

УДК 528.88

DOI 10.18413/2075-4671-2019-43-2-173-181

**ОЦЕНКА И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ  
СОВРЕМЕННОЙ ЛЕСИСТОСТИ ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ  
БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ**

**EVALUATION AND AUTOMATED MAPPING THE MODERN FOREST  
COVERAGE OF SMALL FLAT-BOTTOM VALLEYS  
IN THE BELGOROD REGION USING SATELLITE DATA**

**Э.А. Терехин  
E.A. Terekhin**

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

Belgorod National Research University,  
85 Pobedy St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

**Аннотация**

Исследование современной лесистости овражно-балочных систем является одной из актуальных задач при оценке региональных особенностей растительного покрова на юге Среднерусской возвышенности. В статье изложены результаты сравнения спектрально-отражательных свойств покрытых и не покрытых лесом участков балок региона на основе снимков Sentinel-2. На основе анализа 754 участков установлено, что средняя площадь покрытых лесом территорий составила 3.8 га, не покрытых лесом – 54.4 га. Установлены значимые различия в средних инфракрасных (SWIR) коэффициентах облесенных и необлесенных участков балок, которые могут быть использованы для их распознавания. Предложен способ автоматизированного выявления покрытых лесом участков овражно-балочных систем на основе результатов обработки снимков Sentinel-2. В основе способа результаты анализа SWIR-коэффициентов отражения или величин расчетного проективного покрытия, полученные с применением статистического метода дерева решений. Точность картографирования покрытых лесом ареалов составила 85 %.

**Abstract**

The study of modern forest coverage of ravine-balks systems (small flat-bottom valleys) is one of the urgent problems in assessing the regional features of vegetation in the south of the Central Russian Upland. The article presents the results of the reflective properties comparison of forest and unforested territories of ravine-balks systems in region using Sentinel-2 remote sensing data. Using data from 754 plots, it was established that the average area of forest-covered areas was 3.8 hectares, not covered by forest – 54.4 hectares. Significant differences in the SWIR reflectances of forested and unforested areas, which can be used for their recognition, are established. A method is proposed for the automated detection of forest-covered areas of ravine-balks systems based on the results of Sentinel-2 image processing. The method uses the results of SWIR reflection coefficients analysis or the fraction green vegetation calculated values using the statistical method of the decision tree. The accuracy of the mapping of forest-covered areas was 85%. The proposed approach can be used to analyze the forest cover of landscapes typical of the Central Russian Upland.

**Ключевые слова:** лес, овражно-балочные системы, данные дистанционного зондирования, Среднерусская возвышенность, Sentinel.

**Keywords:** forest, small flat-bottom valleys, remote sensing data, Central Russian Upland, Sentinel.

---



## Введение

На территории Белгородской области, располагающейся на юге Среднерусской возвышенности, овражно-балочная сеть является неотъемлемым компонентом ландшафтов. Балки и овраги распространены практически повсеместно, окаймляя во многих местах контуры аграрных угодий, занимающих свыше 55 % территории региона.

Изучение современной лесистости овражно-балочных систем является одной из актуальных региональных задач в связи с тем, что согласно исследованиям [Chendev et al., 2016] на территории лесостепной зоны, начиная с 1970-х гг. протекают процессы лесовозобновления, которые в пределах оврагов и балок получили наиболее интенсивное развитие [Терехин, 2018]. Одновременно с этим актуальность представляет изучение возможностей автоматизированного картографирования покрытых лесом участков балочных систем с использованием возможностей современных спутниковых данных.

Одними из них являются данные с сенсоров Sentinel-2 [Korhonen et al., 2017; Astola et al., 2019; Wittke et al., 2019], накопление фонда которых происходит с 2015 г. Пространственное разрешение их основных каналов составляет от 10 до 20 м. Одним из преимуществ этого типа данных является высокая радиометрическая точность, которая должна позволять эффективно выявлять различия между разными классами объектов, что очень важно при разработке методов автоматизированного дешифрирования. Другим из их преимуществ является достаточно большой охват спутниковой сцены (110×110 км), что упрощает задачу изучения региональных особенностей какого-либо компонента природной среды и его территориальных характеристик. К настоящему времени возможности этих снимков для анализа состояния объектов земной поверхности и их картографирования до конца не изучены.

Совершенствование методов дешифрирования лесов является в свою очередь необходимым для выявления изменений в лесопокрытых землях [Zhang et al., 2014; Schmidt et al., 2015; Zhu, 2017], анализа их пространственных особенностей [Wulder et al., 2008; Castillo et al., 2015] и тенденций развития [Frantz et al., 2016]. Количественная оценка возможностей отражательных свойств объектов при этом остается одним из перспективных направлений исследования природной среды, в связи с тем, что может быть применена для описания тенденций развития растительного покрова [Jamali et al., 2014; Hermosilla et al., 2015; Estel et al., 2015].

В настоящее время экосистемы овражно-балочной сети в регионе испытывают значительно меньшую антропогенную нагрузку по сравнению со многими другими угодьями области. Поэтому с точки зрения анализа современных тенденций и изменений в растительном покрове они выступают одними из наиболее предпочтительных объектов. Актуальность изучения данной проблемы обусловлена тем, что в регионе за последние десятилетия наблюдаются определенные изменения в климатических факторах [Лебедева, Крымская, 2008; Лебедева и др., 2017]. Одновременно с ними происходят изменения в хозяйственном использовании овражно-балочной сети, связанные со снижением степени их использования под пастбища, что, в свою очередь, обусловлено изменением поголовья сельскохозяйственных животных [Белгородская область ..., 2018].

Цель исследования заключалась в анализе спектрально-отражательных свойств покрытых лесом участков овражно-балочных систем и оценке возможностей спутниковых данных Sentinel-2 для их автоматизированного картографирования.

## Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были отобраны 63 овражно-балочные системы (ОБС), расположенные в различных частях Белгородской области, суммарной площадью около 10260 га. ОБС подбирались таким образом, чтобы репрезентативно отражать их региональные современные особенности растительного покрова. Для исследования нами

выбирались овражно-балочные системы, в которых не располагались населенные пункты, элементы дорожно-транспортной сети или промышленные объекты.

Объективная оценка возможностей автоматизированного картографирования участков древесной растительности, находящихся в овражно-балочных системах, на основе их спектрально-отражательных свойств требовала создания векторного слоя всех анализируемых объектов. Поэтому для каждого из них на основе мозаик снимков 2014–2016 гг. с пространственным разрешением 2 м/пиксель, полученных с ресурса ArcGIS World Imagery, методом оцифровки в программе ArcGIS был создан векторный слой, характеризующий контуры всех овражно-балочных систем. Он позволил точно оценить их площади. После этого для каждой овражно-балочной системы выполнили картографирование облесенных и необлесенных участков по тем же спутниковым данным.

Благодаря применению спутниковых снимков соответствующего пространственного разрешения удалось очень точно дешифровать расположение в овражно-балочных системах облесенных и необлесенных участков, а впоследствии рассчитать их спектрально-отражательные свойства. Для каждой ОБС оценили площадь облесенных и необлесенных территорий (табл. 1), кроме того для каждой овражно-балочной системы была вычислена современная лесистость. Из табл. 1 видно, что площадь лесных участков ниже, чем площадь ареалов с травяными сообществами (безлесных участков). Из таблицы также видно, что средняя площадь облесенных участков значительно меньше средней площади участков балок, не покрытых лесом. Данные в табл. 1 во многом отражают региональные особенности современного покрытия лесом овражно-балочных систем. Они состоят в том, что на основных частях балок пока еще доминируют травяные сообщества, но при этом достаточно велика и доля древесных насаждений.

Таблица 1  
Table 1

Характеристики проанализированных участков овражно-балочных систем  
Parameters the small flat-bottom valleys, analyzed in the study

Тип участков ОБС	Число	Площадь общая, га	Площадь средняя, га
Участки, покрытые лесом	616	2335.6	3.8
Участки, не покрытые лесом	138	7925.4	54.4

На следующем этапе осуществили подборку снимков Sentinel-2, на основе которых были оценены спектрально-отражательные признаки анализируемых объектов. Спутник Sentinel-2A, первый в соответствующей серии, был запущен в июне 2015 г. Снимки с него содержат 13 каналов, в том числе каналы из разных зон спектра с пространственным разрешением от 10 до 60 м. Для анализа спектрально-отражательных свойств нами использовались каналы с разрешением 10 и 20 м, что позволило достаточно эффективно проанализировать отражательные свойства анализируемых оврагов и балок.

Т.к. исследуемые овражно-балочные системы располагались в разных частях Белгородской области, то требовалось практически полное покрытие снимками Sentinel-2 территории исследования. При этом было необходимо, что все снимки были получены примерно в одни и те же сроки. Такое покрытие, ближайшее ко времени получения мозаик снимков ArcGIS World Imagery, на основе которых оценивали современную лесистость, удалось подобрать на август 2016 г. (табл. 2). Снимки Sentinel-2 были получены с ресурса [Earthexplorer, 2019] национальной геологической службы USGS.

Спутниковые данные Sentinel-2 имеют начальный уровень обработки L1C, т.е. для них выполнена геометрическая коррекция и радиометрическая калибровка, (перевод в значения отражения на верхней границе атмосферы), тем не менее, они требовали



дополнительной обработки, включающей атмосферную коррекцию. Ее осуществили с использованием программного обеспечения SNAP (<http://step.esa.int/main/toolboxes/snap>), разработанного специально для анализа снимков со спутников Sentinel.

Таблица 2

Table 2

Покрытие анализируемых овражно-балочных систем снимками Sentinel-2A  
Coverage of the analyzed small flat-bottom valleys with Sentinel-2A images

Административный район	Ячейка спутниковой сцены	Дата получения снимка
Борисовский и Ракитянский	T36UXB	30.08.2016
Ивнянский, Прохоровский, Шебекинский	T37UCS	30.08.2016
Новооскольский и Чернянский	T37UDS	27.08.2016
Ровеньской и Вейделевский	T37UDR	27.08.2016

Для каждого снимка с использованием модуля Sen2Cor [Sola et al., 2018] осуществили атмосферную коррекцию, в результате которой изображения были пересчитаны в значения отражательной способности на нижней границе атмосферы (пересчет в уровень L2A).

Для исследования возможностей автоматизированного картографирования облесенных участков овражно-балочных сетей нами были использованы:

- растры коэффициентов отражения (коэффициентов спектральной яркости, КСЯ) 11-го (SWIR) канала снимков Sentinel;

- растры проективного покрытия зеленой фитомассой (FVC), вычисленные в программе SNAP с помощью алгоритма Biophysical Processor. Этот алгоритм основан на обученной нейронной сети.

Коэффициенты отражения среднего инфракрасного (SWIR) диапазона были использованы нами вследствие того, что согласно исследованиям, проведенным по данным Landsat [Терехин, 2017] они являются одними из наиболее информативных для анализа состояния лесных сообществ и выявления ареалов вновь появившейся древесной растительности.

Показатель проективного покрытия зеленой фитомассой был использован вследствие того, что эта величина для древесных сообществ как правило, всегда выше, чем для травяных экосистем, а, следовательно, высока вероятность его применения для разделения лесных и нелесных участков. С другой стороны, необходимо учитывать, что используемый нами показатель был не фактический, а расчетный.

Первый этап статистического анализа включал оценку основных статистических параметров для спектральных показателей участков овражно-балочных систем и анализ значимости различий отражательных свойств покрытых и не покрытых лесом участков ОБС. Для оценки возможности автоматизированного выявления облесенных и необлесенных участков балок предварительно было выполнено сравнение их средних величин для коэффициентов отражения и проективного покрытия. Поэтому для каждого анализируемого облесенного или необлесенного участка ОБС методом зональной статистики в программе ERDAS вычислили средние значения и стандартные отклонения SWIR-коэффициентов и FVC. На основе полученной выборки в программе STATISTICA рассчитали и оценили средние значений исследуемых величин для покрытых и непокрытых лесом участков овражно-балочной сети.

Для повышения точности проводимых оценок при анализе спектральных характеристик использовали только облесенные или необлесенные ареалы площадью не менее 5 га. Также из анализа были исключены все участки овражно-балочных систем, не покрытые снимками Sentinel. Такие участки присутствовали в некоторых местах в связи с

тем, что некоторые участки Белгородской области не были полностью покрыты снимками, хотя таких участков было немного. Вследствие этого площадь ареалов для расчета спектральных характеристик и проективного покрытия была немного меньше площади, на которой проводилось их картографирование.

Следующий, основной этап статистического анализа состоял непосредственно в оценке возможностей автоматизированного разделения покрытых и не покрытых лесом участков ОБС на основе величины коэффициентов SWIR-диапазона или проективного покрытия. Она была выполнена с использованием метода деревьев решений (decision tree) в программе STATISTICA.

Полученные результаты были использованы для автоматизированного выявления покрытых лесом участков овражно-балочных систем в программе ArcGIS и сравнения с фактическими величинами площадей облесенных участков, рассчитанными на основе мозаик снимков ArcGIS World Imagery.

### Результаты и их обсуждение

Применение мозаик снимков высокого пространственного разрешения (2 м/пиксель) позволило не только достоверно оценить и картографировать территориальное распространение покрытых лесом участков внутри овражно-балочных систем, но и объективно рассчитать их отражательные свойства. На рис. 1 показан пример картографирования облесенных участков в пределах балок и результат их сопоставления с растрами значений проективного покрытия, либо SWIR-коэффициентов, на основе которых были изучены их значения для облесенных и необлесенных участков. Дешифрирование лесных ареалов подобным образом провели в каждой из 63-х изученных овражно-балочных систем.

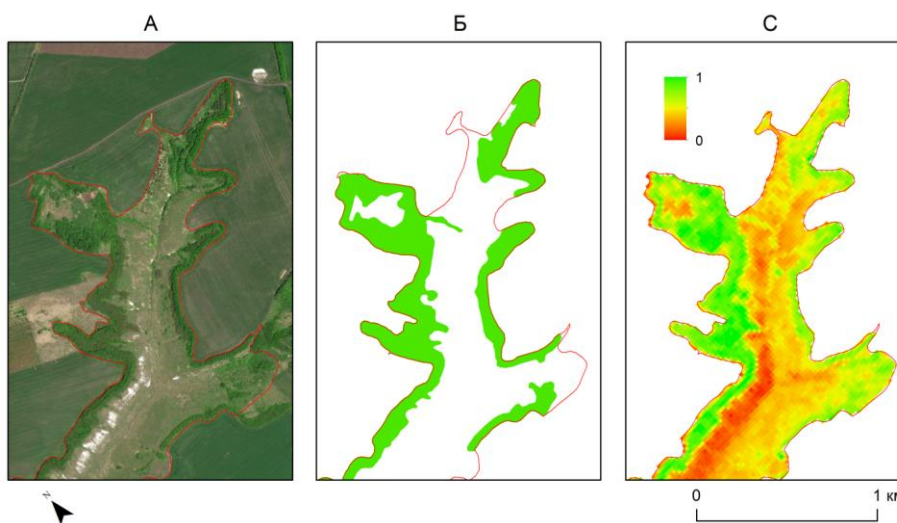


Рис. 1. Пример картографирования покрытых лесом участков овражно-балочных систем.

А – космический снимок.

Б – результат картографирования лесистости на его основе.

С – результат оценки проективного покрытия на основе данных Sentinel-2.

Fig. 1. An example of mapping forest land. А – the result of forest mapping.

С – an example of fraction vegetation cover estimation using Sentinel-2 data.

Статистический анализ коэффициентов отражения SWIR-диапазона и расчетной величины проективного покрытия зеленой фитомассой для облесенных и необлесенных участков овражно-балочных систем, проведенный на основе критерия Манна-Уитни (непараметрический аналог t-критерия), показал статистическую значимость их различий. Среднее значений SWIR-коэффициентов отражения покрытых лесом ареалов значительно ниже, чем аналогичные величины необлесенных участков (табл. 3). Средняя расчетная

величина проективного покрытия зеленой фитомассой (FVC) для облесенных участков наоборот, заметно выше. Значимость различий соответствующих параметров предварительно указывает на наличие возможности их использования для автоматизированного разделения облесенных и необлесенных участков овражно-балочных систем, но полноценный ответ на этот вопрос можно было получить, только после применения специальных статистических методов разделения или группировки данных.

Таблица 3  
Table 3

Характеристики коэффициентов отражения SWIR-диапазона и величин FVC для облесенных и необлесенных участков овражно-балочных систем  
Parameters of SWIR-reflectance and FVC values for afforested and unafforested areas in small flat-bottom valleys

Тип ареала ОБС	Число	Среднее КСЯ 11-го канала*	Ст. откл. КСЯ 11-го канала	Среднее FVC	Ст. откл. FVC
Покрытые лесом	113	1731.1	173.5	0.546	0.069
Не покрытые лесом	62	2266.4	142.3	0.422	0.059
Всего	175	1920.7	303.9	0.502	0.089

\*коэффициенты отражения умножены на 10000.

К таким способам относится статистический метод дерева решений. Он основан на поиске значений независимых переменных, позволяющих максимально достоверно разделить исследуемые классы. Независимыми переменными в нашем случае выступали значения SWIR коэффициентов отражения и расчетные величины проективного покрытия (FVC). Предпочтение применению этого метода нами отдано в связи с тем, что различия в средних величинах обозначенных параметров для лесных и травяных участков овражно-балочных систем были достаточно велики, а, следовательно, высока вероятность разделения классов этих объектов уже на начальных этапах ветвления.

Результаты исследования показали, что разделение лесных и не покрытых лесом участков на основе этих параметров при использовании дерева решений происходит уже на первой ветви и при этом с достаточно высокой точностью.

Из табл. 4 видно, что эффективность автоматизированного разделение лесных и нелесных участков овражно-балочных систем на основе SWIR-коэффициентов отражения оказалась выше, чем на основе значений FVC. Однако для полноценного ответа на этот вопрос необходима верификация полученных результатов методом сравнения площадей облесенных и необлесенных ареалов, вычисленных на их основе с фактическими значениями.

По результатам дерева решений были вычислены пороговые значения, на основе которых может быть выполнено разделение покрытых и не покрытых лесом участков. Для SWIR-коэффициентов, умноженных на 10000, это значение составило 1982.9 по методу Cart и 2043.8 по методу одномерного ветвления. Для FVC этот показатель равнялся 0.5090 по методу Cart и 0.4640 по методу одномерного ветвления.

Сравнение расчетных и фактических площадей лесных и нелесных ареалов анализируемых овражно-балочных систем показало (табл. 5), что более близки к фактическим площадям оказались площади, вычисленных на основе FVC по методу одномерного ветвления. Стоит отметить, что суммарная фактическая площадь также несколько отличалась от фактической. Обусловлено это тем, что все вычисления производились на основе растров SWIR-коэффициентов и FVC с пространственным разрешением 20 м/пиксель, обрезанных по контурам овражно-балочных систем. Фактические площади были вычислены на основе векторных данных.

Таблица 4  
Table 4

Количество правильно распознавания лесных и не покрытых лесом участков овражно-балочных систем на основе коэффициентов отражения SWIR-диапазона и величин FVC  
The number of correct recognition the forest and grass areas of small flat-bottom valleys based on the SWIR reflectance and FVC values

Тип участка ОБС	Фактическое число	SWIR-коэффициенты отражения		Значения FVC	
		Cart-метод	Одномерное ветвление	Cart-метод	Одномерное ветвление
Покрытые лесом	113	107	109	84	96
Не покрытые лесом	62	61	59	59	49

Таблица 5  
Table 5

Точность оценки площадей покрытых лесом участков овражно-балочных систем  
Accuracy of estimation the areas of forest sites in small flat-bottom valleys

Тип участка ОБС	Площадь фактическая, га	Площадь на основе SWIR-КСЯ, га	Площадь на основе FVC, га
Покрытые лесом	2219.6	2715.1	2556.04
Не покрытые лесом	7633.6	7183.4	7369.68
Всего	9853.2	9898.5	9925.72
Лесистость	0.23	0.27	0.26

На рис. 2 представлен пример сравнения фактического размещения облесенных участков овражно-балочных систем с результатами, вычисленными на основе спутниковых данных.

Из рис. 2 видно, что эффективность применения предложенного метода достаточно высока. При этом его преимущество заключается в том, что полученные достаточно точные результаты рассчитаны на основе растровых, а не векторных данных. Соответственно, предложенный метод может быть использован для картографирования и оценки лесистости овражно-балочных систем региона.

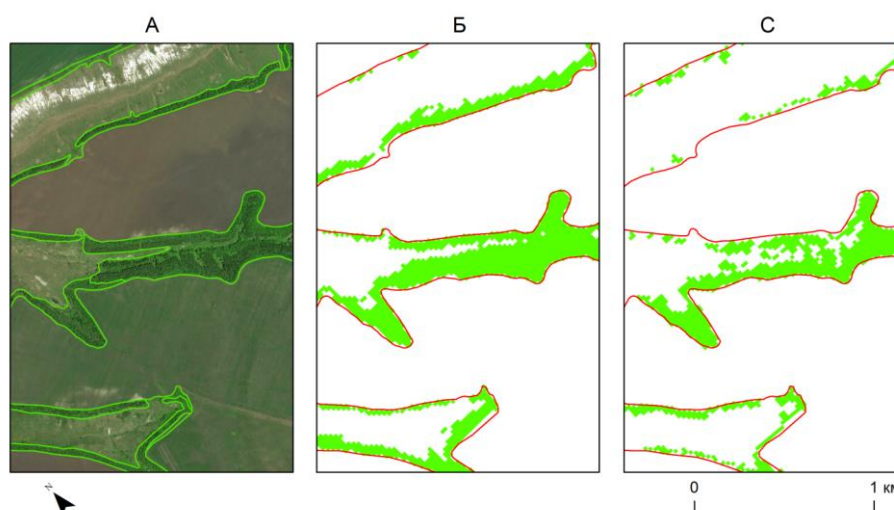


Рис. 2. Пример сравнения фактического местоположения покрытых лесом участков овражно-балочных систем (А) с результатами их автоматизированного картографирования на основе SWIR-коэффициентов Sentinel-2 (Б) и значений проективного покрытия (С).

Fig. 2. An example of forest land automated mapping. A – an actual forest lands. B – Result of automated mapping using Sentinel-2 SWIR-coefficients. C – The result of automated mapping using fraction of vegetation fraction values.

### Выводы

На основе снимков высокого пространственного разрешения определена средняя площадь лесных и безлесных, преимущественно травяных участков, распространенных в овражно-балочных системах Белгородской области. Исследованы спектрально-отражательные свойства лесных и травяных участков овражно-балочных систем. Предложен новый метод автоматизированного картографирования покрытых лесов территорий овражно-балочных систем, основанный на результатах изучения их коэффициентов отражения и значений проективного покрытия зеленой фитомассой. Метод может быть использован для анализа лесистости овражно-балочных систем, типичных для юга Среднерусской возвышенности.

### Благодарности

*«Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-45-310008».*

### Список литературы

#### References

1. Белгородская область в цифрах. 2018. Краткий статистический сборник. Белгородстат, 300. Belgorod region in numbers. 2018. Short statistical compilation. Belgorodstat, 300. (in Russian)
2. Лебедева М.Г., Крымская О.В. 2008. Проявление современных климатических изменений в Белгородской области. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки, 3 (6): 188–196.  
Lebedeva M.G., Krymskaya O.V. 2008. The manifestation of modern climate change in the Belgorod region. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences, 3 (6): 188–196. (in Russian)
3. Лебедева М.Г., Крымская О.В., Чендев Ю.Г. 2017. Изменения условий атмосферной циркуляции и региональные климатические характеристики на рубеже XX–XXI вв. (на примере Белгородской области). Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки, 40: 157–163.  
Lebedeva M.G., Krymskaya O.V., Chendev Y.G. 2017. Changes in the atmospheric circulation conditions and regional climatic characteristics at the turn of XX–XXI centuries (on example of Belgorod region). Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences, 40: 157–163. (in Russian)
4. Терехин Э.А. 2018. Изменение лесистости овражно-балочных систем юга Среднерусской возвышенности за последние десятилетия. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки, 42 (2): 223–230.  
Terekhin E.A. 2018. Changes in Forest Cover of Ravines-Balks Network in the South of the Central Russian Upland in Recent Decades. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences, 42 (2): 223–230. (in Russian)
5. Терехин Э.А. 2017. Влияние степени нарушенности лесных экосистем на динамику их спектрально-яркостных характеристик. Biogeosystem Technique, 2017. 4 (1): 95–108.  
Terekhin E.A. 2017. Influence of the Forest Ecosystems Disturbance on their Spectral Reflectance Properties Dynamics. Biogeosystem Technique, 4 (1): 95–108. (in Russian)
6. Astola H., Häme T., Sirro L., Molinier M., Kilpi J. 2019. Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 imagery for forest variable prediction in boreal region. Remote Sensing of Environment, 223: 257–273.
7. Castillo E.M., García-Martin A., Aladrén L.A., Luis M. 2015. Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain). Applied Geography, 62: 247–255.
8. Chendev Y.G., Hubbart J.A., Terekhin E.A., Lupo A.R., Sauer T.J., Burras C.L. 2016. Recent afforestation in the Iowa river and Vorskla river basins: A comparative trends analysis. Forests, 7 (11): 278.
9. Estel S., Kuemmerle T., Levers C., Hostert P., Alcántara C., Prishchepov A. 2015. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. Remote Sensing of Environment, 163: 312–325.



10. Frantz D., Röder A., Udelhoven T., Schmidt M. 2016. Forest Disturbance Mapping Using Dense Synthetic Landsat/MODIS Time-Series and Permutation-Based Disturbance Index Detection, *Remote Sensing*, 8: 277.
11. Hermosilla T., Wulder M.A., White J.C., Coops N.C., Hobart G.W. 2015. Regional detection, characterization, and attribution of annual forest change from 1984 to 2012 using Landsat-derived time-series metrics. *Remote Sensing of Environment*, 170: 121–132.
12. Jamali S., Seaquist J., Eklundh L., Ardö J. 2014. Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over the Sahel. *Remote Sensing of Environment*, 141 (9): 79–89.
13. Korhonen L., Hadi Packalen P., Rautiainen M. 2017. Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 in the estimation of boreal forest canopy cover and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 195: 259–274.
14. Schmidt M., Lucas R., Bunting P., Verbesselt J., Armston J. 2015. Multi-resolution time series imagery for forest disturbance and regrowth monitoring in Queensland, Australia. *Remote Sensing of Environment*, 158: 156–168.
15. Sola I., García-Martín A., Sardonís-Pozo L., Álvarez-Mozos J., Pérez-Cabello F., González-Audicana M., Montorio Llovería R. 2018. Assessment of atmospheric correction methods for Sentinel-2 images in Mediterranean landscapes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73: 63–76.
16. Wittke S., Yu X., Karjalainen M., Hyyppä J., Puttonen E. 2019. Comparison of two-dimensional multitemporal Sentinel-2 data with three-dimensional remote sensing data sources for forest inventory parameter estimation over a boreal forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 76: 167–178.
17. Wulder M.A., Ortleypp S.M., White J.C., Maxwell S. 2008. Evaluation of Landsat-7 SLC-off image products for forest change detection. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34: 93–99.
18. Zhang J., Pham T.-T.-H., Kalacska M., Turner S. 2014. Using Landsat Thematic Mapper records to map land cover change and the impacts of reforestation programmes in the borderlands of southeast Yunnan, China: 1990–2010. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 31: 25–36.
19. Zhu Z. 2017. Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130: 370–384.
20. Earthexplorer. 2019. Available at: <http://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 14 March 2019).

#### Ссылка для цитирования статьи

#### Reference to article

Терехин Э.А. Оценка и автоматизированное картографирование современной лесистости овражно-балочных систем Белгородской области на основе спутниковых данных // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2019. Т. 43, №2. С. 173–181. doi: 10.18413/2075-4671-2019-43-2-173-181

Terekhin E.A. Evaluation and Automated Mapping the Modern Forest Coverage of Small Flat-Bottom Valleys in the Belgorod Region Using Satellite Data // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series. 2019. V. 43, №2. P. 173–181. doi: 10.18413/2075-4671-2019-43-2-173-181