

А. П. Сизов¹, Е. Г. Черных², К. Р. Меркурьева^{3}*

Совершенствование методики тематического дешифрирования космических изображений (на примере репрезентативной территории уровня муниципального образования)

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Российская Федерация

^{2,3} Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация

*e-mail: k_r_merkurieva@mail.ru

Аннотация. Одной из актуальных проблем настоящего времени является оценка состояния земель, ландшафтов и территорий, прогнозирование их использования и изменения средоформирующих свойств. Под оценкой состояния как процедурой подразумевается определение совокупности характеристик с помощью количественных и качественных показателей, определяющих свойства земель с различных, реально учитываемых при освоении и использовании земель, точек зрения. Наиболее информативные показатели могут служить индикаторами состояния земель, адекватно отражая трудно измеряемое совокупное качество городских земель. Средоформирующий потенциал (СФП) территории рассматривается в качестве интегрирующего показателя состояния и качества земель территории. Предметом исследования является алгоритм исчисления СФП, обеспечивающий расчеты на основе оперативно получаемой в результате анализа космических снимков территории муниципального уровня информации. Целью исследования является апробация усовершенствованной методики дешифрирования космических снимков на примере репрезентативной территории в части объединения дешифрирования и расчетных процедур путем использования общеизвестных инструментов для получения расчетных значений показателя, индицирующего способности растительности по переработке углекислого газа (основное средоформирующее свойство) на территории муниципальных образований. В результате авторами исследования формируются данные для получения последующих уточненных значений СФП территории муниципального уровня. Данные величины СФП территории рекомендуется использовать как критерий для установления оптимальности результатов территориального планирования, градостроительного зонирования и землеустроительного проектирования.

Ключевые слова: средоформирующий потенциал, космические снимки, дистанционное зондирование земли, дешифрирование, индекс NDVI, элементарная ячейка

А. П. Сизов¹, Е. Г. Черных², К. Р. Меркурьева^{3}*

Improvement of the methodology of thematic decoding of space images on the example of a representative territory

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

^{2,3} Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

*e-mail: k_r_merkurieva@mail.ru

Abstract. One of the urgent problems of the present time is the assessment of the state of lands, landscapes and territories, forecasting their use and changes in environmental properties. The

assessment of the condition as a procedure means the determination of a set of characteristics using quantitative and qualitative indicators that determine the properties of land from various points of view that are actually taken into account in the development and use of land. The most informative indicators can serve as indicators of the state of land, adequately reflecting the difficult-to-measure aggregate quality of urban land. The environmental forming potential (EFP) of the territory is considered as an integrating indicator of the condition and quality of the territory's lands. The subject of the study is an algorithm for calculating the EFP, which provides calculations based on information promptly obtained as a result of analyzing satellite images of the territory of the municipal level. The purpose of the study is to test an improved decryption technique. The aim of the study is to test an improved technique for decoding satellite images using the example of a representative territory in terms of combining decoding and calculation procedures by using well-known tools to obtain calculated values of the indicator indicating the ability of vegetation to process carbon dioxide (the main environmental forming property) on the territory of municipalities. As a result, the authors of the study generate data to obtain subsequent updated values of the EFP of the territory of the municipal level. It is recommended to use these values of the EFP of the territory as a criterion for determining the optimality of the results of territorial planning, urban zoning and land management design.

Keywords: environmental forming potential, satellite images, remote sensing of the earth, decryption, NDVI index, elementary cell

Введение

Одной из фундаментальных научных проблем современности является возможность оценить состояние территории, в частности состояние земель и ландшафта. На основе произведенной оценки формируется прогноз дальнейшего использования земель и определяются их средоформирующие свойства. Решение поставленной задачи достигается за счет внесения изменений в существующие методы и способы измерений в результате открытий новых знаний о характерных свойствах исследуемых территорий. Реально отражаемые и учитываемые свойства земель группируются в совокупность показателей (количественные и качественные), на основе которых формируется характеристика текущего состояния земель, определяемая в процессе оценки конечного множества показателей. Показатели для оценки состояния земель и ландшафтов характеризуют территорию с точки зрения ее пригодности для человеческих нужд, отражают сведения об инженерно-геологических условиях земель, определяют экологическое состояние земель и содержат сведения о природно-технологических свойствах земельных участков, об улучшениях земель и пр., кроме того, указанный перечень показателей коррелирует с поаспектными показателями качества [1].

Чтобы оценить на сколько текущее состояние территории соответствует установленным требованиям к использованию данных земель применяется понятие комплексной характеристики земель, содержащая в своем понимании обоснованный выбор свойств земель и показателей, находящихся не в прямой зависимости друг с другом, но оказывающих взаимное влияние. Результатом комплексной оценки является определение трудно измеряемого совокупного качества городских земель с помощью набора наиболее информативных показате-

лей, способных охарактеризовать в наибольшей мере реальное состояние исследуемых территорий [2–3].

Эффективность пространственного развития территории зависит от адекватной оценки состояния земель, отражающая на основе индикаторов их качество. Комплексная оценка земель позволяет актуализировать данные в ходе проведенного анализа и по его результатам осуществить планирование использования природных и земельных ресурсов. Поиск новых инструментов и их применение для компенсации перманентных негативных последствий, вызванных антропогенным воздействием на природную среду во благо человек и одновременно приводящих к нарушению состояния окружающей среды, формируют актуальность данного исследования.

Методы и материалы

В ходе решения поставленной научной задачи были применены методы информационно-логического и сравнительно-географического анализа в области предметных знаний о землепользовании, природообустройстве и экообустройстве, а также для формирования функции баланса земель, дифференцированных по физическому состоянию, характеру поверхности и типам землепользований и угодий, применялся метод количественной оценки величины средоформирующего потенциала с помощью прямого счета.

Средоформирующий потенциал (СФП) территорий есть средневзвешенная величина площадей угодий различных видов, где весами являются средоформирующие свойства, объединенные в своем понимании совокупность всех природных ресурсов, факторов и условий территории, которые можно подразделить на средообразующие (СОС), средовоспроизводящие (СВС) и средозащитные (СЗС) свойства, включая климатические, геологические, гидрологические, земельные, почвенные и др., а также антропогенные. Формализованный вид указанного определения представлен в следующем выражении (1):

$$\text{СФП} = \sum(\text{СОС}, \text{СВС}, \text{СЗС}). \quad (1)$$

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 (2).

$$\text{O}_2 \uparrow / \downarrow \text{CO}_2 = f(\text{СФП}). \quad (2)$$

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

Так, первый этап реализуется при подборе архивных космических снимков с интервалом 4–6 лет. Тематическое дешифрирование и последующее определе-

ние индекса NDVI осуществлялось на основе полученных 16.08.2023, 14.08.2019, 23.08.2013 панхроматических и многозональных снимков со спутника SPOT-6.

На втором этапе проводится обработка снимков с целью повышения пространственного разрешения, путем проведения атмосферной коррекции в программном комплексе ENVI с использованием модуля QuickATM Correction с последующей процедурой паншарпенинга, и ортотрансформирование с помощью программного продукта Photomod.

Третий этап методики включает тематическое дешифрирование с распознаванием типов угодий. Процесс дешифрирования осуществляется с целью распознавания объектов местности, определения их свойств и установления взаимосвязей по изображениям таких объектов на космических снимках. Таким образом, в результате дешифрирования мы получаем совокупность качественной и количественной информации, содержащую характеристики состояния протекающих процессов и явлений, составе, структуре, размерах объектов, а также возникающих взаимосвязях и динамике между ними, выявленных на основе признаков дешифрирования [5].

На четвертом этапе происходит расчет и анализ показателей NDVI для последующего осуществления пятого этапа методики с целью исчисления и интерпретации уточненного СФП территории экспериментального участка.

Расчет индекса NDVI с соответствующим выбором спектральных каналов используется как вспомогательный инструмент для представления изображения растра в цветах, где внутри каждого контура выделяются элементарные ячейки, которые попадают в определенные интервалы значений рассчитанного индекса (рис. 1).

По результатам тематического дешифрирования осуществляется оцифровка и формируются слои в соответствии с выделенными видами угодий.

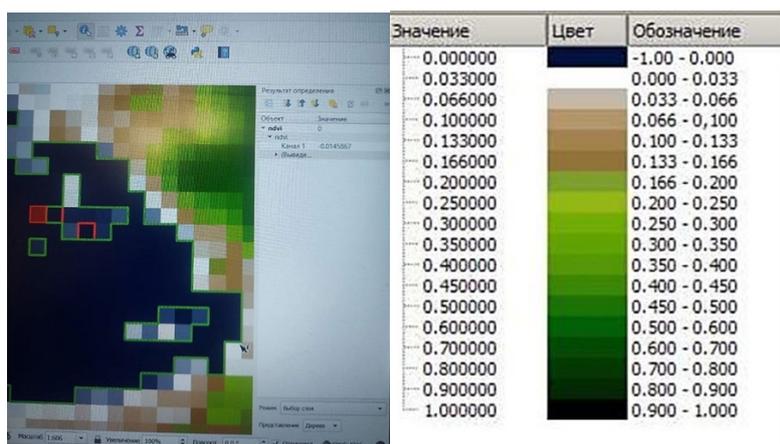


Рис. 1. Фрагмент выделения элементарных ячеек контура с соответствующей шкалой интерполяции цветов и значений NDVI

В качестве репрезентативной рассматривается территория Тюменского района, примыкающая к г. Тюмень со стороны Московского тракта, включающая полностью или частично следующие населенные пункты: пос. Московский, д. Посо-

хова, с. Гусево (Московское муниципальное образование); д. Зубарева, д. Ушакова, с. Первалово, пос. Подъем (Перваловское муниципальное образование).

Результаты

Векторизация полученных растровых данных позволила сформировать слои пашни, многолетних насаждений, прочих сельскохозяйственных земель, залежи, нарушенных земель, древесной растительности, гидрографии, дорожной сети и защитных лесополос (рис. 2).

Для расчета индекса NDVI требуется предварительное преобразование полученного растрового снимка в векторный слой, выполняемое средствами QGIS с помощью инструмента «Создание полигонов (растр в вектор...)». Для каждого определенного значения индекса создается свой векторный слой с определенным цветом и обозначением. Итогом является отображение растра в векторном формате (рис. 3).

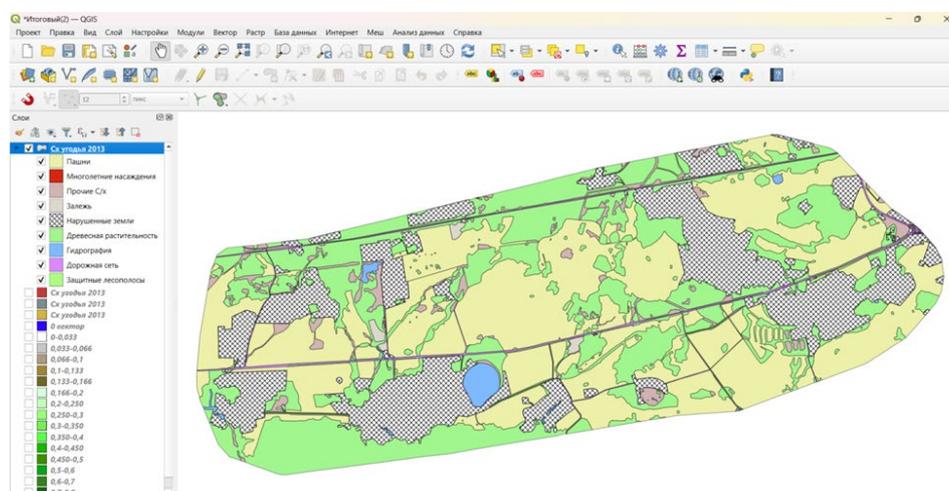


Рис. 2. Фрагмент представления оцифрованного спутникового снимка по видам угодий средствами QGIS

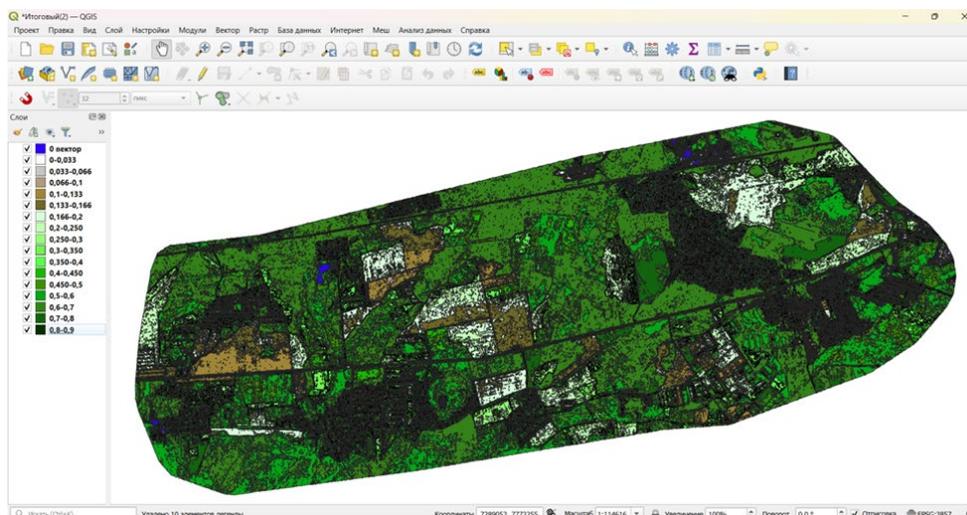


Рис. 3. Фрагмент представления растрового изображения в векторной форме по преобразованным значениям индекса

Анализ полученных показателей при совмещении растрового и векторного слоев заключается в расчете конкретных значений индекса внутри каждого контура определенного угодия. Так, например, значение индекса меньше 0 внутри контура «Гидрография» наличествует в 778 элементарных ячейках (рис. 4).

Элементарная ячейка – это совокупность пикселей векторного слоя с однородными спектральными характеристиками, равная 90,8 кв.м. на местности.

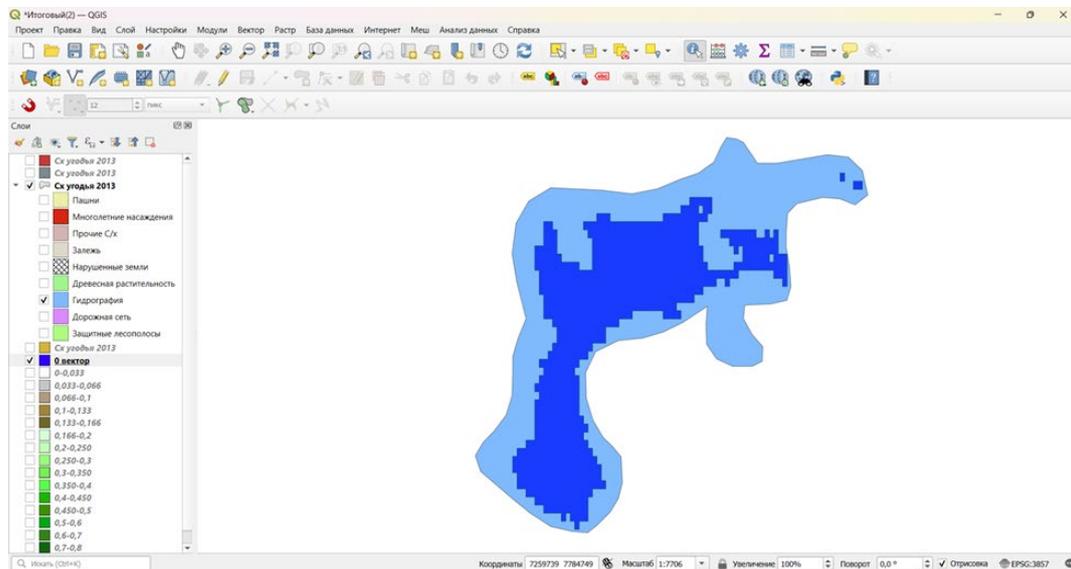


Рис. 4. Фрагмент представления векторного слоя для контура «Гидрография» со значениями индекса меньше 0

Следующее значение индекса – от 0 до 0,033 – внутри указанного контура наличествует в 51 элементарной ячейке (рис. 5).

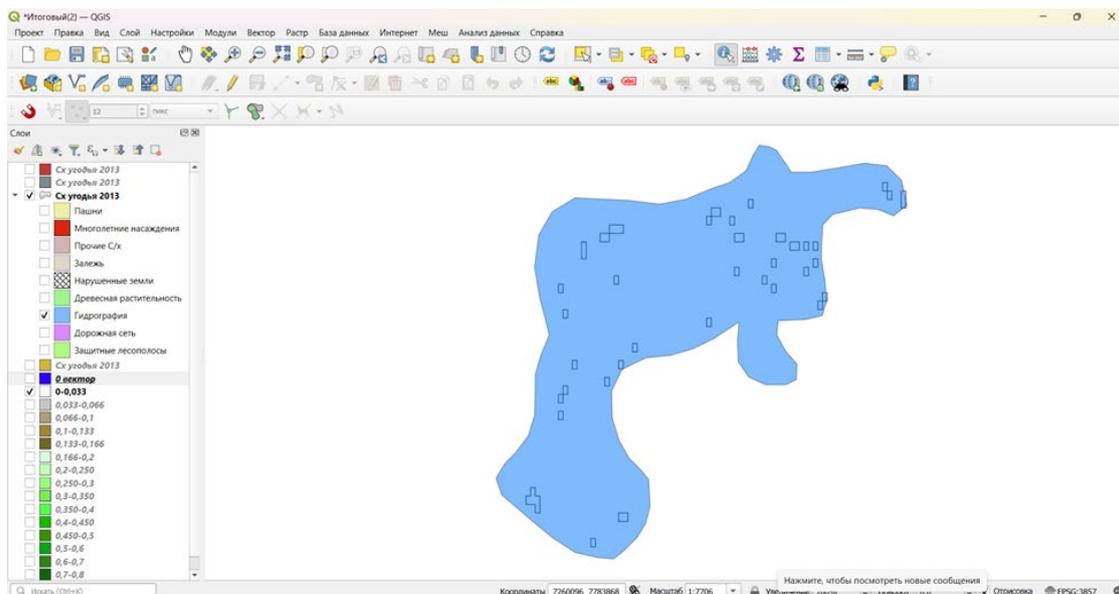


Рис. 5. Фрагмент представления векторного слоя для контура «Гидрография» со значениями индекса в интервале от 0 до 0,033

Таким образом, аналогично проводится анализ распределения рассчитанного индекса в последующих интервалах до конечного значения 1. Полученные значения заносятся в сводную таблицу по видам угодий для каждого контура с подсчетом количества соответствующих элементарных ячеек (рис. 6).

В результате, получение последующих уточненных значений СФП территории муниципального уровня будет реализовано путем последующего применения расчетных значений индекса по каждой элементарной ячейке.

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

Рис. 6. Фрагмент сводной таблицы распределения значений индекса NDVI в соответствии с видом угодья для отдельных контуров

Обсуждение

Исчисление СФП территории формирует характеристику оптимальности структуры угодий, степень которой определяется с помощью специально разработанного коэффициента оптимальности K_{opt}

Физический смысл последнего состоит в установлении потенциально возможного превышения/недостатка соотношения выделения кислорода и поглощения углекислого газа на единицу площади на конкретной части территории по сравнению со среднестатистическими показателями по субъекту РФ. Соотношение выделения кислорода и поглощения углекислого газа на единицу площади в общем случае, в условиях широтной зональности, коррелирует с потенциально возможной биопродуктивностью угодий конкретной территории, которая в свою очередь, как территориальная единица обладает СФП. В связи с имеющимися различиями территорий по функциональным характеристикам, особенно важно

определение СФП с целью выявления сильных, слабых и допустимых изменений указанных территориальных единиц для прогнозирования и формулировки рекомендаций по градостроительным и землеустроительным решениям.

Проведение оценки происходит путем разграничения по предметным областям. Рассматривая область экообустройства, в качестве объекта оценки следует выделить непосредственно урбоэкосистему, складывающуюся как результат в среду обитания и жизнедеятельности человека природно-антропогенного характера формируемой как совокупность пространственно-взаимообусловленных и взаимосвязанных компонентов. Определение величины СФП в динамике для территорий на муниципальном уровне происходит по подобному алгоритму вычисления данного показателя для территорий уровня субъекта РФ, что объясняется сходством территорий по пространственно-топологическим признакам. На основе разных диапазонов расчетной величины K_{opt} предлагается выделять следующие структуры угодий: избыточно экологизированная; оптимальная; экологически благоприятная; экологически удовлетворительная; экологически неудовлетворительная.

Следует отметить, что комбинирование процесса дешифрирования с практически одновременным проведением расчетных процедур в методике исчисления СФП территории объясняется экспрессностью получения 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 муниципальных образований.

Практика применения процедуры дешифрирования космических изображений ускоряет процесс анализа развития территорий и ее градостроительного освоения, что подтверждает эффективность использования материалов ДЗЗ в части получения точных и достоверных материалов, сокращающих временные и материальные затраты полевых исследований [6-9].

Заключение

Важно отметить, что исчисление величины именно СФП территории дает возможность оценки состояния земель, в наибольшей мере отражающей реальность. Трудно измеряемое совокупное качество земель различных классификационных единиц оценивается совокупностью показателей в виде индикаторов, важнейших из которых является интегрирующим показателем 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.

Прикладной характер исследования отражается в применении специально разработанного критерия оптимальности структуры угодий в качестве результи-

рующего показателя для соотнесения того или иного вида угодий к разработанным классам структур угодий. На основе полученных расчетных данных разрабатываются рекомендации по принятию градостроительных и землеустроительных решений. Указанный критерий выражается изменениями величины интегрирующего показателя состояния и качества земель территории, иначе говоря, максимальное приближение фактически исчисленного СФП территории к предельному максимальному значению соответствует высокому уровню экологизации, что означает что территория в меньшей степени подвергалась изменениям. Справедливо и обратное – экологически неудовлетворительная ситуация характерна для нарушенных территорий, на которых величина коэффициента будет минимальна.

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сизов А. П., Черных Е. Г., Щукина В. Н., Меркурьева К. Р. Интегрирующий показатель оптимальности структуры угодий как критерий для регулирования качества земель // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2023. – Т. 67, № 3. – С. 43–50. – DOI 10.30533/GiA-2023-022.
2. Сизов А. П., Миклашевская О. В., Атаманов С. А. Динамика средоформирующего потенциала территории субъектов Российской Федерации по результатам анализа баланса земель по угодьям // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2022. – № 4(172). – С. 19–23.
3. Сизов А. П., Черных Е. Г., Щукина В. Н., Меркурьева К. Р. Характеристика оптимальности структуры угодий по результатам исчисления средоформирующего потенциала территории // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию юбилею кафедры геодезии и дистанционного зондирования, Омск, 30 марта 2023 года. – Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2023. – С. 482–486.
4. Сизов А. П., Щукина В. Н. Методические разработки применения космических снимков при определении средоформирующего потенциала территории // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 3. – С. 192-197. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-3-192-197.
5. Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., Перминова Е. С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения : учебное пособие. – Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – 191 с. – ISBN 978-5-7944-3476-7.
6. Горохова И. Н., Чурсин И. Н., Хитров Н. Б., Панкова Е. И. Распознавание сельскохозяйственных угодий по космическим снимкам // Экосистемы: Экология и динамика. – 2021. – Т. 5, № 33. – С. 5–33.
7. Черкасов А. А., Махмудов Р. К., Сопнев Н. В. Пространственный анализ городов и агломераций: интеграция технологий ГИС и BIG DATA // Наука. Инновации. Технологии. – 2021. – № 4. – С. 95–112.
8. Князева С. В., Никитина А. Д., Белова Е. И., Плотникова А. С., Подольская Е. С., Ковганко К. А. Методические подходы к оценке характеристик лесов по данным спутниковой съемки

сверхвысокого пространственного разрешения в оптическом диапазоне // Лесоведение. – 2021. – № 6. – С. 645-672.

9. Черненко Т. В., Пузаченко М. Ю., Беляева Н. Г., Морозова О. В. Оценка состава и структуры лесного покрова Московской области по наземным и дистанционным данным // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2019. – № 4. – С. 112–124.

© А. П. Сизов, Е. Г. Черных, К. Р. Меркурьева, 2024