



УДК 528.88

DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-214-222

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВАНИИ  
ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ****LAND-USE STRUCTURE DYNAMICS ANALYSIS USING THE EARTH REMOTE  
SENSING DATA****А.О. Аввакумова****A.O. Avvakumova**Институт экологии и природопользования Казанского (Приволжского) Федерального  
университета 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18Institute of Environmental Sciences Kazan Federal University, 18 Kremlyovskaya street, Kazan 420008,  
Russian Federation

E-mail: avvakumova\_alina@mail.ru

**Аннотация**

В статье приводятся результаты дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли для нескольких ключевых участков на территории Республики Татарстан, отобранных для последующего анализа динамики почвенной эрозии. Исходными данными послужили разновременные снимки (*Landsat 5* и *Landsat 8*), полученные из свободного ресурса. Исследование изменения структуры землепользования проводилось в рамках работ по оценке динамики эрозии почв с использованием ГИС-технологий для территории с интенсивным земледелием. В результате дешифрирования и оцифровки разновременных снимков были выделены территории населенных пунктов, луговые сообщества, лесные массивы и пашни.

**Abstract**

The article presents the results of remote sensing data interpretation for several key areas on the territory of the Republic of Tatarstan, selected for further analysis of soil erosion dynamics. The initial data were the different time images taken by satellites *Landsat 5* and *Landsat 8*, obtained from a free resource. The study of the change of land use structure was carried out within the framework of works on assessing the dynamics of soil erosion using GIS technologies for a territory with intensive agricultural pressure. Seven key areas that can characterize the main landscape features of the Republic of Tatarstan were selected. As a result of interpretation and digitization of different time images, areas of settlements, meadows, forests and arable land were identified. According to the results of the study, there is a decrease in arable land area in comparison with the period of the 1980s. Soil erosion processes are rapidly developing on the agricultural territories. The development of the ravines and gullies can also be noted. These processes can be the main reasons of the land use structure changing. The decrease of cultivated land area is mainly due to the conversion of arable land to the category of meadows, hayfields and pastures, and, to a lesser extent, due to overgrowing by forests.

**Ключевые слова:** почвенная карта, эрозия почв, данные дистанционного зондирования Земли, Татарстан

**Keywords:** soil map, soil erosion, remote sensing data, Tatarstan.

**Введение**

Сельскохозяйственная деятельность на современном этапе развития человечества является одним из самых значительных видов антропогенного воздействия на почвенный покров. Распашка огромных территорий, использование различных приемов мелиорации,

строительство ирригационных систем и прочие виды человеческой деятельности могут серьезно нарушать сложившиеся биосферные равновесия и приводить к негативным последствиям. Одной из основных проблем является деградация почвенного покрова, вызванная ускорением эрозии почв [Фокин, 1986]. Последствия эрозионных процессов довольно сложные и зависят от взаимодействия таких факторов, как потеря органического вещества, микроорганизмов, илистой фракции и элементов питания, а также от изменения физических свойств почвы [Танасиенко и др., 1999].

Очевидно, что степень эродированности сельскохозяйственных земель меняется во времени и пространстве. Однако этот факт нуждается в исследовании и анализе с учетом региональных особенностей ее развития. Для этого нами ранее была разработана методика количественной оценки динамики эрозии почв с использованием ГИС-технологий для территории с интенсивным земледелием [Аввакумова, Ермолаев, 2011; Yermolaev, Avvakumova, 2012, 2014].

Для установления причин динамики почвенной эрозии необходимо кроме природных факторов учитывать и антропогенные. В первую очередь, когда речь идет об агрогенной эрозии, необходимо установить, как изменилось землепользование во времени.

На фоне расширения площади сельскохозяйственных и пахотных земель в глобальном масштабе во второй половине XX в. в России и некоторых других странах происходит исключение угодий из эксплуатации. При этом количественные показатели изменения площадей различных категорий землепользования могут быть сильно занижены, поскольку 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 их реального землепользования [Люри и др., 2010; Prishchepov et al., 2012; Иванов, 2016].

Одним из наиболее доступных методов изучения динамики землепользования является использование данных дистанционного зондирования Земли. Суть метода заключается в интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства.

Спутниковый мониторинг играет важную роль в оценке динамики землепользования и состояния растительного покрова [Cohen, Goward, 2004; Терехин, 2016]. Данные дистанционного зондирования могут служить источником для соответствующих детальных карт изменения сельскохозяйственного землепользования [Buryak et al., 2014; Kraemer et al., 2015; Bartalev et al., 2016]. Использование этих материалов особенно актуально в связи с высокой динамичностью изменений характера землепользования и необходимостью оперативного получения актуальной информации об их пространственных изменениях за определенные интервалы времени [Иванов, 2015].

### **Объекты и методы**

Нами было отобрано 7 ключевых участков, которые могут характеризовать основные ландшафтные особенности Республики Татарстан (рис. 1).

В качестве исходных данных использовались разновременные снимки, сделанные спутниками *Landsat 5* и *Landsat 8* (табл. 1). Формат полученных изображений *GeoTiff*, система координат *WGS 84*, проекция *UTM*, зона 39, разрешение снимков 30 м, полоса захвата 185 км. Снимки были получены из свободного ресурса – архива геологической службы США [United States Geological Survey, 2017].

Съемка поверхности производится в спектральных каналах, каждый из которых имеет свой четко определенный интервал электромагнитного спектра, в котором производится снимок. Сенсоры могут иметь различное число спектральных каналов и спектральный диапазон каждого канала.

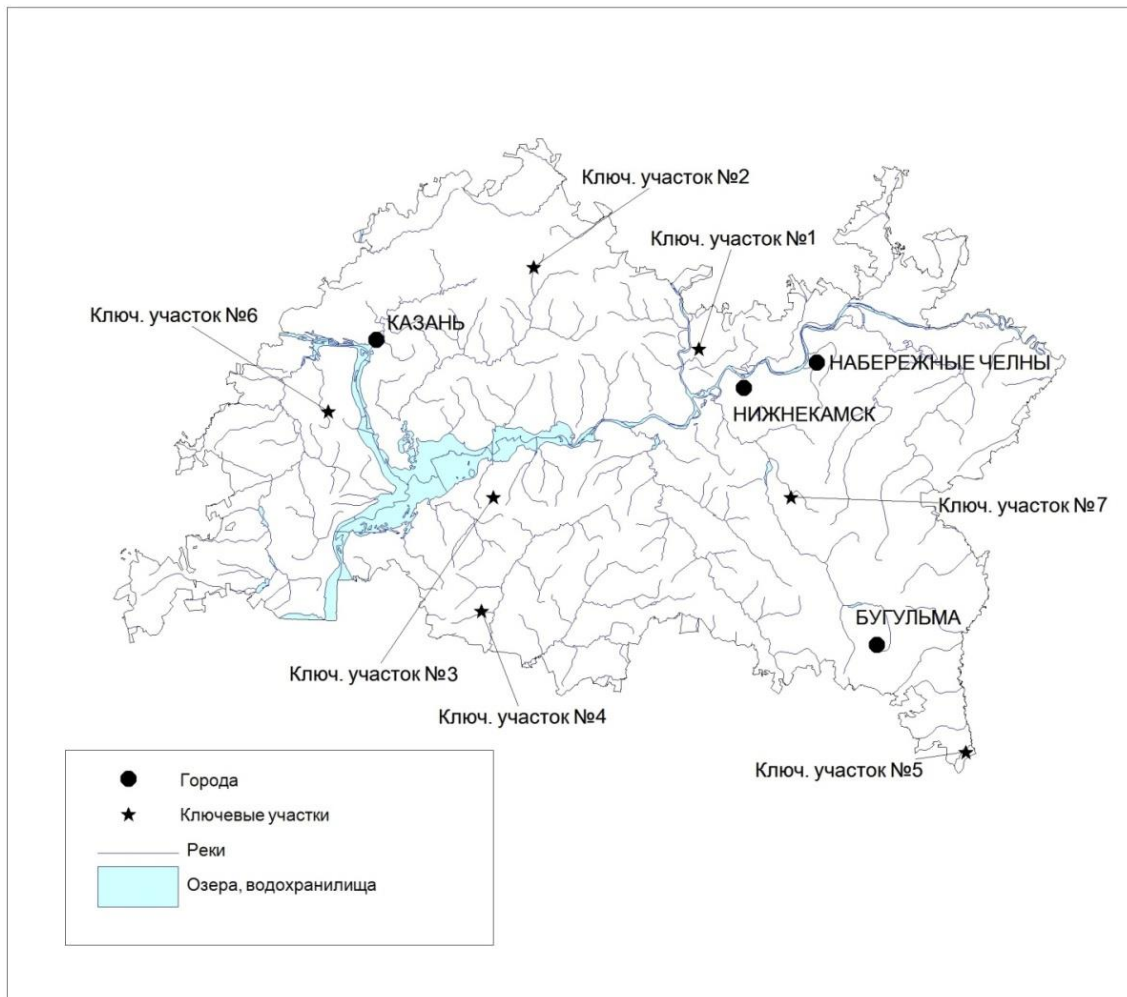


Рис. 1. Расположение ключевых участков на территории исследования (Республика Татарстан)  
Fig.1. Location of key areas in the studied area (The Republic of Tatarstan)

При обработке спутниковых снимков был использован метод цветных композитов из трех спектральных каналов в цветовом пространстве RGB. Сенсор спутника регистрирует отраженное и испущенное от земной поверхности электромагнитное излучение и сохраняет это измерение для каждого пикселя снимка в особых единицах, называемых "уровень серого". При подстановке значений уровня серого каждого пикселя трех сцен снимка по трем выбранным каналам в позиции R, G, B – мы получаем цветное изображение снимка с цветами, чаще не соответствующими реальным окраскам этих объектов [Лабутина, 2004]. Для дешифрирования снимков были использованы следующие комбинации каналов: для спутников *Landsat 5,7* – каналы 5,4,3, для спутника *Landsat 8* – каналы 6,5,4. В этой комбинации цветов растительность выглядит ярко зеленой, а почвы – розовато-лиловыми. Она дает возможность анализировать сельскохозяйственные угодья, удобна для изучения растительного покрова и широко используется для анализа состояния лесных сообществ [Евдокимов, Михалап, 2015; Quinn, 2001]. Комбинирование каналов осуществлялось в пакете *ErdasImagine 2010*.

Таблица 1  
Table 1

Исходные данные, использованные для анализа динамики землепользования  
на выбранных ключевых участках  
Data used to analyze the land use dynamics in the selected key areas

Название ключевого участка	Landsat 5	Landsat 8
Ключевой участок № 1 Большееловское СП Елабужского района	30.05.1984	24.05.2014
Ключевой участок № 2 Корсабашское СП Сабинского района	31.08.1986	24.05.2014
Ключевой участок № 3 КСХП «Игенче» Алексеевского района	31.08.1986	24.05.2014
Ключевой участок № 4 КСТП «Черемшан» Алькеевского района	31.08.1986	02.06.2014
Ключевой участок № 5 СХПК «Шалты» Бавлинского района	29.05.1986	10.05.2014
Ключевой участок № 6 Совхоз «Заря» Верхнеуслонского района	31.08.1986	24.05.2014
Ключевой участок № 7 Новоспасское СП Заинского района	30.05.1984	10.05.2014

Дешифрирование снимков основано на зависимости между свойствами объектов и характером их отображения. Относительно небольшая площадь ключевых участков позволила использовать визуальное дешифрирование средствами программы *EasyTrace*.

Дешифровочные признаки принято подразделять на прямые, присущие изображению самих объектов дешифрирования (например, их геометрические характеристики), косвенные или индикационные, характеризующие объект дешифрирования опосредованно, через какой-либо другой природный компонент, и комплексные. К прямым признакам, помимо формы, размера, цвета объектов, относятся тон изображения, его структура, которая связана с пространственной сменой и взаимным расположением его участков, различающихся по оптическим характеристикам, текстура изображения, обусловленная взаимным закономерным расположением тоновых неоднородностей изображения (например, тонкосетчатая, полосчатая, однородная, пятнистая и другая текстура), тень – по теневому силуэту можно определить форму объектов [Головина, 2011; Токарева, 2010]. Кроме того, при идентификации выделенных объектов необходимо учитывать пространственное расположение объекта, соседство с другими объектами.

Поскольку все ключевые участки относятся к территориям с высокой сельскохозяйственной освоенностью, было принято решение выделять на снимках населенные пункты, луговые сообщества (земли, которые не распаиваются), лесные массивы и пашни. Более подробное деление территории по категориям использования в рамках проводимого исследования не представляется целесообразным.

Для контроля качества результатов дешифрирования использовались также данные с ресурса [Google Earth, 2017] и электронные карты местности в масштабе 1:200 000.

### Результаты и их обсуждение

Для иллюстрации на рисунках 2 и 3 представлены результаты дешифрирования снимков на территорию ключевого участка № 3, расположенного в Закамье республики Татарстан. На этой территории доминирующими типами почв являются черноземы. Это черноземы выщелоченные, оподзоленные и типичные, с преобладанием выщелоченных.

Также представлены светло-серые, серые и темно-серые лесные, болотно-подзолистые, лугово-черноземные, лугово-болотные и аллювиальные дерновые почвы (по берегам рек). Хорошо развита овражно-балочная сеть.

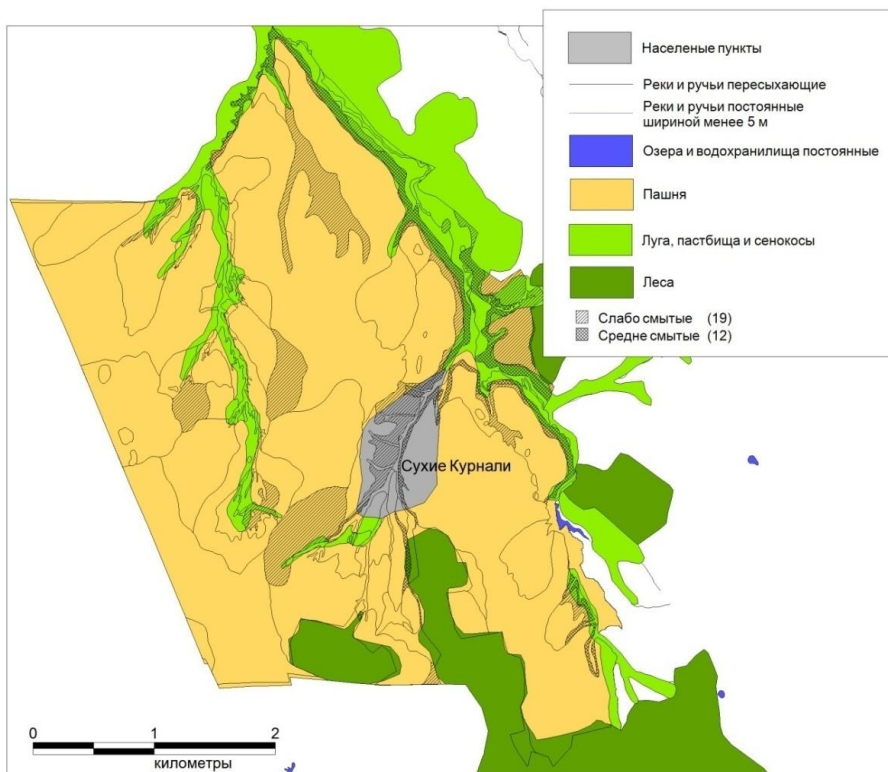


Рис. 2. Карта типов землепользования ключевого участка № 3 (1986 г.)  
Fig. 2. Land use types in the key area № 3 (1986)

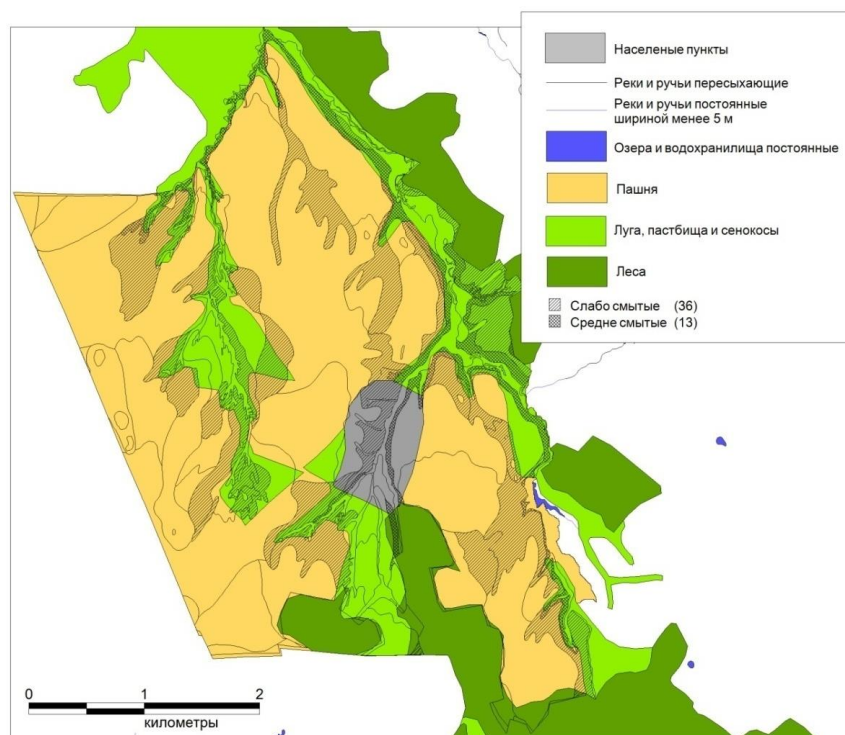


Рис. 3. Карта типов землепользования ключевого участка № 3 (2014 г.)  
Fig. 3. Land use types in the key area № 3 (2014)



Уже при визуальном сравнении можно сказать, что произошло некоторое изменение структуры землепользования, изменились границы распаханых земель, лугов и лесных массивов. На территориях, на протяжении длительного периода времени занятых пашнями, активно продолжается процесс почвенной эрозии, начинают формироваться линейные формы (см. рис. 3), что впоследствии может привести к сокращению площади пригодных к распашке почв.

В целом, можно сказать, что по данным дешифрирования разновременных снимков (табл. 2), на всех ключевых участках в настоящее время наблюдается сокращение площади пашни по сравнению с периодом 1980-х годов. Максимальный процент снижения площади пашни был отмечен на ключевом участке № 6 (Совхоз «Заря» Верхнеуслонского района). На территории пашни на всех ключевых участках идут процессы почвенной эрозии, наблюдается деградация несмытых и слабосмытых почв. Также можно отметить развитие овражно-балочного комплекса, что вызывает изъятие земель из сельскохозяйственного оборота. Таким образом, снижение площади распаханых земель происходит в основном за счет переведения пахотных угодий в категорию лугов, сенокосов и пастбищ, и в меньшей степени за счет зарастания земель лесными сообществами. Прирост площади залесенных территорий наблюдается в основном за счет зарастания луговых сообществ. Наиболее ярко эти процессы выражены на ключевом участке № 4.

Таблица 2

Table 2

Изменение площадей разных типов землепользования на территориях ключевых участков в пределах периода наблюдений

Change in the area of different land use types on the key areas within the observation period

Тип землепользования	Изменение площади, га	Изменение площади, %
Ключевой участок № 1		
Пашня	-223	-6.36
Луга, сенокосы и пастбища	12	1.68
Леса	71	13.87
Ключевой участок № 2		
Пашня	-76	-2.21
Луга, сенокосы и пастбища	46	8.71
Леса	62	32.46
Ключевой участок № 3		
Пашня	-439	-14.40
Луга, сенокосы и пастбища	417	97.20
Леса	10	19.23
Ключевой участок № 4		
Пашня	-242	-9.63
Луга, сенокосы и пастбища	62	12.58
Леса	155	407.89
Ключевой участок № 5		
Пашня	-84	-2.63
Луга, сенокосы и пастбища	184	16.33
Леса	-179	-63.25
Ключевой участок № 6		
Пашня	-424	-16.54
Луга, сенокосы и пастбища	359	55.57
Леса	65	64.36
Ключевой участок № 7		
Пашня	-449	-10.09
Луга, сенокосы и пастбища	343	56.51
Леса	11	1.53

## Выводы

Анализ временной динамики землепользования показывает, что на всех ключевых участках снижение площади распаханых земель происходит в основном за счет перевода пахотных угодий в категорию лугов, сенокосов и пастбищ, и в меньшей степени за счет зарастания земель лесными сообществами. Уже при визуальном сравнении карт почвенной эрозии и типов землепользования практически по всем ключевым участкам можно отметить, что на территориях, на протяжении длительного периода времени занятых пашнями, активно продолжается процесс почвенной эрозии, начинают формироваться линейные формы, что впоследствии может привести к сокращению площади пригодных к распашке почв. Развитие овражно-балочного комплекса вызывает изъятие земель из сельскохозяйственного оборота и переводение их в категорию сенокосов и пастбищ. Также на всех ключевых участках на землях пашни появляются новые контура слабо- и среднесмытых почв. Отмечается смещение контуров почв разной степени смытости и их пространственное перераспределение. Можно отметить также, что процесс почвенной эрозии продолжается как на территории пашни, так и на нераспахиваемых землях.

## Благодарности

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 17-35-50042 «мол\_нр»*

## Список литературы References

1. Аввакумова А.О., Ермолаев О.П. 2011. Методика оценки пространственно-временной динамики эрозии почв по материалам повторных почвенных съемок в регионе интенсивного земледелия средствами ГИС-технологий. Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле, 4: 3–7.
1. Avvakumova A.O., Ermolaev O.P. 2011. Method for assessing the spatial-temporal dynamics of soil erosion based on repeated soil surveys in the intensive agriculture region using GIS technologies. Bulletin of Udmurt University. Biology. Earth Sciences, 4: 3–7. (in Russian)
2. Головина Л.А., Дубовик Д.С. 2011. Топографическое дешифрирование снимков. Новосибирск, СГГА, 60.
2. Golovina L.A., Dubovik D.S. 2011. Topograficheskoe deshifrirovaniye snimkov [Topographic image decoding]. Novosibirsk, SGGA, 60. (in Russian)
3. Евдокимов С.И., Михалап С.Г. 2015. Определение физического смысла комбинации каналов снимков Landsat для мониторинга состояния наземных и водных экосистем. Вестник Псковского государственного университета. Естественные и физико-математические науки, 7: 21–32.
3. Evdokimov S.I., Mikhalap S.G. 2015. Determining the physical meaning of the Landsat image channel combination for monitoring the state of terrestrial and aquatic ecosystems. Bulletin of Pskov State University. Series: Natural and physical and mathematical sciences, 7: 21–32. (in Russian)
4. Иванов М.А. 2015. Методические аспекты картографирования типов землепользования по данным космической съемки. В кн.: География и регион: материалы междунар. науч.-практ. конф. Т. IV. Гидрометеорология. Картография и геоинформатика. (Пермь, 23–25 сентября 2015 г.). Пермь: 203–208.
4. Ivanov M.A. 2015. Methodical aspects of mapping of types of land use from space survey data. In: Geografiya i region: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. IV. Gidrometeorologiya. Kartografiya i geoinformatika [Geography and region: materials of the international. scientific-practical. Conf. IV. Hydrometeorology. Cartography and geoinformatics] (Permian, 23–25 September, 2015). Permian: 203–208. (in Russian)
5. Иванов М.А. 2016. Оценка динамики землепользования в бассейнах рек европейской территории России за последние 30 лет по данным ДЗЗ. В кн.: Теория и методы современной геоморфологии: Материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Т. 2 (Симферополь, 3–8 октября 2016 г.). Симферополь: 362–369.

Ivanov M.A. 2016. Estimation of the dynamics of land use in the basins of the rivers of the European territory of Russia for the last 30 years according to RS. In: *Teoriya i metody sovremennoy geomorfologii: Materialy XXXV Plenuma Geomorfologicheskoy komissii RAN. T. 2* [Theory and methods of modern geomorphology: Proceedings of the XXXV Plenum of the Geomorphological Commission of the Russian Academy of Sciences. 2] (Simferopol, 3–8 October, 2016). Simferopol: 362–369. (in Russian)

6. Лабутина И.А. 2004. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М., Аспект Пресс, 184.

Labutina I.A. 2004. *Deshifrirovaniye aerokosmicheskikh snimkov* [Decoding Aerospace Imagery]. Moscow, Aspekt Press, 184. (in Russian)

7. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Т. 2010. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М., ГЕОС, 426.

Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.T. 2010. *Dinamika sel'skokhozyaystvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoye vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* [Dynamics of agricultural lands in Russia in the XX century and the postagenic restoration of vegetation and soils]. Moscow, GEOS, 426. (in Russian)

8. Танасиенко А.А., Путилин А.Ф., Артамонова В.С. 1999. Экологические аспекты эрозионных процессов: аналитический обзор. Новосибирск, 89.

Tanasienko A.A., Putilin A.F., Artamonova V.S. 1999. *Ekologicheskie aspekty erozionnykh protsessov: analiticheskiy obzor* [Environmental aspects of erosion processes: an analytical overview]. Novosibirsk, 89. (in Russian)

9. Терехин Э.А. 2016. Геоинформационный подход к мониторингу и оценке состояния посевных площадей с применением спутниковых данных (на примере Белгородской области). *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки*, 239 (18): 148–155.

Terekhin E.A. 2016. *Geoinformation approach to monitoring and assessing the condition of cultivated areas using satellite data (for example, Belgorod Region)*. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences, 239 (18): 148–155. (in Russian)

10. Токарева О.С. 2010. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли. Томск, Издательство Томского политехнического университета, 148.

Tokareva O.S. 2010. *Obrabotka i interpretatsiya dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Processing and interpretation of Earth remote sensing data]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publishing House, 148. (in Russian)

11. Фокин А.Д. 1986. Почва, биосфера и жизнь на Земле. М., Наука, 138.

Fokin A.D. 1986. *Pochva, biosfera i zhizn' na Zemle* [Soil, biosphere and life on Earth]. Moscow, Nauka, 138. (in Russian)

12. Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A. 2016. Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique. *Remote Sensing Letters*, 7: 269–278.

13. Buryak Zh.A., Grigoryeva O.I., Pavlyuk Ya.V. 2014. GIS maintenance of rural territories geoplanning under basin principles. *International Journal of Advanced Studies*, 4 (2): 56–60.

14. Cohen W.B., Goward S.N. 2004. Landsat's Role in Ecological Applications of Remote Sensing. *BioScience*, 54: 535.

15. Google Earth. Available at: <https://www.google.com/earth/> (accessed 18 February 2017)

16. Kraemer R., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frühauf M. 2015. Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan. *Environmental Research Letters*, 10: 054012. DOI:10.1088/1748-9326/10/5/054012.

17. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D. 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: 024021.

18. Quinn J.W. 2001. Band Combination. URL: <http://web.pdx.edu/~emch/ip1/bandcombinations.html> (accessed 18 February 2017)





19. United States Geological Survey. Available at: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 18 February 2017)

20. Yermolaev O., Avvakumova A. 2012. Cartographic-geoinformational estimation of spatio-temporal erosion dynamics of arable soils in forest-steppe landscapes of the Russian Plain. In: IAHS-AISH Publication, 356: 332–337.

21. Yermolaev O., Avvakumova A. 2014. GIS methods in evaluation of arable soils' spatial-time erosion dynamics on the territory of the Russian plain. In: 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference – SGEM 2014. Vol. III: Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing: 627–633.

#### **Ссылка для цитирования статьи**

Аввакумова А.О. Анализ динамики структуры землепользования на основании данных дистанционного зондирования Земли // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 2. С. 214–222. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-214-222

Avvakumova A.O. Land-use structure dynamics Analysis using the Earth remote Sensing Data // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series. 2018. V. 42, № 2. P. 214–222. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-214-222