

Научная статья

УДК 551.4(282.247.412)

DOI 10.37724/RSU.2025.86.1.018

Локальное мультиспектральное дешифрирование рельефа на основе сезонной динамики биоценозов в долине реки Оки

Александр Сергеевич Кадыров¹, Алексей Юрьевич Воробьев²

^{1,2} Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, Рязань, Россия

¹ a.kadyrov@rsu-rzn.ru

² a.vorobyov@rsu-rzn.ru

Аннотация. Для трех ключевых участков долины реки Оки в ее среднем течении, соответствующих разным типам растительности в пределах генерации грядистого пойменного рельефа и сосновой лесопосадке на комплексе надпойменных террас, произведен отбор и обработка материалов мультиспектральной съемки спутника Landsat 7. Осуществлено геоморфологическое картирование ключевого участка исследования, ставшее основой для дешифрирования спутниковых геоданных. Фотоснимки в видимом и инфракрасном электромагнитном диапазонах позволили определить неодинаковый вклад излучения различной длины волны в общую спектральную картину каждого из обозначенных участков. Установлены спектральные следы естественной неоднородности долинных ландшафтов и комплексов флювиального и озерно-аллювиально-эолового рельефа на локальном уровне. Выявлены некоторые изменения распределения каналов инфракрасного излучения в биоценозах исследованной территории в течение весны-лета 2016 года.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, мультиспектральный анализ, долина реки Оки, биоценоз, флювиальный рельеф, геоморфологическое картографирование.

Для цитирования: Кадыров А. С., Воробьев А. Ю. Локальное мультиспектральное дешифрирование рельефа на основе сезонной динамики биоценозов в долине реки Оки // Вестник Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина. 2025. № 1 (86). С. 169–180. DOI: 10.37724/RSU.2025.86.1.018.

Original article

Local multispectral interpretation of terrain, based on seasonal dynamics of biocenoses in the Oka River valley

Aleksandr S. Kadyrov¹, Alexey Yu. Vorobyov²

^{1,2} Ryazan State University named for S. A. Yesenin, Ryazan, Russia

¹ a.kadyrov@rsu-rzn.ru

² a.vorobyov@rsu-rzn.ru

Abstract. The paper focuses on three key areas of the Oka River valley in its middle reaches, with different types of vegetation within ridged floodplain relief and pine forest plantation on a complex of floodplain terraces (from Landsat 7 multispectral images). Geomorphological mapping of the key study area became the basis for interpretation of the satellite-generated geodata. Photographic images in the visible and infrared electromagnetic ranges made it possible to determine the unequal contribution of radiation of different wavelengths to the overall spectral pattern of each of the areas. Spectral traces of natural heterogeneity of valley landscapes and complexes of fluvial and lake-alluvial-eolian relief at the local level were established. This revealed some changes in the distribution of infrared radiation channels in the biocenoses of the studied area during the spring and summer of 2016.

Keywords: remote sensing, multispectral analysis, Oka River valley, biocenosis, fluvial relief, geomorphological mapping.

For citation: Kadyrov A. S., Vorobyov A. Yu. Local multispectral interpretation of terrain, based on seasonal dynamics of biocenoses in the Oka River valley. *The Bulletin of Ryazan State University named for S. A. Yesenin*, 2025; 1 (86):169–180. (In Russ.). DOI: 10.37724/RSU.2025.86.1.018.

Введение

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) за последние десятилетия существенно дополнило методологию физической географии, создав, по мнению ряда исследователей [Лабутина, 2004; Лурье, 2010], особую, «снимковую географию». Многие свойства и признаки геосистем могут быть рассмотрены с помощью ДЗЗ. Дистанционное зондирование существенно упрощает решение проблемы границ, одной из центральных в географической науке и особенно актуальной в ландшафтоведении. Среди многочисленных методов корректировки границ ландшафтов и более мелких геосистем мультиспектральный анализ ДЗЗ является одним из конвенциональных подходов [Steinfeld, Kingsford, Laffan, 2013; Варфоломеев, Коваленко, Манухов, 2013; Балдина, Гриценко, 2014; Олзоев, Никитина, 2014; Fakhrizadehshirazi, Sabziparvar, Sodoudi, 2019].

Изображения той или иной территории, полученные с помощью таких спутников, как Landsat 5-8, NASA, GLS Lima и других, при обработке в специальных программах (ERDAS IMAGINE, ENVY, ArcGIS, Multispec) помогают выявлять неоднородности излучения земной поверхности на локальном уровне. Спектральные (0,43–0,67 мкм) и гиперспектральные (0,84–12,5 мкм) каналы излучения отображают местность или ландшафт в электромагнитном излучении инфракрасного диапазона либо в фиксированных цветовых каналах видимого диапазона. Пространственное разрешение большинства программ для анализа мультиспектральных космоснимков составляет [Лурье, 2010] около 30 м, что делает их непригодными для фациального анализа территории, но подходящими для выделения более крупных ландшафтных таксонов.

Для территории Рязанской области пока не проработана методика идентификации границ ландшафтных единиц и различий их проявления в том или ином диапазоне видимого или инфракрасного излучения. Наша работа, в задачи которой входило определение активности излучения различных биотопов в ИК-спектре и в видимом свете, является первым этапом исследования территории долины реки Оки с применением дистанционных электромагнитных методов геоэкологического мониторинга.

Не только в ландшафтоведении и геоэкологии, но и в геоморфологии актуальны методы дистанционного зондирования местности. Как правило, позиционная информация снимков используется [Ашаткин, Мальцев, Гайнутдинова [и др.], 2020; Steinfeld, Kingsford, Laffan, 2013; Ördög, Molnár, 2011] для построения цифровых моделей рельефа (ЦМР) регионального масштаба. С привлечением ДЗЗ в последнее время успешно решаются и задачи оценки степени увлажненности геосистем, шероховатости поверхности и распределения поверхностного стока, напрямую обусловленные топографией [Варфоломеев, Коваленко, Манухов, 2013; Балдина, Гриценко, 2014; Белоусова, 2019]. Большой объем латентной ландшафтно-геоморфологической информации может быть получен для пойм крупных рек, поскольку их рельеф обычно относительно плоский, с крайне нерегулярным пространственным распределением уклонов. Простой морфометрический анализ растров пойменных поверхностей, особенно при невысоком вертикальном разрешении ЦМР и крупном масштабе картографирования, нередко считает [Otto, Smith, 2013] их однородными объектами.

Как показывают исследования ученых в области физической географии — сотрудников Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина [Кривцов, Водорезов, 2006; Кривцов, Тобратов, Водорезов [и др.], 2011; Кривцов, Водорезов, Воробьев, 2017], долина реки Оки представляет сложное образование как с точки зрения учения о геосистемах, так и с позиций геоморфологии. Предсказание сезонной динамики природно-территориальных комплексов в ее пределах становится сложной задачей в последние десятилетия, поскольку обеспеченность региональными ресурсами поверхностных вод имеет неустойчивый тренд на снижение. Так, за последние 10 лет среднемаксимальный уровень весеннего половодья на реке Оке у города Рязани составил всего 4,53 м, в то время как за 1878–2024 годы — 6,62 м. В настоящее время не установлено, какое влияние отмеченная тенденция окажет на сохранение фоновых растительных ассоциаций

окской поймы. Предполагается, что ландшафты речных долин в Рязанской области могут быть подходящими модельными объектами для внедрения мультиспектральной съемки в мониторинг ежегодной и сезонной динамики взаимодействия биоценозов и занимаемых ими неровностей земной поверхности, неоднородных по возрасту, морфометрии и литологии отложений.

Материалы и методы

Основой методологии нашего исследования на этапе подготовки к полевым работам был картографический метод, всегда направленный на получение и анализ новой информации о геосистемах [Лурье, 2010]. В геоинформационном программном комплексе QGIS v. 2.12 был оцифрован фрагмент геоморфологической карты Рязанской области 2006 года издания (авторы — В. А. Кривцов, А. В. Водорезов [2006]). Район исследования — участок долины реки Оки, примыкающий к пойме последней между селами Вышгород и Казарь (рис. 1). К числу векторных слоев карты, помимо информации о генезисе и пространственной организации форм рельефа, принадлежат гидрография, растительность и (частично) административно-хозяйственная структура территории.

На участке долины реки Оки у сел Казарь и Кораблино Рязанского района нами также были проведены полевые исследования видового состава древесных пород в 2014–2018 годах в пределах пойменного широколиственного леса «Вышгородская роща» (участок I) и соснового насаждения у села Казарь на надпойменной террасе (участок III). Описания фитоценозов производились и для пойменного мезофитного луга с разнотравьем на частично выровненном гривистом пойменном рельефе (участок II). Площадь ключевых участков, на которых проведены описания, составляет от 0,24 до 0,38 км². Оценивались видовой состав первого и второго ярусов Вышгородской рощи, степень участия в нем видов-эдификаторов. Высота деревьев уточнялась посредством лазерного дальномера Bushnell Scout 1000 ARC 20-1942.

Совместно с обследованием территории на ключевых участках и проведением первичных морфологических характеристик в камеральных условиях производился анализ крупномасштабных космических снимков участков полевых обследований. Выбранные из архивов Earth Explorer крупномасштабные снимки местности в различные фенологические периоды в периоды с 2014 по 2018 год (середина мая — середина июля — середина августа) позволяют даже без обработки их в дополнительных программах делать первичные выводы о мозаичном использовании территории пойменных и террасовых ландшафтов в процессе хозяйственной деятельности. Дешифрирование снимков производилось в программе Multispec Application v. 2018.08.30, на заключительном этапе выявлялись частные спектральные проявления фенологических изменений и антропогенной нагрузки на местности разных типов. Последнее предполагает возможность интерполяции полученных результатов спектральной индикации на иные участки окской долины с применением ГИС, что послужит основой проведения геофизических (по спектральному маркеру) границ ландшафтов, а возможно и геосистем более низких рангов.

Полученные результаты и их обсуждение

Широколиственный лес «Вышгородская роща», расположенный в границах массива выровненной гривистой поймы реки Оки, имеет площадь 1,9 км². Лесной массив характеризуется присутствием всех основных широколиственных пород Рязанской области [Казакова, 2004] в первом и втором ярусе. Видовой состав Вышгородской рощи разнообразен: доминируют вяз шершавый (*Ulmus glabra*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), клен остролистный (*Acer platanoides*), липа сердцелистная (*Tilia cordata*), реже встречаются вяз гладкий (*Ulmus laevis*), осина обыкновенная (*Populus tremula*), ясень обыкновенный (*Fraxinus exelsior*). Морфологическая структура биоценоза сложная: встречаются площадки с четким разделением на парцеллы или смешанные многоярусные ассоциации, ветровальные участки нередко соседствуют с высокобонитетными древесными сообществами.

Основное отличие Вышгородской рощи от прочих лесных массивов окской поймы состоит в значительном присутствии клена остролистного в первом и втором ярусах древостоя. На отдельных участках *Acer platanoides* формирует моновидовые мертвопокровные сообщества с сомкнутостью крон >0,9. Высота отдельных деревьев данного вида превышает 27–28 м, диаметр ствола — более 0,8 м (рис. 2). Ключевой участок I, находящийся в центральной части Вышгородской рощи, репрезентативен [Беручашвили, 1990] как по показателю площади, так и по породному составу.

Формула древостоя в его пределах — 3Кл2Д2В2Л1Ос. Кроме того, отмечается наличие локального ветрового вывала деревьев, который объясняется развитием поверхностной корневой системы у ясеня, клена, дуба. Обнаружены отдельные парцеллы сухостойных вязов (в том числе, из-за поражения графтизом) и осин, в настоящее время усохших и заменяющихся подростом и молодыми генеративными группировками липы сердцелистной и клена остролистного.

К востоку от Вышгородской роши пойма Оки представлена сенокосами и залежами на выровненном гривистом рельефе разной степени вертикального расчленения. Ключевой участок II, расположенный в пределах сенокоса, имеет прямоугольную форму и проходит через несколько грив и межгривных понижений. Состав травянистой растительности его обычен для мезофитного луга окской поймы и пойм водотоков-аналогов [Елистратова-Щербакова, 1960; Казакова, 2004]. Преобладают лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), мятлик болотный (*Poa palustris*), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare*). В зависимости от степени локального увлажнения примешиваются синеголовник полевой (*Eryngium campestre*), осока ранняя (*Carex praecox*), клевер луговой (*Trifolium pratense*), чемерица Лобеля (*Veratrum lobelianum*) и другие второстепенные ксерофиты, мезофиты и гигрофиты.

Ключевой участок III в границах сосняка к востоку от села Казарь имеет прямоугольную форму. Это сосновые лесопосадки на второй и третьей надпойменных террасах, ограничивающих с северо-востока пойменную часть долины реки Оки на данном участке. Средняя абсолютная высота учетной площадки составляет, согласно топографическим материалам, 104,6 м, в то время как двух предыдущих ключевых участков — 95,7–97,7 м. Рельеф геосистем исследованных сосновых насаждений выполнен песчаными водно-ледниковыми отложениями. В западной части учетной площадки биоценоз представлен чистыми сосновыми насаждениями, а восточнее к сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в незначительном количестве примешивается осина обыкновенная и береза повислая. Общая формула древостоя ключевого участка — 10С+Ос,Б.

Сочетание почвогрунтов и растительности иного типа на ключевом участке III, по сравнению с другими участками исследования, должно сопровождаться отличиями и в распределении характерных диапазонов излучения, что отмечается в ряде работ [Варфоломеев, Коваленко, Мануков, 2013; Олзоев, Никитина, 2014]. Температура и влажность почвы существенно корректируют излучение поверхности рельефа, его интенсивность и модальные классы в инфракрасной части электромагнитного спектра [Лабутина, 2004; Балдина, Грищенко, 2014; Колмогорова, Неверова, 2016; Белоусова, 2019]. При характеристике значительных по площади ареалов при этом часто используется понятие «тип местности». Обособляются, например, такие неочевидные и связанные с топографией «типы местности», как эрозионная сеть и склоны [Fakharizadehshirazi, Sabziporvar, Sodoudi, 2019].

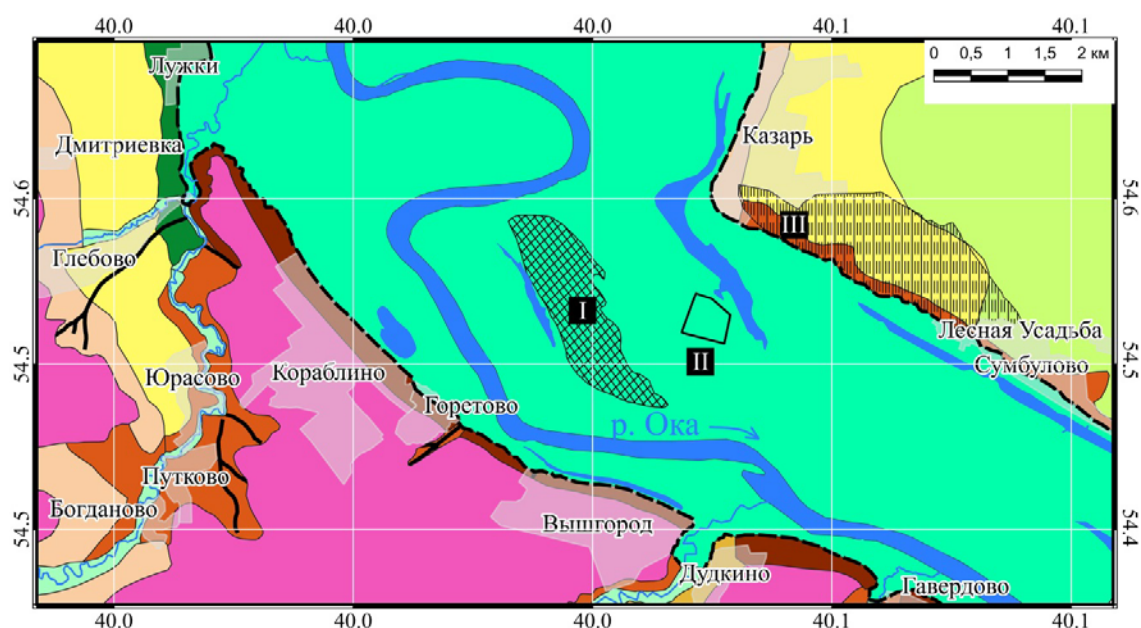
Упомянутый термин, как правило, применяют и для определения конкретной территории (территориального выдела) как с позиций его хозяйственного использования, так и с точки зрения терминологии ландшафтоведения. Выделяют следующие типы местности: «пашня», «строительная поверхность», «сухая поверхность», «влажная поверхность», «лес здоровый», «пожарище» и т. д. [Васильев, Резницкий, Демьянович, Некрасова, 1995; Варфоломеев, Коваленко, Мануков, 2013; Лозбенев, Козлов, 2018]. Для территории исследования нами выделены три типа местности, соответствующие ключевым участкам: «дубрава», «сенокос» и «сосняк». В силу их коренных различий в ярусности растительности, видовом составе и геоморфологическом положении, электромагнитное излучение, которое исходило от поверхности на данных участках в вегетационный период 2016 года, также имеет неоднородную волновую природу.

Излучение от любой поверхности, подвергшейся мультиспектральной съемке, выводится в геоинформационную базу данных в виде нескольких снимков по каналам — участкам ИК-спектра и видимого излучения. Как уже отмечалось, в нашем исследовании использовались данные съемки спутника Landsat 7, мультиспектральные снимки которого подразделяются на 10 каналов.

Каналы 1–4 соответствуют видимому излучению (длина волны 0,43–0,68 мкм), ближнему инфракрасному излучению NIR соответствует канал 5 (0,845–0,885 мкм), среднему ИК-излучению SWIR — каналы 6–8 (1,36–2,3 мкм), длинноволновое ИК-излучение распознается каналами 9–10 (10,3–12,5 мкм). Известно, что в экологических и физико-географических исследованиях ведущее значение имеет доля участия каналов NIR и SWIR в общей мультиспектральной картине выбранного участка земной поверхности [Олзоев, Никитина, 2014; Белоусова, 2019; Fakharizadehshirazi,

Sabziporvar, Sodoudi, 2019]. Ближняя инфракрасная часть электромагнитного спектра отражается водой в листьях здоровых растений и наиболее яркими при съемке оказываются сообщества оводненной молодой растительности либо покрова из гигрофитов влажных или околотовных фаций.

Если обратить внимание на результаты съемки ключевых участков долины Оки в NIR, то становится очевидным, что его участие в общем спектре излучений каждого из участков неодинаково и изменчиво с мая по август. Так, для Вышгородской рощи (участок I) на локальном топографическом повышении характерно значительное излучение в диапазоне 0,845–0,885 мкм, снижающееся к августу, что объясняется постепенным увяданием листьев в конце лета на фоне редукции запасов продуктивной влаги в почвогрунтах (рис. 3). Поскольку хвоя содержит воду (именно общую воду, без разделения на свободную и связанную) меньше, чем листья [Ördög, Molnár [et al.], 2011; Папина, Собчак, Астафурова, 2013; Колмогорова, Неверова, 2016], доля участия ближнего ИК-диапазона в излучении сосняка почти в 1,5 раза меньше, чем широколиственного леса (рис. 4). Логично, что в период с мая по август для сосняка мало изменяются значения всех каналов, а не только NIR, что позволяет сделать заключение о тепловой стабильности данной местности.



Условные обозначения:

1. Ледниковый и водно-ледниковый рельеф эпох максимального оледенения, переработанный последующими субэразальными процессами
 - поверхности преимущественно ледниковой аккумуляции с чехлом покровных суглинков мощностью до 5 м
2. Флювиальный рельеф, сформированный после таяния ледникового покрова и в разной степени переработанный последующими субэразальными процессами
 - поверхность среднечетвертичной надпойменной террасы высотой до 35 м
 - поверхность верхней позднечетвертичной надпойменной террасы высотой до 20 м
 - поверхность нижней позднечетвертичной надпойменной террасы высотой до 12 м
 - пойма разных уровней
3. Склоны тектонических уступов, речных долин и примыкающие к ним придолинные пологонаклонные участки междуречий
 - крутизной >35°
 - крутизной 15°-35°
 - крутизной 8°-15°
 - крутизной <8°
4. Гидрография
 - реки
 - озера, в том числе, пойменные
5. Растительность
 - широколиственный лес «Вышгородская роща»
 - сосновая лесопосадка на комплексе террас
 - ксерофитный сенокос
6. Административно-хозяйственные объекты
 - Дудкино населенные пункты
 - III ключевые участки исследования

Рис. 1. Расположение ключевых участков исследования на геоморфологической карте



Крона крупного
экземпляра *Fraxinus*
excelsior



Нижняя часть ствола



Поваленный ветром ясеня,
нижняя часть ствола



Крона крупного
экземпляра *Acer*
platanoides



Нижняя часть ствола



Моновидовая группировка
Acer platanoides с окном от
ветровала



Липа сердцевидная (*Tilia*
cordata) среди кленов



Крупный экземпляр Дуба
черешчатого (*Quercus robur*)



Пораженный графиейзом и
погибший Вяз шершавый
(*Ulmus glabra*)

Рис. 2. Морфология вегетативных органов, болезни и сомкнутость крон основных видов деревьев — эдификаторов

Среднее ИК-излучение, интенсивность которого отображается каналами 6–8, обычно используется для визуализации отличий сухой земли от влажной, а также грунтов от почвы [Васильев, Резницкий, Демьянович, Некрасова, 1995; Лурье, 2010; Fakharizadehshirazi, Sabziporvar, Sodoudi, 2019]. На снимках местности в данном диапазоне самые яркие участки (с розоватым оттенком) — слабозадерненные или голые пески надпойменной террасы у села Казарь и прирусловой отмели у села Вышгород. Рельеф террас с поверхности выполнен толщами перевеянных песков, они максимально прогреваются от прямой солнечной радиации и потому заметны в SWIR-каналах. Преимущественно песчано-супесчаными отложениями сложены и валообразные пойменные гривы, протягивающиеся от села Казарь до села Панино. Они занимают около 34 % площади фрагмента днища долины средней Оки, названного нами ранее Половским сужением [Кривцов, Водорезов, Воробьев, 2017]. Одним из типов местности на данных гривах является другой сенокос, примыкающий с севера к ключевому участку II. Он выкашивается позднее сенокоса ключевое участка II и менее ценен в хозяйственном плане, что обусловлено развитием более ксерофитных растительных травянистых сообществ в его пределах. Более редкая растительность в его пределах и более сухие почвы определяют серо-розовый тон на снимке от 14 мая, сделанном в среднем ИК-диапазоне (см. рис. 3).

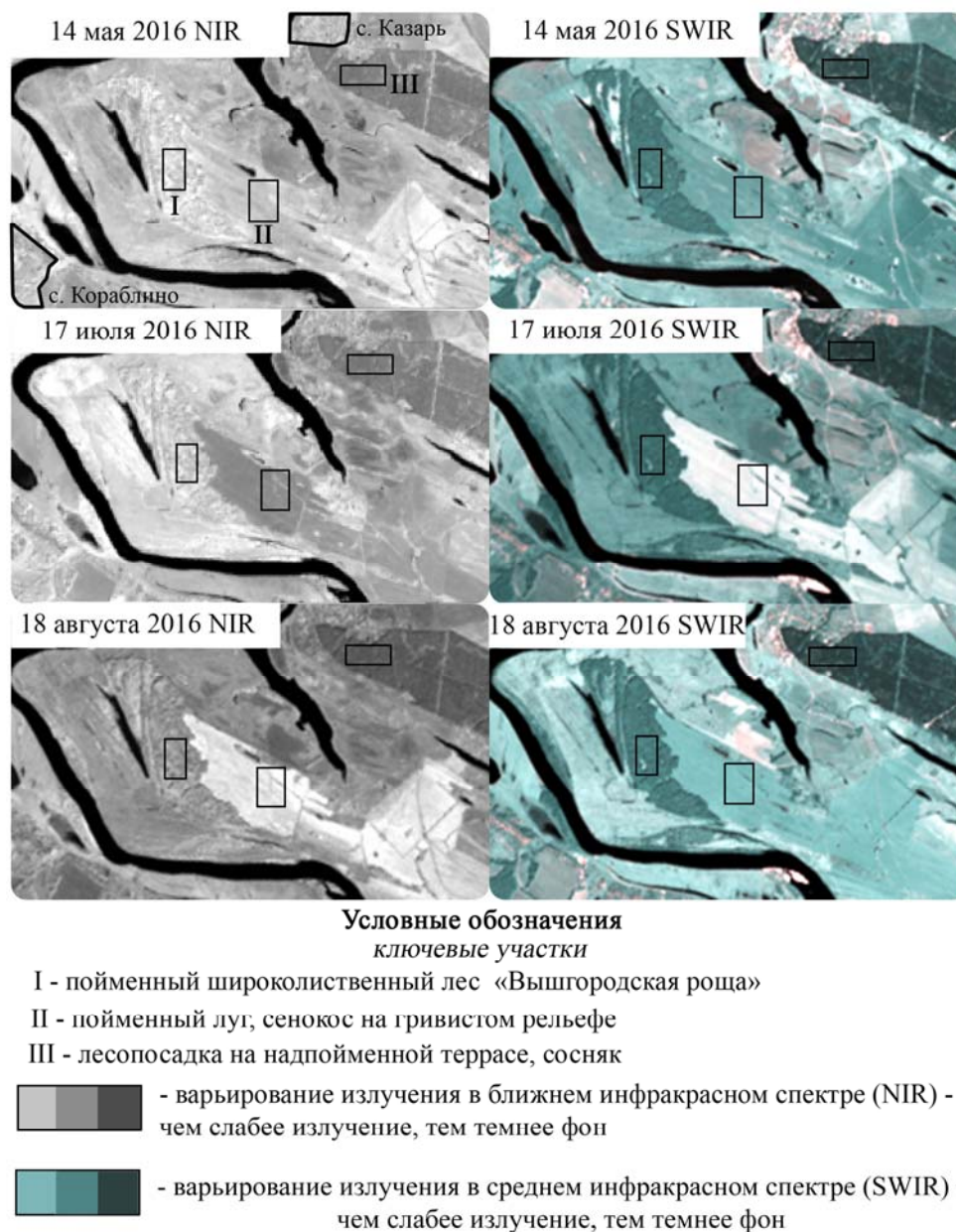


Рис. 3. Ключевые участки исследования в различных частях инфракрасного спектра (NIR и SWIR)

Изменения участия канала NIR в общей спектральной картине сенокоса (участок II) определяются хозяйственной деятельностью человека. Если в середине мая молодая травянистая растительность отражала 13,5 % излучения в данном диапазоне, то в середине июля (после выкашивания) — уже 10 % (см. рис. 4). Одновременно с этим резко увеличилось участие каналов SWIR — суммарно с 20,9 до 23,9 %. Необходимо учитывать, что даже изменение участия какого-либо диапазона излучения на 1–2 % четко отображается при визуализации мультиспектральной съемки. Наглядным примером этого является изменение интенсивности фона сенокоса участка II: NIR-излучение в его пределах максимально в августе и минимально после сенокоса, а SWIR-диапазон, наоборот, проявляется осветлением тона именно после сенокоса, в период сокращения транспирации влаги растительностью и некоторого иссушения местности. Характерно, что свежий сенокос на песчаной гряде, примыкающий с севера к ключевому участку II, в середине августа «засветился» ярким розовым светом в SWIR-диапазоне, хотя в середине июля, покрытый разнотравьем, никак себя не проявлял.

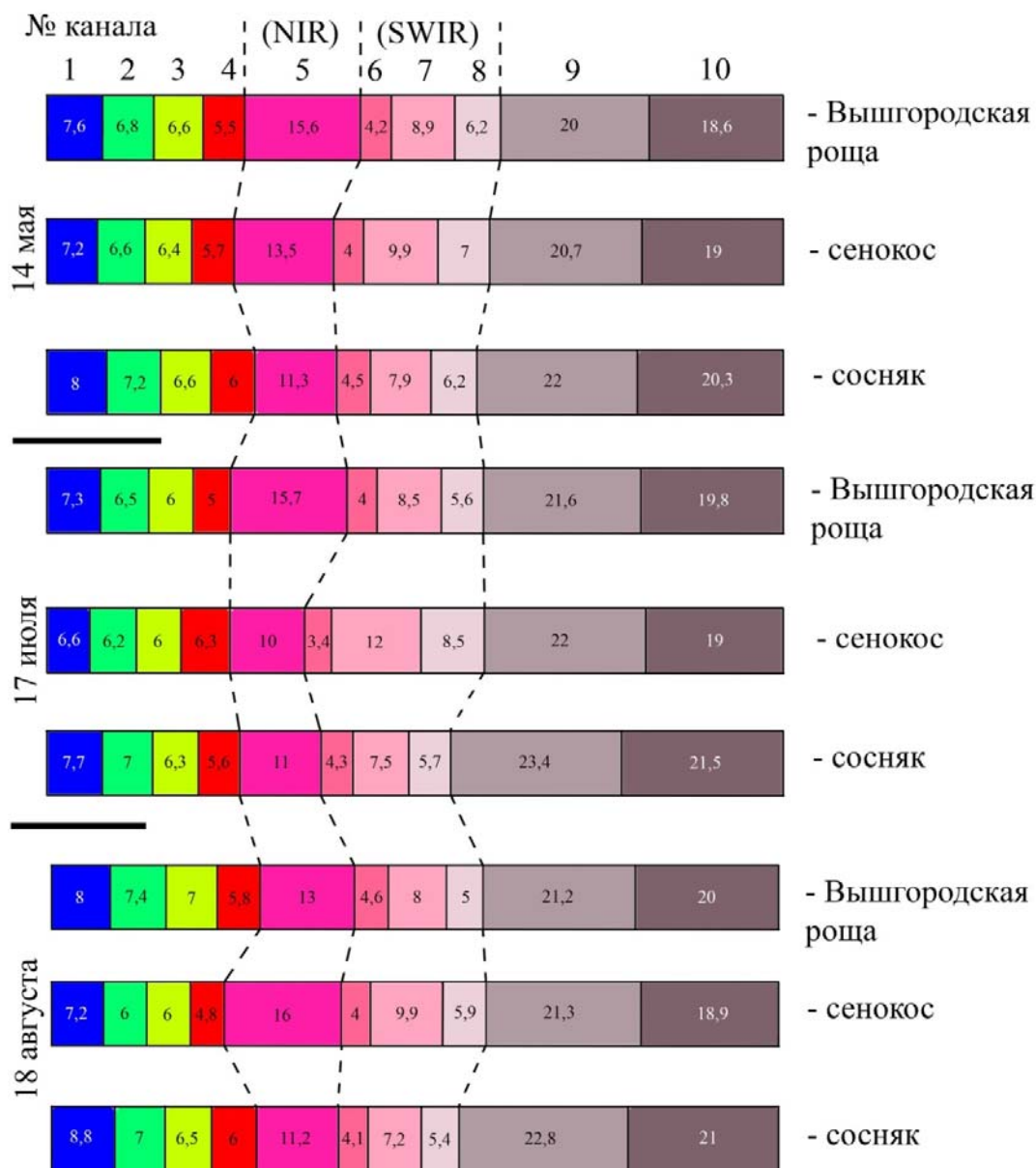


Рис. 4. Изменение соотношения каналов (в процентах) мультиспектральной съемки ключевых участков в течение весенне-летнего периода

В рамках нашего исследования не поставлена задача анализа изменчивости участия каналов 1–4 видимого спектра и длинноволнового ИК-излучения (каналы 9–10) в спектральной картине ключевых участков. Несмотря на то что данный вопрос был выведен за пределы актуальной проблематики, легко заметить, что доля участия дальнего инфракрасного излучения для сосняка во все месяцы на 3–4 % больше, чем для ключевых участков I и II.

В целом длинноволновое ИК-излучение позволяет оконтурить наиболее высокотемпературные участки земной поверхности, особенно важную роль каналы 9–10 имеют в прогнозировании направления движения лесных пожаров [Беручашвили, 1990; Лабутина, 2004]. По нашим данным, сосна обыкновенная поддерживает более высокую температуру биоценоза, чем пойменный широколиственный лес и пойменный луг. Это отчасти объясняет высокую пожароопасность хвойных лесов, особенно повышающуюся в июле и августе (доля излучения дальнего ИК-диапазона на участке III в эти месяцы на 2–3 % больше, чем в мае). Как правило, такие участки с повышенной температурой соответствуют наиболее приподнятым (часто — реликтовым) гривам окской поймы в Половском сужении, прирусловым отмелям и надпойменным террасам окской долины.

Проведенное исследование свидетельствует о неодинаковой восприимчивости природно-территориальных комплексов долины реки Оки по отношению к потоку солнечной энергии, способности накапливать ее, генерируя экологические риски. Тип растительных сообществ играет ведущую роль в способности к аккумуляции водных ресурсов биотой и почвой в различные сезоны гидрологического года. Для пойменного рельефа весенне-летний сезон можно назвать «временем покоя», однако функционирование биоценозов и регулярное землепользование подготавливает поверхность его форм к новому половодью.

Экстраполяция примененной методики на все морфодинамические позиции пойменно-русловых комплексов рельефа окской поймы, вероятно, станет полезной для оценки их «готовности» к паводку в каждом отдельном году. Отметим, что результаты исследования во многом носят предварительный характер, требуется дальнейшая разработка данного направления с привлечением более детальных топографических данных. Дополнительные процедуры радиометрической и геометрической коррекции спутниковых снимков, применяемые в международной методологии дешифрирования ДЗЗ, также способны существенно улучшить геоэкологическую и геоморфологическую интерпретацию работы.

Заключение

Анализ данных мультиспектральной спутниковой съемки территориальных выделов долины Оки у села Казарь свидетельствует о неодинаковом участии ближнего и среднего ИК-диапазонов в излучении соснового леса, пойменного широколиственного леса и сенокоса в пределах пойменного луга. Излучение ближнего ИК-диапазона наиболее четко проявляется при съемке Вышгородской рощи и молодых травянистых сообществ. При съемке в среднем ИК-диапазоне выделяются недавние сенокосы, оголенные пески, участки с редкой ксерофитной растительностью. Сенокосение в июле вызывает уменьшение участия NIR-канала в общей спектральной картине пойменного луга на 3,5 %, затем, по мере роста второй генерации разнотравья, доля NIR увеличивается на 6 %. Для Вышгородской рощи, не испытывающей явно выраженного антропогенного прессинга, зафиксировано снижение доли ближнего ИК-диапазона в августе на 2,5 % по сравнению с маем и июлем, объясняющееся увяданием листвы. Участие NIR в спектральной картине излучения сосняка у села Казарь оставалось неизменным в течение всего весенне-летнего периода, отмечается и большее участие дальнего ИК-диапазона по сравнению с другими ключевыми участками.

В целом результаты исследования позволяют сделать вывод о перспективности анализа мультиспектральной съемки для установления особенностей динамики и определения границ природно-антропогенных и антропогенных геосистем как эффективного геофизического метода. Установлено, что различные высотные уровни окской поймы прогреваются неодинаково, однако сосредоточение внимания только на морфометрических признаках рельефа без учета растительности сильно искажает мультиспектральную карту местности. Предполагается, что дешифрирование множества снимков — временных срезов состояния как рельефа, так и биоты в границах пойменных ландшафтов, выделенных ранее в работе коллег [Тобратов, Водорезов, Кривцов [и др.], 2011], позволит оптимизировать процесс средне- и крупномасштабного геоморфологического картирования долины реки Оки.

Список источников

1. Ашаткин И. А., Мальцев К. А., Гайнутдинова Г. Ф., Усманов Б. М., Гафуров А. М., Ганиева А. Ф., Мальцева Т. С., Гиззатуллина Э. Р. Анализ морфометрии рельефа по глобальным ЦМР в пределах южной части европейской территории России // Ученые записки Казанского университета. Сер. «Естественные науки». — 2020. — Т. 162, № 4. — С. 612–628.
2. Балдина Е. А., Грищенко М. Ю. Методика дешифрирования разновременных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. — 2014. — № 1. — С. 35–42.
3. Беручашвили Н. Л. Геофизика ландшафта. — М. : Высшая школа, 1990. — 287 с.
4. Белоусова А. П. Применение вегетационных индексов при анализе использования пахотных угодий (на примере Уинского района Пермского края) // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. — 2019. — Т. 24, № 4. — С. 208–218.

5. Варфоломеев А. Ф., Коваленко Е. А., Манухов В. Ф. ГИС-технологии при изучении и оценке взаимосвязи пространственного распространения почвенного покрова и рельефа // Геодезия и картография. — 2013. — № 7. — С. 47–53.
6. Васильев Е. П., Резницкий Л. З., Демьянович Н. И., Некрасова Е. А. Перспективы рационального использования минеральных ресурсов Южного Прибайкалья // География и природные ресурсы. — 1995. — № 4. — С. 57–64.
7. Елистратова-Щербакова А. С. Луга среднего течения реки Мокши в районе г. Темникова // Труды Мордовского государственного заповедника им. П. Г. Сидовича. — 1960. — № 1. — С. 221–273.
8. Казакова М. В. Флора Рязанской области. — Рязань : Русское слово, 2004. — 388 с.
9. Колмогорова Е. Ю., Неверова О. А. Изучение водного режима и годичного прироста побегов у древесных растений, произрастающих на породном отвале Кедровского угольного разреза // Вестник КрасГАУ. — 2016. — № 9. — С. 17–26.
10. Кривцов В. А., Водорезов А. В. Особенности строения и формирования рельефа на территории Рязанской области. — Рязань : Ряз. гос. ун-т им. С. А. Есенина, 2006. — 279 с.
11. Кривцов В. А., Водорезов А. В., Воробьев А. Ю. Особенности строения и формирования поймы реки Оки в ее Половском сужении // Вестник Рязанского государственного университета. — 2017. — № 1/54. — С. 172–184.
12. Кривцов В. А., Тобратов С. А., Водорезов А. В., Комаров М. М., Железнова О. С., Соловьева Е. А. Природный потенциал ландшафтов Рязанской области / под ред. В. А. Кривцова, С. А. Тобратова. — Рязань : Ряз. гос. ун-т им. С. А. Есенина, 2011. — 768 с.
13. Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. — М. : АспектПресс, 2004. — 184 с.
14. Лозбенев Н. И., Козлов Д. Н. Роль природных факторов в формировании структуры землепользования Вороно-Цнинского междуречья за последние 300 лет // Вестник Московского университета. Сер. 5, География. — 2018. — № 4. — С. 12–20.
15. Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы информатики и цифровой обработки космических снимков. — М. : КДУ, 2010. — 424 с.
16. Олзоев Б. Н., Никитина Ю. Г. Геоинформационное картографирование антропогенного воздействия с использованием разновременных космических снимков на примере Прибайкальского национального парка // Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия : материалы Междунар. науч. конф. — Новосибирск : СГГА, 2014. — Т. 2. — С. 237–242.
17. Папина О. Н., Собчак Р. О., Астафурова Т. П. Влияние урбанизированной среды на покровные ткани и содержание воды в хвое видов семейства Pinacea Lindl // Вестник Томского государственного университета. Сер. «Биология». — 2013. — № 3 (23). — С. 152–161.
18. Fakharizadehshirazi E., Sabziparvar A. A., Sodoudi S. Long-term spatiotemporal variations in satellite-based soil moisture and vegetation indices over Iran // Environmental Earth Sciences. — 2019. — Vol. 78. — 342 p.
19. Steinfeld C. M. M., Kingsford R. T., Laffan S. W. Semi-automated GIS techniques for detecting floodplain earthworks // Hydrological Processes. — 2013. — Vol. 27. — Pp. 579–591.
20. Ördög V., Molnár Z. Plant physiology. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem. — 2011. — Pp. 78–82.
21. Otto J-C., Smith M. J. Geomorphological Mapping. Geomorphological techniques // Geomorphological Techniques / ed. by L. E. Clarke. — L. : British Society for Geomorphology, 2013. — Ch. 2, Sec. 6. — Pp. 67–90.

References

1. Ashatkin I. A., Maltsev K. A., Gainutdinova G. F., Usmanov B. M., Gafurov A. M., Ganieva A. F., Maltseva T. S., Gizzatullina E. R. *Analysis of relief morphometry based on global DEMs within the southern part of European Russia. Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. "Yestestvennyye nauki".* [Scientific notes of Kazan University. Series "Natural Sciences"]. 2020, vol. 162, iss. 4, pp. 612–628. (In Russian).
2. Baldina E. A., Grishchenko M. Yu. Methodology for interpreting multi-temporal space images in the thermal infrared range. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5, Geografiya.* [Bulletin of Moscow University. Series 5, Geography]. 2014, iss. 1, pp. 35–42. (In Russian).
3. Beruchashvili N. L. *Geofizika landshafta.* [Landscape Geophysics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ. 1990, 287 p. (In Russian).
4. Belousova A. P. Use of vegetation indices in analysis of arable land use (on the example of Uinsky District of Perm Pегion). *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologii.* [Bulletin of the Siberian State University of Geosystems and Technologies]. 2019, vol. 24, iss. 4, pp. 208–218. (In Russian).
5. Varfolomeev A. F., Kovalenko E. A., Manukhov V. F. GIS technologies in study and assessment of the relationship between spatial distribution of soil cover and relief. *Geodeziya i kartografiya.* [Geodesy and Cartography]. 2013, iss. 7, pp. 47–53. (In Russian).

6. Vasilyev E. P., Reznitsky L. Z., Demyanovich N. I., Nekrasova E. A. Prospects for the rational use of mineral resources in the Southern Baikal region. *Geografiya i prirodnyye resursy*. [Geography and natural resources]. 1995, iss. 4, pp. 57–64. (In Russian).
7. Elistratova-Shcherbakova A. S. Meadows of the middle reaches of the Moksha River in the area of the town of Temnikov. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo zapovednika im. P. G. Smidovicha*. [Works of Mordovian State Nature Reserve named after P. G. Smidovich]. 1960, iss. 1, pp. 221–273. (In Russian).
8. Kazakova M. V. *Flora Ryazanskoy oblasti*. [Flora of the Ryazan Region]. Ryazan, Russkoe slovo, 2004, 388 p. (In Russian).
9. Kolmogorova E. Yu., Neverova O. A. Study of hydrological regimes and annual growth of shoots of woody plants growing on the waste dump of Kedrovka coal mine. *Vestnik KrasSAU*. [Bulletin of Krasnoyarsk State University]. 2016, iss. 9, pp. 17–26. (In Russian).
10. Krivtsov V. A., Vodorezov A. V. *Osobennosti stroyeniya i formirovaniya relyefa na territorii Ryazanskoy oblasti*. [Features of the structure and formation of relief on the territory of Ryazan Region]. Ryazan, Ryazan State University named for S. A. Yesenin, 2006, 279 p. (In Russian).
11. Krivtsov V. A., Vodorezov A. V., Vorobyov A. Yu. Features of the structure and formation of the Oka River floodplain in its Polovskoye narrowing *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo universiteta*. [Bulletin of the Ryazan State University]. 2017, iss. 1/54, pp. 172–184. (In Russian).
12. Krivtsov V. A., Tobratov S. A., Vodorezov A. V., Komarov M. M., Zheleznova O. S., Solovyeva O. S. *Prirodnyy potentsial landshaftov Ryazanskoy oblasti. Pod red. V. A. Krivtsova, S. A. Tobratova*. [Natural potential of the landscapes of the Ryazan Region. Ed. By V. A. Krivtsov, S. A. Tobratov]. Ryazan, Ryazan State University named for S. A. Yesenin, 2011, 768 p. (In Russian).
13. Labutina I. A. *Deshifirovaniye aerokosmicheskikh snimkov*. [Deciphering aerospace images]. Moscow, AspectPress, 2004, 184 p. (In Russian).
14. Lozbenov N. I., Kozlov D. N. Natural factors in the formation of the land use structure of the Vorona-Tsna interfluvium over the past 300 years. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5, Geografiya*. [Bulletin of Moscow University. Ser. 5, Geography]. 2018, iss. 4, pp. 12–20. (In Russian).
15. Lurye I. K. *Geoinformatsionnoye kartografirovaniye. Metody informatiki i tsifrovoy obrabotki kosmicheskikh snimkov*. [Geoinformation mapping. Methods of informatics and digital processing of space images]. Moscow, KDU, 2010, 424 p. (In Russian).
16. Olzoev B. N., Nikitina Yu. G. Geoinformation mapping of anthropogenic impact using multi-temporal space images on the example of Baikal National Park. *Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya: Materialy Mezhdunar. nauch. konf.* [Geodesy, geoinformatics, cartography, mine surveying: Proceedings of International scientific conference]. Novosibirsk, SGGU Publ., 2014, vol. 2, pp. 237–242. (In Russian).
17. Papina O. N., Sobchak R. O., Astafurova T. P. Influence of urbanized environment on integumentary tissues and water content in pine-needles of species of the Pinacea Lindl family. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Biologiya"*. [Bulletin of Tomsk State University. Series "Biology"]. 2013, iss. 3 (23), pp. 152–161. (In Russian).
18. Fakhrazadehshirazi E., Sabziparvar A. A., Sodoudi S. Long-term spatiotemporal variations in satellite-based soil moisture and vegetation indices over Iran. *Environmental Earth Sciences*. 2019, vol. 78, 342 p.
19. Steinfeld C. M. M., Kingsford R. T., Laffan S. W. Semi-automated GIS techniques for detecting floodplain earthworks. *Hydrological Processes*. 2013, vol. 27, pp. 579–591.
20. Ördög V., Molnár Z. *Plant physiology*. University of Debrecen, University of West Hungary, University of Pannonia Debreceni Egyetem. 2011, pp. 78–82.
21. Otto J.-C., Smith M. J. Geomorphological Mapping. Geomorphological techniques. *Geomorphological Techniques*. Ed. by L. E. Clarke. London, British Society for Geomorphology, 2013, ch. 2, sec. 6, pp. 67–90.

Информация об авторах

Кадыров Александр Сергеевич — аспирант кафедры географии, экологии и природопользования Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина.

Сфера научных интересов: динамическая геоморфология, русловые процессы равнинных рек, осадконакопление в речных долинах, история заселения пойменных территорий, методика полевых геоморфологических исследований.

Воробьев Алексей Юрьевич — кандидат географических наук, доцент кафедры географии, экологии и природопользования Рязанского государственного университета имени С. А. Есенина.

Сфера научных интересов: динамическая геоморфология, палеогеография плейстоцена и голоцена окского бассейна, русловые процессы равнинных рек, осадконакопление в речных долинах, история заселения пойменных территорий, методика полевых геоморфологических исследований.

Information about the authors

Kadyrov Aleksandr Sergeyevich — laboratory technician of the Department of Geography, Ecology and Nature Management, Ryazan State University named for S. A. Yesenin.

Research interests: dynamic geomorphology, channel processes of lowland rivers, sedimentation in river valleys, history of settlement of floodplain territories, methods of field geomorphological studies.

Vorobyov Alexey Yuryevich — Candidate of Geography, Senior lecturer, Department of Geography, Ecology and Nature Management, Ryazan State University named for S. A. Yesenin.

Research interests: dynamic geomorphology, Pleistocene and Holocene paleogeography of the Oka River basin, river bed processes in lowland rivers, sedimentation in river valleys, history of settlement of floodplain territories, methods of field geomorphological studies.

Статья поступила в редакцию 12.11.2024; принята к публикации 16.01.2024.

The article was submitted 12.11.2024; accepted for publication 16.01.2024.