



Научная статья

УДК 332.3; 332.54

doi: 10.55186/25876740\_2024\_67\_4\_384

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ТЕМАТИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОПРОДУКТИВНОСТИ УГОДИЙ

А.П. Сизов<sup>1</sup>, Е.Г. Черных<sup>2</sup>, В.Н. Щукина<sup>2</sup>, К.Р. Меркурьева<sup>2</sup><sup>1</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия<sup>2</sup>Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена анализу дистанционного зондирования земли для определения величины средоформирующего показателя (СФП) территории муниципального образования. Актуальность работы выражена в необходимости получения информации с целью дальнейшего управления развитием территории, на основе достоверности и детализации полученной информации, с помощью которых достигаются краткосрочные или долгосрочные цели управления развитием земельного фонда муниципальных образований. В ходе исследования авторами применяется комбинирование процедур дешифрирования космических изображений и расчетных процедур вычисления вегетационного индекса, на основе чего осуществляется определение границ и типов сельскохозяйственных угодий в целях решения задач по мониторингу и оценки состояния указанных объектов. Применение разработанной методики обеспечивает стремительное получение необходимых данных и значительно ускоряет процесс оценки исследуемой территории. Авторами получен комплекс результатов по вычислению и анализу величины СФП территории, в частности алгоритм определения СФП территории применительно к территории муниципального образования и методика вычислений, результаты экспериментального вычисления потенциала для территорий репрезентативных муниципальных образований Тюменской области. Определение средоформирующего потенциала обеспечивает оценку состояния земель с точки зрения отражения динамических данных по приросту или уменьшению величины данного показателя, являющегося одновременно индикатором, способным интегрировать в себе совокупность показателей состояния и качества земель территории и отражать их в землеустроительных, градостроительных решениях и при территориальном планировании.

**Ключевые слова:** средоформирующий показатель территории, угодья, земли сельскохозяйственного назначения, дистанционное зондирование земли, вегетационный индекс, управление развитием территории

**Благодарности:** исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00051, <https://rscf.ru/project/23-27-00051/>, выполняющегося на базе Московского государственного университета геодезии и картографии.

Original article

## DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE THEMATIC INTERPRETATION OF SPACE IMAGES FOR THE PURPOSE OF DETERMINING BIOPRODUCTIVITY OF LAND

A.P. Sizov<sup>1</sup>, E.G. Chernykh<sup>2</sup>, V.N. Shchukina<sup>2</sup>, K.R. Merkurieva<sup>2</sup><sup>1</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia<sup>2</sup>Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of remote sensing of the earth to determine the value of the environmental indicator of the territory (SFP) of the municipality. The relevance of the work is expressed in the need to obtain information in order to further manage the development of the territory, based on the reliability and detail of the information received, with the help of which short-term or long-term goals of managing the development of the land fund of municipalities are achieved. In the course of the study, the authors use a combination of procedures for decoding satellite images and calculation procedures for calculating the vegetation index, on the basis of which the boundaries and types of agricultural land are determined in order to solve problems of monitoring and assessing the condition of these objects. The application of the developed methodology ensures the rapid receipt of the necessary data and significantly speeds up the assessment process of the studied area. The authors obtained a set of results for calculating and analyzing the value of the SFP of the territory, in particular, the algorithm for determining the environmental indicator of the territory of the territory in relation to the territory of the municipality and the calculation method, the results of experimental calculation of the potential for the territories of representative municipalities of the Tyumen region. The definition of the environmental potential provides an assessment of the state of the land in terms of reflecting dynamic data on the increase or decrease in the value of this indicator, which is at the same time an indicator capable of integrating a set of indicators of the state and quality of the territory's lands and reflecting them in land management, urban planning decisions and territorial planning.

**Keywords:** the environment-forming indicator of the territory, lands, agricultural lands, remote sensing of the land, vegetation index, territory development management

**Acknowledgments:** the research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-27-00051, <https://rscf.ru/project/23-27-00051/>, performed on the basis of the Moscow State University of Geodesy and Cartography.

**Введение.** Оценка биопродуктивности сельскохозяйственных угодий является важнейшей стратегической народнохозяйственной задачей страны.

Земельные угодья — это земли, систематически используемые или пригодные к использованию для конкретных хозяйственных целей и отличающиеся по природно-историческим признакам. Учет земель по угодьям ведется в соответствии с их фактическим состоянием и использованием (рис. 1).

В соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступившими в силу с 01.03.2024), компоненты природной среды — это земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле. Все

вышеуказанные компоненты образуют тесную взаимосвязь факторов и условий территории, обладающей средообразующими (СОС), средовоспроизводящими (СВС) и средозащитными (СЗС) свойствами.

Признаками эффективного использования земель является перечень из четырех групп показателей (рис. 2).

Актуальность работы продиктована необходимостью получения информации с целью дальнейшего управления развитием территории.



Благодаря достоверности и детализации этой информации достигаются краткосрочные или долгосрочные цели управления развитием земельного фонда муниципальных образований.

**Методы или методология проведения исследования.** Исследование выполнено на основе методов информационно-логического и сравнительно-географического анализа.

Под средоформирующим показателем (СФП) территорий в широком смысле в проекте мы понимаем сочетание компонентов природной среды, куда следует отнести запасы ресурсов, воздействие различных факторов естественной среды и условия, характерные для исследуемой территории, которые в своем сочетании и комбинировании обладают средообразую-

щими (СОС), средовоспроизводящими (СВС) и средозащитными (СЗС) свойствами (включая климатические, геологические, гидрологические, земельные, почвенные и др., а также антропогенные):

$$\text{СФП} = \Sigma(\text{СОС}, \text{СВС}, \text{СЗС}).$$

Указанные свойства определяют количественные показатели выделения кислорода и поглощения углекислого газа на единицу площади и соотношение данных процессов [2, 3]. Таким образом, можно формализовать концептуальное положение наших исследований:

$$O_2 \uparrow / CO_2 \downarrow = f(\text{СФП}).$$

Методика дешифрирования космических снимков и интерпретации данных для определения СФП территории в общем виде состоит из нескольких последовательных этапов [4] (рис. 3).

Расчет индекса NDVI необходим как инструмент, часто применяющийся в практике дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) с целью подтверждения разработанной теории в определении СФП угодий. Вышеупомянутый индекс необходим для пикселизации растра с отображением в контурах угодий некоторых «элементарных ячеек», имеющих постоянный размер и изменяющиеся цветовые характеристики в зависимости от расчетных значений индекса NDVI (рис. 4).



Рисунок 1. Виды и состав угодий  
Figure 1. Types and composition of land

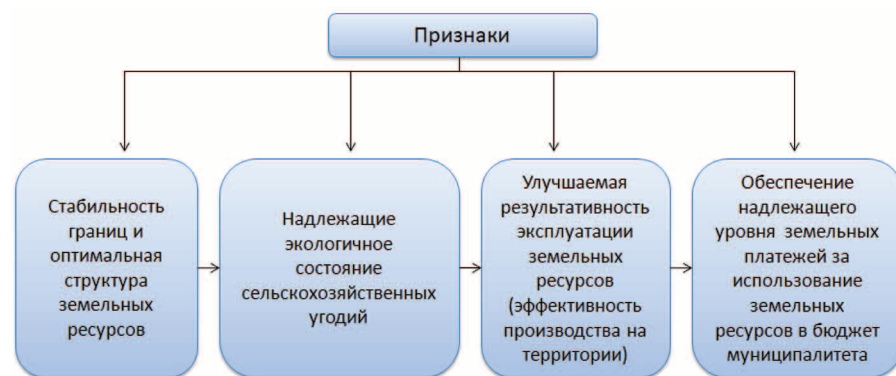


Рисунок 2. Признаками эффективного использования земель  
Figure 2. Signs of efficient land use

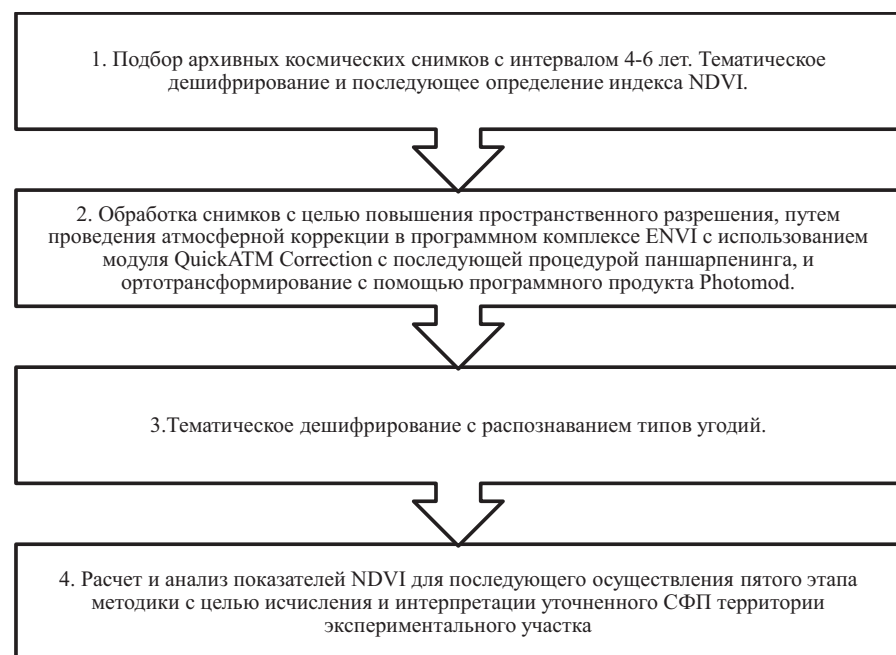
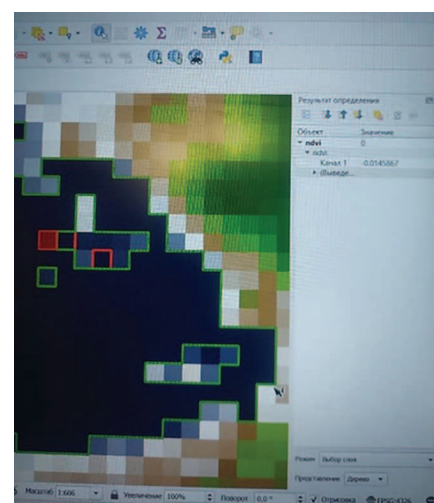


Рисунок 3. Методика дешифрирования космических снимков  
Figure 3. Methodology for interpreting satellite images



Значение	Цвет	Обозначение
-0.000000	Dark Blue	-1.00 - 0.000
0.033000	Dark Blue	0.000 - 0.033
0.066000	Dark Blue	0.033 - 0.066
0.100000	Dark Blue	0.066 - 0.100
0.133000	Dark Blue	0.100 - 0.133
0.166000	Dark Blue	0.133 - 0.166
0.200000	Dark Blue	0.166 - 0.200
0.250000	Dark Blue	0.200 - 0.250
0.300000	Dark Blue	0.250 - 0.300
0.350000	Dark Blue	0.300 - 0.350
0.400000	Dark Blue	0.350 - 0.400
0.450000	Dark Blue	0.400 - 0.450
0.500000	Dark Blue	0.450 - 0.500
0.600000	Dark Blue	0.500 - 0.600
0.700000	Dark Blue	0.600 - 0.700
0.800000	Dark Blue	0.700 - 0.800
0.900000	Dark Blue	0.800 - 0.900
1.000000	Dark Blue	0.900 - 1.000

Рисунок 4. Фрагмент выделения элементарных ячеек контура с соответствующей шкалой интерполяции цветов и значений NDVI  
Figure 4. Fragment of the selection of elementary cells of a contour with the corresponding interpolation scale of colors and NDVI values



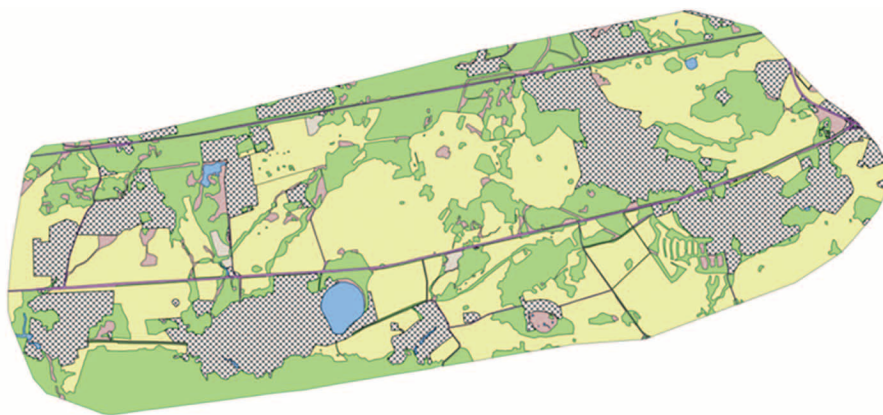


Рисунок 5. Фрагмент представления оцифрованного спутникового снимка по видам угодий средствами QGIS  
Figure 5. Fragment of representation of a digitized satellite image by land type using QGIS

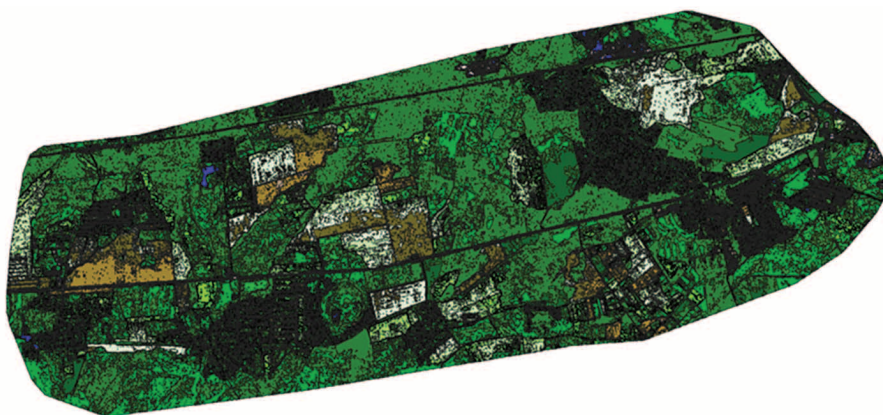


Рисунок 6. Фрагмент представления растрового изображения в векторной форме по преобразованным значениям индекса  
Figure 6. Fragment of the representation of a raster image in vector form using converted index values

Таблица. Фрагмент сводной таблицы распределения значений индекса NDVI в соответствии с видом угодья для отдельных контуров  
Table. Fragment of the summary table of distribution of NDVI index values in accordance with the type of land for individual contours

Категория	Количество контуров	№ контура	Интервал ndvi	Кол-во ячеек
1-Пашня	3	1-3	0,35-0,4	213
1-Пашня	3	1-3	0,4-0,45	1059
1-Пашня	3	1-3	0,45-0,5	15551
1-Пашня	3	1-3	0,5-0,6	7091
1-Пашня	3	1-3	0,7-0,8	22
1-Пашня	3	1-3	0,8-0,9	0
Итого				175766
2-Прочие с/х земли	1	1-1	-1-0	0
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0-0,033	2
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,033-0,066	50
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,066-0,1	119
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,1-0,133	100
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,133-0,166	82
2-Прочие с/х земли	1	1-1	1,66-0,2	105
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,2-0,25	232
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,25-0,3	490
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,3-0,35	561
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,35-0,4	471
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,4-0,45	458
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,45-0,5	494
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,5-0,6	1900
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,7-0,8	500
2-Прочие с/х земли	1	1-1	0,8-0,9	0
Итого				5564
3-Залежь	2	1-1	-1-0	0
3-Залежь	2	1-1	0-0,033	0
3-Залежь	2	1-1	0,033-0,066	0



Рисунок 7. Фрагмент представления векторного слоя для контура «Гидрография» со значениями индекса меньше 0  
Figure 7. Fragment of the vector layer representation for the "Hydrography" contour with index values less than 0

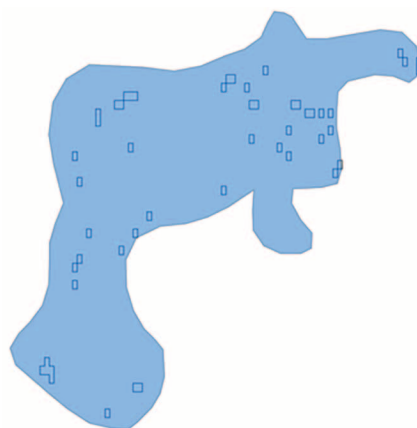


Рисунок 8. Фрагмент представления векторного слоя для контура «Гидрография» со значениями индекса в интервале от 0 до 0,033  
Figure 8. Fragment of the vector layer representation for the "Hydrography" contour with index values in the range from 0 to 0.033

В качестве экспериментальной территории рассматривается территория Тюменского района, отличающегося своим сельскохозяйственным профилем.

**Ход исследования.** По итогам оцифровки слоев сельскохозяйственных угодий были получены следующие слои: пашня; многолетние насаждения; прочие сельскохозяйственные земли; залежь; нарушенные земли; древесная растительность; гидрография; дорожная сеть; защитные лесополосы (рис. 5).

Для определения значений вегетационного индекса необходимо получение и интегрирование растрового снимка в слой векторизации, выполняемое средствами QGIS с помощью инструмента «Создание полигонов (растр в вектор...)». Для всех цветовых схем вегетационного индекса формируется слой векторизации с числовой характеристикой (рис. 6).

В результате синергии расчетных показателей, при совмещении растрового и векторного слоев, получается определенное значение индекса NDVI внутри каждого контура исследуемого угодья (рис. 7).

По мнению авторов, важной деталью совершенствования методики дешифрирования является понятие «элементарной ячейки» — это минимальный пиксель векторного слоя, равный 90,8 кв. м на местности.



Следующее значение индекса — от 0 до 0,033 — внутри указанного контура наличествует в 51 элементарной ячейке (рис. 8).

Далее, пошагово проводится анализ распределения NDVI в последующих интервалах до конечного значения — 1. Расчетные значения заносятся в сводную таблицу по категориям (видам угодий), количеству контуров и интервалам индекса NDVI (табл.).

В результате совершенствования методики дешифрирования с целью определения биопродуктивности угодий произведены дальнейшие шаги по определению вегетационного индекса по каждой элементарной ячейке.

**Результаты и обсуждение.** Эклектизм процесса дешифрирования космических снимков с практически одновременным проведением расчетных процедур вегетационного индекса в методике исчисления СФП территории объясняется стремительностью получения необходимых данных. В целях решения задач мониторинга и оценки состояния сельскохозяйственных угодий в части определения границ и типов сельскохозяйственных угодий такое комбинирование обеспечивается возможностью использования космических снимков и осуществления процедуры их дешифрирования. Это вполне реализуемо и в отношении отдельных территорий муниципального значения. Процесс дешифрирования космических изображений ускоряет процесс получения данных при проведении процедуры распознавания угодий, в том числе сельскохозяйственных, необходимых для осуществления анализа развития территорий и получения соответствующих результатов для последующего градостроительного освоения ареала исследования, а также снижает количество затрачиваемого времени и материальных ресурсов при полевых исследованиях, что, безусловно, оказывает влияние на эффективность в точности и достоверности получаемых материалов [6–9].

**Выводы.** Необходимо отметить, что получение и последующий анализ величины СФП территории дает возможность прогнозирования оценки состояния земель сельскохозяйственного назначения. Наиболее информативные показатели могут служить индикаторами состояния земель, адекватно отражая трудно измеряемое совокупное качество земель различных классификационных единиц. СФП территории рассматривается как один из важнейших индикаторов, способный интегрировать в себе показатели состояния и качества земель территории.

Таким образом, перспективы исследования связаны с масштабированием разработанных подходов и алгоритмов для решения новых задач, в частности для исчисления величины СФП по результатам дешифрирования космических снимков на разных территориальных уровнях. Это подразумевает объединение процесса дешифрирования с одновременным проведением расчетных процедур. Кроме того, исследование имеет прикладное значение, которое заключается в использовании динамических данных прироста или уменьшения величины СФП территории в качестве критерия для отражения результатов градостроительных и землеустроительных решений, а также установления оптимальности результатов территориального планирования.

#### Список источников

1. Гузев И.В., Черных Е.Г., Бударова В.А. Некоторые проблемы землеустройства как сферы деятельности и ведущей отрасли науки // *Московский экономический журнал*. 2019. № 10. С. 137–146. doi: 10.24411/2413-046X-2019-10082
2. Доклад «О состоянии и использовании земель в Тюменской области в 2022 году»: официальный сайт Росреестра. URL: <https://rosreestr.ru/site/activity/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/> (дата обращения: 09.05.2024).
3. Сизов А.П. Оценка средоформирующего потенциала территории населенных пунктов при осуществлении государственного мониторинга земель // *Геодезия и картография*. 2018 № 6. С. 43–50.
4. Ramos Aguila, L.C., Sánchez Moreano, J.P., Akutse, K.S., Bamisile, B.S., Liu, J., Haider, F.U., Ashraf, H.J., Wang, L. (2023). Comprehensive genome-wide identification and expression profiling of ADF gene family in *Citrus sinensis*, induced by endophytic colonization of *Beauveria bassiana*. *Int J Biol Macromol.*, vol. 225, pp. 886–898. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.11.153
5. Wilcken, C.F., Dal Pogetto, M.H. F.D.A., Lima, A.C. V., Soliman, E.P., Fernandes, B.V., da Silva, I.M., Zancunio, A.J. V., Barbosa, L.R., Zancunio, J.C. (2019). Chemical vs entomopathogenic control of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae) via aerial application in eucalyptus plantations. *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 416. doi: 10.1038/s41598-019-45802-y
6. Barra-Bucarei, L., France Iglesias, A., Gerding González, M., Silva Aguayo, G., Carrasco-Fernández, J., Castro, J.F., Ortiz Campos, J. (2019). Antifungal Activity of *Beauveria bassiana* Endophyte against *Botrytis cinerea* in Two Solanaceae Crops. *Microorganisms*, vol. 8, no. 1, p. 65. doi: 10.3390/microorganisms8010065
7. Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309 (5734), 570.

8. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skanes, H., Steff en W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A., Vogel, C., Xu, J. (2001). The causes of land-use and landcover change: moving beyond the myths. *Glob. Environ. Change*, 11 (4), 261.

#### References

1. Guzeva, I.V., Chernykh, E.G., Budarova, V.A. (2019). Nekotorye problemy zemleustroystva kak sfery deyatel'nosti i vedushchei otrasli nauki [Some problems of land management as a sphere of activity and leading branch of science]. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal* [Moscow economic journal], no. 10, pp. 137–146. doi: 10.24411/2413-046X-2019-10082
2. Doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Tyumenskoi oblasti v 2022 godu» [Report "On the condition and use of land in the Tyumen region" in 2022]. Available at: <https://rosreestr.ru/site/activity/sostoyanie-zemel-rossii/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rossiyskoy-federatsii/> (accessed: 09.05.2024).
3. Sizov, A.P. (2018). Otsenka sredoformiruyushchego potentsiala territorii naselennykh punktov pri osushchestvlenii gosudarstvennogo monitoringa zemel' [Assessment of the environment-forming potential of the territory of settlements in the implementation of state monitoring of lands]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and cartography], no. 6, pp. 43–50.
4. Ramos Aguila, L.C., Sánchez Moreano, J.P., Akutse, K.S., Bamisile, B.S., Liu, J., Haider, F.U., Ashraf, H.J., Wang, L. (2023). Comprehensive genome-wide identification and expression profiling of ADF gene family in *Citrus sinensis*, induced by endophytic colonization of *Beauveria bassiana*. *Int J Biol Macromol.*, vol. 225, pp. 886–898. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2022.11.153
5. Wilcken, C.F., Dal Pogetto, M.H. F.D.A., Lima, A.C. V., Soliman, E.P., Fernandes, B.V., da Silva, I.M., Zancunio, A.J. V., Barbosa, L.R., Zancunio, J.C. (2019). Chemical vs entomopathogenic control of *Thaumastocoris peregrinus* (Hemiptera: Thaumastocoridae) via aerial application in eucalyptus plantations. *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, p. 416. doi: 10.1038/s41598-019-45802-y
6. Barra-Bucarei, L., France Iglesias, A., Gerding González, M., Silva Aguayo, G., Carrasco-Fernández, J., Castro, J.F., Ortiz Campos, J. (2019). Antifungal Activity of *Beauveria bassiana* Endophyte against *Botrytis cinerea* in Two Solanaceae Crops. *Microorganisms*, vol. 8, no. 1, p. 65. doi: 10.3390/microorganisms8010065
7. Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309 (5734), 570.
8. Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Skanes, H., Steff en W., Stone, G.D., Svedin, U., Veldkamp, T.A., Vogel, C., Xu, J. (2001). The causes of land-use and landcover change: moving beyond the myths. *Glob. Environ. Change*, 11 (4), 261.

#### Информация об авторах:

**Сизов Александр Павлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры землеустройства и кадастров, Московский государственный университет геодезии и картографии, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6175-0145>, Scopus ID: 57214974937, ap\_sizov@mail.ru

**Черных Елена Германовна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, Тюменский индустриальный университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2644-4721>, Scopus ID: 57199391561, chernyheg@tyuiu.ru

**Шукина Вера Николаевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, Тюменский индустриальный университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4706-0671>, schukinavn@tyuiu.ru

**Меркурьева Кристина Рудольфовна**, ассистент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, Тюменский индустриальный университет, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6650-9107>, Scopus ID: 57212388081, merkurevavr@tyuiu.ru

#### Information about the authors:

**Alexander P. Sizov**, doctor of technical sciences, professor, professor of the department of land management and cadastre, Moscow State University of Geodesy and Cartography, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6175-0145>, Scopus ID: 57214974937, ap\_sizov@mail.ru

**Elena G. Chernykh**, candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of the department of geodesy and cadastral activities, Industrial University of Tyumen, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2644-4721>, Scopus ID: 57199391561, chernyheg@tyuiu.ru

**Vera N. Shchukina**, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of geodesy and cadastral activities, Industrial University of Tyumen, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4706-0671>, schukinavn@tyuiu.ru

**Kristina R. Merkurieva**, assistant of the department of geodesy and cadastral activities, Industrial University of Tyumen, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6650-9107>, Scopus ID: 57212388081, merkurevavr@tyuiu.ru

