкающему створу в районе г. Ижевск (Удмуртская Республика); 2 — бассейн р. Меша (Республика Татарстан); 3 — бассейн р. Улема (Республика Татарстан); 4 — бассейн р. Свияга по замыкающему створу в районе с. Большие Ключищи (Ульяновская область); 5 — бассейн р. Ведуга (Воронежская область); 6 — бассейн р. Медведица по замыкающему створу в районе г. Аткарск (Саратовская область); 7 — бассейн р. Самара по замыкающему створу в районе п. Кленовый (Оренбургская область); 8 — бассейн р. Калаус по замыкающему створу в районе с. Сергиевское (Ставропольский край); 9 — часть бассейна р. Кума от ст. Суворовская до ст. Александрийская (Ставропольский край)

Методика дешифрирования

За основу была взята методика дешифрирования, используемая в проекте CORINE Land Cover 2000 (CLC2000) (Bossard, Feranec, Otahel, 2000; Buttner et al., 2004), скорректированная с учетом региональных особенностей и целей нашего исследования. При картографировании использовался метод визуального дешифрирования и последующей ручной оцифровки.

Пахотные угодья в основном хорошо различаются с такими классами землепользования как водные объекты, городская застройка, в большинстве случаев — с лесопокрытыми территориями (за исключением подроста, молодых лесопосадок и т. д.). Проблематичным является отделение возделываемых пахотных земель от заброшенных участков пашни и естественного травостоя, однако использование разносезонных снимков позволяет более точно разделить используемые и неиспользуемые сельскохозяйственные угодья. Помимо стандартных признаков пахотных угодий, таких как четкость и ортогональность границ, фрагментированный рисунок и пестрота цвета, можно выделить ряд классификационных признаков, которые будут зависеть от региона исследования, типа использования конкретного поля и сезона съемки, в том числе такие дешифровочные признаки, как тон, текстура (Jensen, 2005).

1. В сочетании псевдоцветов R, G, B каналов 5, 4, 3 для Landsat 5 и каналов 6, 5, 4 для Landsat 8 поля, занятые *яровыми культурами* (*puc. 2*), на весенних снимках после вспашки и подготовки территории к посевным работам имеют розовый, фиолетовый и коричневый цвета и чаще всего — однородный тон и текстуру. В зависимости от региона и соответствующей системы земледелия в июне-июле наблюдается пик вегетации яровых культур. В этот период поля распознаются по зеленому цвету различного тона в зависимости от культуры. После уборки урожая (август, сентябрь) поля с открытой почвой принимают оттенки от розового до коричневого и хорошо отличаются от естественной, часто еще вегетирующей, растительности на лугах. Также на них зачастую виден характерный рисунок, образованный стерней.



Рис. 2. Пример отображения полей занятых яровыми культурами на снимках разных сезонов (желтый контур)

2. **Озимые культуры** (*puc. 3*) хорошо идентифицируются на весенних снимках, особенно до начала периода вегетации, и на снимках, сделанных поздней осенью, когда вегетационный период естественной травянистой растительности уже закончен. Такие поля отличаются ярко-зеленым цветом и однородной структурой.



Рис. 3. Пример отображения полей занятых озимыми культурами на снимках разных сезонов (синий контур)

3. Пар. *Чистый пар* (*puc. 4*) достоверно распознается на летних снимках. Поля с голой почвой, имеющие характерные коричневые и розовые оттенки, хорошо контрастируют с растительностью. Занятый пар идентифицируется так же, как и яровые культуры.



Рис. 4. Пример отображения полей под чистым паром на снимках разных сезонов (синий контур)

4. *Естественный травостой*. Здесь можно выделить два подкласса: естественная травянистая растительность на поймах и бортах долин рек, в балках и оврагах; заброшенные и зарастающие пахотные угодья. Первый подкласс идентифицируется по цветам, характерным для травянистой растительности, нечеткому, размытому рисунку (неоднородной текстуре), в качестве косвенного признака выступает приуроченность к выше обозначенным элементам гидросети.

5. Заброшенная пашня (рис. 5) характеризуется такими же цветовыми и текстурными признаками, что и естественные луга, однако схожа по форме с используемыми пахотными полями. Особенно это справедливо для полей, заброшенных недавно (2–4 года назад). Для их идентификации необходим анализ серии снимков. Если поле на разносезонных снимках обладает признаками естественного травостоя, а до этого оно использовалось под пашню, то делалось предположение, что поле не используется.



Рис. 5. Пример отображения заброшенных полей на снимках разных сезонов (черный контур)

Для окончательного решения дополнительно рассматривались снимки, сделанные в соседние годы. Если и на них поле не имело признаков первых трех классов, оно классифицировалось как заброшенное. Контроль при выделении заброшенных полей осуществлялся по снимкам высокого разрешения IKONOS, WorldView-2, Quickbrid, представленных в программах Google Earth и Sasplanet.

На первом этапе проводилась ручная оцифровка границ пахотных угодий по снимкам 1980-х гг. Оцифровывались не отдельные поля, а общие границы используемых пахотных угодий. Ранее заброшенные поля не выделялись в отдельный класс. Полученные границы

накладывались на снимки второго временного периода. По вышеописанным признакам определялись заброшенные пашни и соответственно корректировались границы. Такой подход позволял сохранять топологию объектов неизменившихся участков на слоях за разные годы.

Положение границ одного и того же поля на снимках за разные годы в некоторых случаях различалось. Это обусловлено такими причинами, как точность привязки Landsat и фактические различия границы распашки в разные годы. Допустимыми были приняты колебания не более трех пикселей Landsat TM по ширине, т.е. менее 100 м, что соответствует геометрической точности (Geometry accuracy), указанной в проекте CORINE CLC. Кроме того, 100 м — это минимальное смещение границы (minimum boundary displacement), которое картируется как изменение землепользования (EEA-ETC/TE..., 2002; Feranec et al., 2007). Результаты оцифровки были экспортированы в формат MapInfo *.tab. Таким образом, было получено два векторных слоя используемых пахотных угодий. Наложением полученных слоев были получены участки сокращения и прироста пашни за рассматриваемый период. Расчет площадей используемой и заброшенной пашни проводился в гектарах в программе MapInfo. Следует отметить, что для минимизации влияния проекции на результаты, а так же для их сопоставимости с полевыми данными, использовалось вычисление площадей «на сфере».

Валидация результатов дешифрирования

Валидация проводилась по методике, использованной для оценки точности CLC в Португалии (Caetano, Mata, Freire, 2006). Справочная информация, используемая для сравнения результатов дешифрирования с реальностью, должна иметь более высокую точность, чем информация, используемая для производства карт. Источниками такой информации становятся: аэрофотосъемка; спутниковые снимки с лучшим разрешением, чем те, которые используются при производстве карт; полевые работы (Congalton, Biging 1992). Р. Конгальтон и Дж. Биджинг утверждают, что только полевые работы позволяют оценить точность и достоверность дешифрирования, но имеется ряд ограничений: труднодоступность местности, человеческий и материальные ресурсы, стоимость и время. Опорная информация должна быть близкой по дате к данным, используемым при производстве карт, чтобы избежать влияния изменения ландшафта (Congalton, Green, 1999), а также должна быть независима от данных, используемых при дешифрировании (Hammond, Verbyla 1996; Stehman 1999).

Ввиду отсутствия аэрокосмических снимков высокого разрешения на период 1980-х гг. нами оценивалась точность оцифровки пахотных угодий 2015 г. Для этого использовались снимки высокого разрешения, частично покрывающие территорию трех участков (реки Меша, Медведица и Калаус) (*рис. 1*), лежащих в различных ландшафтных зонах. Подобранные снимки покрывают не менее 15% от территории бассейнов для обеспечения репрезентативности (*табл. 1*).

Бассейн	Спутник	Дата съемки	Площадь покрытия, га	Процент от площади бассейна	Digital Globe Catalog ID
Меша	GeoEye-1	12.07.2014	67485	15,5	1050410010D5FD00
M	WorldView-2	16.09.2015	02152	<u>бассейна</u> 15,5 23,03 29,85 9.84	1030010047C35A00
медведица	WorldView-2	16.09.2015	85155		1030010049158C00
Variana	GeoEye-1	09.03.2015	52806	29,85	1050410012519C00
Калаус	WorldView-2	16.12.2014	17413	9,84	103001003B1BA200

Таблица 1. Снимки высокого разрешения, использованные для валидации

Полигоны, представляющие собой результаты дешифрирования пахотных угодий, были наложены на вышеуказанные снимки. Если границы полигонов были смещены на 100 м и более от границ, распознаваемых на снимках высокого разрешения, они корректировались. Скорректированные по снимкам высокого разрешения полигоны были наложены на слой пахотных угодий 2015 г., полученный по снимкам Landsat, и выделены области согласия и несогласия (*puc. 6*).



Рис. 6. Сравнение границ пахотных угодий, выделенных по снимкам Landsat и снимкам высокого разрешения

Были рассчитаны площади (га) этих участков, построена матрица ошибок и рассчитаны точности производителя (Producer's accuracy) и пользователя (User's accuracy). По результатам

валидации видно, что точность дешифрирования на рассмотренных участках составляет более 98% (*табл. 2, 3*).

		Площадь пашни (га) по результатам дешифрирования					
	по снимкам высокого разрешения						
	Меша						
		Пашня	Другие категории	Всего			
татам	Пашня	32596	426	33022			
	Другие категории	308	34154	34463			
	Всего	32905	34580	67485			
зуль я	Медведица						
чи (га) по рез ифрировани Landsat		Пашня	Другие категории	Всего			
	Пашня	49291	425	49715			
	Другие категории	467	32970	33438			
	Всего	49758	33395	83153			
awi	Калаус						
τοщадь п.		Пашня	Другие категории	Всего			
	Пашня	25815	198	26012			
	Другие категории	208	43998	44206			
Ш	Всего	26022	44196	70219			

Таблица 2. Матрица сопряженности результатов дешифрирования по снимкам различного разрешения

Таблица 3. Точность дешифрирования и ошибки (%)

	Меша	Медведица	Калаус
Точность пользователя	98,7	99,2	99,2
Точность производителя	99,1	99,1	99,2
Ошибка комиссии	1,3	0,8	0,8
Ошибка омиссии	0,9	0,9	0,8

При проведении валидации результатов ошибками считались неверно проведенные границы (смещены относительно реальных границ более чем на 100 м) и участки, явно принадлежащие другой категории земель. Однако встречались участки, распознанные по снимкам Landsat как используемая пашня, которые на снимке высокого разрешения выглядели как заброшенная пашня с ранними признаками сукцессии (травостой). Такие полигоны не считались ошибочными, поскольку эти поля могли не возделываться только один год и определить их как заброшенные по одномоментному снимку невозможно.

Заключение

В ходе работы была разработана методика оценки динамики пахотных угодий за тридцатилетний период (1985—2015) в нескольких бассейнах рек Европейской части России, расположенных в различных природных условиях. Визуальной интерпретацией разносезонных снимков Landsat и дальнейшей ручной оцифровкой созданы векторные слои пашни за два временных периода и проведена оценка точности дешифрирования.

На основе результатов будет проведен количественный анализ динамики пахотных угодий и ее влияния на темпы современных эрозионно-аккумулятивных процессов совместным пространственным рассмотрением полученных слоев и различных показателей рельефа, рассчитанных по цифровым моделям. В первую очередь будет проанализировано, является ли изменение площади используемой пашни фактором, обуславливающим снижение среднегодовых темпов смыва почв. Кроме того, полученные векторные слои могут быть использованы в качестве эталонных участков для анализа динамики пашни методами компьютерной классификации.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 15-17-20006).

Литература

- 1. Ландшафтная карта СССР / отв. ред. Гудилин И.С. М.: Министерство геологии СССР, Гидроспецгеология, 1980. Масштаб 1:2 500 000.
- 2. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Т. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
- 3. Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A. Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique // Remote Sensing Letters. 2016. Vol. 7. P. 269–278. DOI: 10.1080/2150704X.2015.1130874.
- 4. Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V.C., Keuler N.S., Prishchepov A.V., Kruhlov I., Hostert P. Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine // Land Use Policy. 2011. Vol. 28 (3). P. 552–562.
- 5. *Bossard M., Feranec J., Otahel J.* CORINE Land Cover Technical Guide Addendum 2000. Technical report No. 40. Copenhagen (EEA). 2000. URL: http://terrestrial.eionet.eu.int.
- 6. Buttner G., Feranec J., Jaffrain G., Mari L., Maucha G., Soukup T. The CORINE land cover 2000 project // EARSeL eProceedings / ed. Reuter R. 2004. Vol. 3 (3). Paris (EARSeL). P. 331–346.
- 7. *Caetano M., Mata F., Freire S.* Accuracy assessment of the Portuguese CORINE land cover map // Global Developments in Environmental Earth Observation from Space. 2006. P. 459–467.
- 8. Cohen W.B., Goward S.N. Landsat's Role in Ecological Applications of Remote Sensing // BioScience. 2004. Vol. 54. P. 535. DOI: 10.1641/0006-3568(2004)054[0535:LRIEAO]2.0.CO;2.
- 9. Congalton R., Biging G. A pilot study ground reference data collection efforts for use in forest inventory // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1992. Vol. 58. P. 1669–1671.
- 10. *Congalton R., Green K.* Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Danvers, USA: CRC Press, 1999. 200 p.
- 11. *de Beurs K.M., Ioffe G.* Use of Landsat and MODIS data to remotely estimate Russia's sown area // J. Land Use Science. 2014. Vol. 9. P. 377–401. DOI: 10.1080/1747423X.2013.798038.
- 12. EEA-ETC/TE: CORINE Land Cover update, I&CLC2000 project, Technical Guidelines. 2002. URL: http://terrestrial.eionet.eu.int.
- 13. European landscape dynamics: CORINE Land Cover data / eds. Feranec J., Soukup T., Hazeu G., Jaffrain G. CRC Press, Taylor and Francis Group, 2016. 337 p.
- 14. Feranec J., Hazeu G., Christensen S., Jaffrain G. CORINE land cover change detection in Europe (case studies of The Netherlands and Slovakia) // Land Use Policy. 2007. Vol. 24(1). P. 234–247.
- 15. *Hammond T., Verbyla D.* Optimistic bias in classification accuracy assessment // Intern. J. Remote Sensing. 1996. Vol. 17. P. 1261–1266.
- 16. *Hansen M.C., Loveland T.R.* A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol. 122. P. 66–74.
- 17. *Jensen J.R.* Introductory digital image processing: A Remote Sensing Perspective. 3rd ed. Prentice Hall series in geographic information science. Pearson, Upper Saddle River, NJ. 2005.
- 18. *Kraemer R., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frühauf M.* Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan // Environmental Research Letters. 2015. Vol. 10. 054012.
- 19. Prishchepov A.V., Müller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V.C. Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia // Land use policy. 2013. Vol. 30 (1). P. 873–884.

20. Quinn J.W. Band Combination. 2001. URL: http://web.pdx.edu/%7Eemch/ip1/bandcombinations.html.

21. Stehman S. Basic probability sampling designs for thematic map accuracy assessment // Intern. J. Remote Sensing. 1999. Vol. 20. P. 2423–2441.

Method of croplands dynamics mapping in river basins of the European part of Russia for the period of 1985–2015

M.A. Ivanov¹, A.V. Prishchepov^{1,2}, V.N. Golosov¹, R.R. Zalyaliev¹, K.V. Efimov³, A.A. Kondrat'eva⁴, A.D. Kinyashova¹, Yu.K. Ionova¹

¹ Kazan Federal University, Kazan 420008, Russia E-mail: maximko-87@mail.ru ² University of Copenhagen, Copenhagen 1350, Denmark *E-mail: alpr@ign.ku.dk* ³ State University of Land Use Planning, Moscow 105064, Russia E-mail: kirillka pozitiv@mail.ru ⁴ Kazan State Agricultural University, Kazan 420011, Russia *E-mail: alino4ka 19 94@mail.ru*

The work is devoted to the technique of mapping of cultivated and abandoned croplands in areas of the European territory of Russia of different climate, landscape and geomorphological conditions. A technological scheme of croplands visual interpretation based on Landsat 5 and 8 multi-seasonal images for two time slices (mid-1980s and the modern period of 2013–2015) is described. Classification keys of various types of croplands are introduced: spring crops, winter crops, fallow, abandoned croplands. A technique of croplands digitizing based on the principles used in the CORINE Land Cover 2000 (CLC2000) project is presented. Vector layers of cultivated croplands for the two considered periods are obtained. Validation of the results based on high-resolution satellite imagery is performed.

Keywords: Landsat, cropland, land use dynamics, European part of Russia

Accepted: 15.09.2017 DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-5-161-171

References

- 1. Landshaftnaya karta SSSR (Landscape map of USSR), Moscow: Ministerstvo geologii SSSR, Gidrospetsgeologiya, 1980.
- 2. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.T., Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv (Dynamics of Russian agricultural land in the XX century and postagrogenic restoration of vegetation and soil), Moscow: GEOS, 2010, 416 p.
- Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A., Mapping of arable land in Russia using multi-year time series 3. of MODIS data and the LAGMA classification technique, *Remote Sensing Letters*, 2016, Vol. 7, pp. 269–278. DOI: 10.1080/2150704X.2015.1130874.
- Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V.C., Keuler N.S., Prishchepov A.V., 4. Kruhlov I., Hostert P., Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine, Land Use Policy, 2011, Vol. 28 (3), pp. 552-562.
- Bossard M., Feranec J., Otahel J., CORINE Land Cover Technical Guide Addendum 2000. Technical report No 40, 5. Copenhagen (EEA), 2000, URL: http://terrestrial.eionet.eu.int.
- Buttner G., Feranec J., Jaffrain G., Mari L., Maucha G., Soukup T., The CORINE land cover 2000 project, *EARSeL eProceedings*, 2004, Vol. 3 (3). Paris (EARSeL), pp. 331–346. 6.
- Caetano M., Mata F., Freire S., Accuracy assessment of the Portuguese CORINE land cover map, Global Develop-7. ments in Environmental Earth Observation from Space, 2006, pp. 459-467.
- Cohen W.B., Goward S.N., Landsat's Role in Ecological Applications of Remote Sensing, *BioScience*, 2004, Vol. 54, p. 535. DOI: 10.1641/0006-3568(2004)054[0535:LRIEAO]2.0.CO;2. 8.
- 9. Congalton R., Biging G., A pilot study ground reference data collection efforts for use in forest inventory, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1992, Vol. 58, pp. 1669–1671. 10. Congalton R., Green K., Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Danvers, USA: CRC
- Press, 1999, 200 p.
- 11. de Beurs K.M., Ioffe G., Use of Landsat and MODIS data to remotely estimate Russia's sown area, Journal of Land Use Science, 2014, Vol. 9, pp. 377–401. DOI: 10.1080/1747423X.2013.798038.

- 12. *EEA-ETC/TE: CORINE Land Cover update, I&CLC2000 project, Technical Guidelines*, 2002, URL: http://terres-trial.eionet.eu.int.
- 13. European landscape dynamics: CORINE Land Cover data, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2016, 337 p.
- 14. Feranec J., Hazeu G., Christensen S., Jaffrain G., CORINE land cover change detection in Europe (case studies of The Netherlands and Slovakia), *Land Use Policy*, 2007, Vol. 24 (1), pp. 234–247.
- 15. Hammond T., Verbyla D., Optimistic bias in classification accuracy assessment, *International Journal of Remote Sensing*, 1996, Vol. 17, pp. 1261–1266.
- 16. Hansen M.C., Loveland T.R., A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data, *Remote Sensing of Environment*, 2012, Vol. 12, pp. 66–74.
- 17. Jensen J.R., Introductory digital image processing: A Remote Sensing Perspective, 3rd ed, Pearson, Upper Saddle River, NJ, 2005.
- Kraemer R., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frühauf M., Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan, *Environmental Research Letters*, 2015, Vol. 10, 054012.
- 19. Prishchepov A.V., Müller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V.C., Determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet European Russia, *Land use policy*, 2013, Vol. 30 (1), pp. 873–884.
- 20. Quinn J.W., Band Combination, 2001, URL: http://web.pdx.edu/%7Eemch/ip1/bandcombinations.html.
- 21. Stehman S., Basic probability sampling designs for thematic map accuracy assessment, *International Journal of Remote Sensing*, 1999, Vol. 20, pp. 2423–2441.