

Е.Е. Лукашик, Е.А. Лукашик, А.С. Алексеев

**ТИПОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОХОТНИЧЬИХ УГОДИЙ
КЛЮЧЕВОЙ ОРНИТОЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
«ОЗЕРО ИЛЬМЕНЬ И ОКРЕСТНОСТИ»
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

Введение. Природопользование имеет длительную и насыщенную историю, сформированную человеческой деятельностью. При этом большинство насущных проблем, с которыми сталкивается человечество, прямо или косвенно связано с экологией и природопользованием. С учетом развития процесса индустриализации и урбанизации, роста численности населения и, как следствие, роста потребления различной продукции, для производства которой необходимы лесные, сельскохозяйственные, земельные ресурсы, во многих регионах мира сфера природопользования ожидаемо стала нуждаться в рациональной интенсификации. Этот факт известен еще с XX века, а в конце 1950-х гг. уже были заложены принципы рационального природопользования [Рациональное..., 2012].

Интенсификация основывается на применении более эффективных средств и оптимизации процессов. XXI столетие по праву считается периодом развития прорывных технологий в области цифровой трансформации различных отраслей экономической деятельности. При этом значительное влияние на процесс цифровизации отраслей, в том числе и на сферу природопользования, оказывают такие сквозные технологии, как искусственный интеллект и большие данные, дистанционное зондирование Земли, беспилотные авиационные системы. Синергия данных технологий и фундаментальных принципов рационального природопользования является одним из важнейших звеньев цепочки, позволяющей приблизиться к действительно оптимальной эксплуатации природных ресурсов и равновесию в отношениях «человек-природа».

Биологическое природопользование, к которому относится охотничье хозяйство, должно основываться на принципе возобновляемости ресурсов и естественном воспроизводстве: изъятие охотничьих ресурсов не должно превышать их прироста [Винобер, 2019]. При этом адекватно оценивать числен-

ность охотничьих ресурсов и планировать мероприятия для поддержания оптимальной численности невозможно без оценки их среды обитания. Данное обстоятельство подтверждается как ведущими исследователями в области охотничьего хозяйства, так и рядом нормативно-правовой документации, регламентирующей добычу охотничьих ресурсов и порядок охотустроительных работ [Черкаев и др., 2000; Сухомиров, 2017]. Большое значение имеет качественное проведение оценки среды обитания охотничьих ресурсов на территориях, ценных с точки зрения биологического разнообразия и с особым природоохранным статусом. При этом оценка среды обитания охотничьих ресурсов вполне успешно может базироваться на результатах геоинформационного анализа данных дистанционного зондирования Земли.

Объект и методика исследования. Объектом исследования являлась ключевая орнитологическая территория (КОТР) международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» общей площадью 190950 га, расположенная на территории Новгородской области. Границы КОТР (рис. 1) входят в границы водно-болотного угодья «Озеро Ильмень и дельты рек Мста, Ловать, Шелонь», внесённого в Перспективный список Рамсарской конвенции [Каменнова, 2010; Водно-болотные..., 2025].

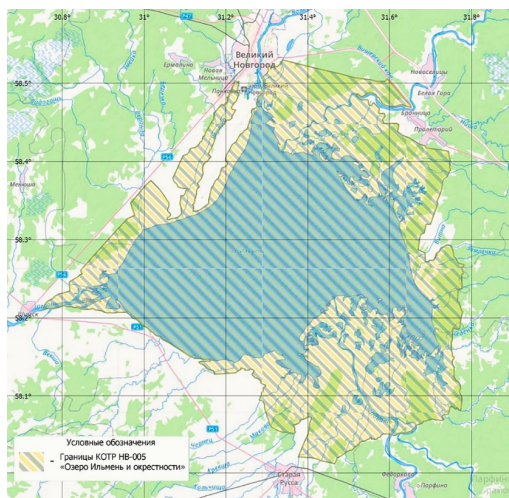


Рис. 1. Граница КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» [ЛВПЦ..., 2025]

Fig. 1. Border of KOA of international importance NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain» [LVPC..., 2025]

Ключевые орнитологические территории представляют собой территории, которые за счет совокупности ландшафтных и климатических характеристик имеют важнейшее значение для птиц и являются местом остановок на пролете, зимовки, гнездования и линьки. Выделение КОТР является достаточно эффективной мерой территориальной охраны различных видов птиц.

Из всех шести выделяемых в Новгородской области КОТР данная территория является наиболее ценной, в том числе и в качестве водно-болотного угодья [Мищенко, 2000]. В границы объекта исследования входит 13 охотничьих хозяйств.

Материалами для исследования являлись результаты анализа научных работ отечественных и зарубежных ученых в направлении применения данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий в практике охотустроительного проектирования. В ходе проведенного исследования апробирована методика отбора эталонных участков с помощью применения беспилотных авиационных систем (БАС) для обучения алгоритмов классификации космических снимков и оценки точности получаемых результатов, а также применены некоторые из актуальных методов автоматизированной обработки данных дистанционного зондирования Земли (данных ДЗЗ) и геоинформационного анализа, что послужило основой для разработки технологии комплексного применения космической съемки, БАС и геоинформационных систем для типологической оценки элементов среды обитания охотничьих ресурсов. Работа с геопространственными данными проводилась с учетом общепринятых принципов геоинформатики и требований регламентирующих документов, таких как «ГОСТ Р 50828–95 Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования», «ГОСТ Р 59328–2021 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования», «ГОСТ Р 59079–2020 Данные дистанционного зондирования земли из космоса. Типы данных дистанционного зондирования Земли из космоса».

Типологическая классификация элементов среды обитания охотничьих ресурсов основывалась на требованиях действующего Приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 31 августа 2010 года №335 (с изменениями на 29 августа 2018 года) «Об утверждении порядка составления схемы размещения, использования и охраны охотничьих угодий на территории субъекта Российской Федерации, а также требований к ее составу и структуре».

Для каждого из классов среды обитания охотничьих ресурсов, по которым проводилась оценка, были отобраны эталонные участки на основе лесохозяйственных материалов (таксационных описаний и планов лесных насаж-

дений), а также на основе результатов дешифрирования геопривязанных космических снимков высокого разрешения, полученных с картографических сервисов Яндекс и Google в программном обеспечении SAS.Planet. При отборе эталонных участков учитывались особенности построения маршрутов полета используемых беспилотных воздушных судов (БВС) самолетного типа Geoscan Lite и мультироторного типа DJI Phantom 4 Pro V2.0. Построение полетных заданий для проведения аэрофотосъемки эталонных участков (АФС) выполнялось в программном обеспечении Geoscan Planner и DJI Pilot; пример одного из таких полетных заданий представлен на рис. 2.

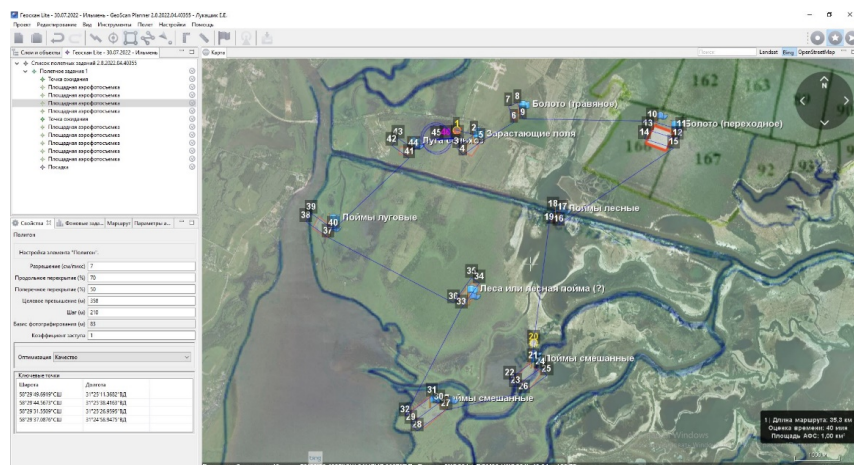


Рис. 2. Построение полетного задания для БВС самолетного типа Geoscan Lite в программном обеспечении Geoscan Planner общей протяженностью маршрута 35,3 км и площадью АФС 100 га

Fig. 2. Construction of a flight task for the UAV aircraft type Geoscan Lite in the software Geoscan Planner with total route length of 35,3 km and area of 100 ha

Аэрофотосъемка эталонных участков производилась на съемочные системы БВС Sony A6000 20mm f/2/8 и DJI Gimbal Camera 24mm f/2.8. Для определения координат центров фотографирования в системе координат WGS-84 использовались бортовые навигационные приемники; точность определения координат в плане не хуже 1,0 м, ошибка по высоте не более 0,8 м. Фотограмметрическая обработка материалов аэрофотосъемки по представленной на рис. 3 технологической схеме проводилась в программном обеспечении Agisoft Metashape Pro. Пространственное разрешение полученных цифровых моделей местности и ортофотопланов составило от 14 до 28 см/пикс и от 4 до 7 см/пикс соответственно.

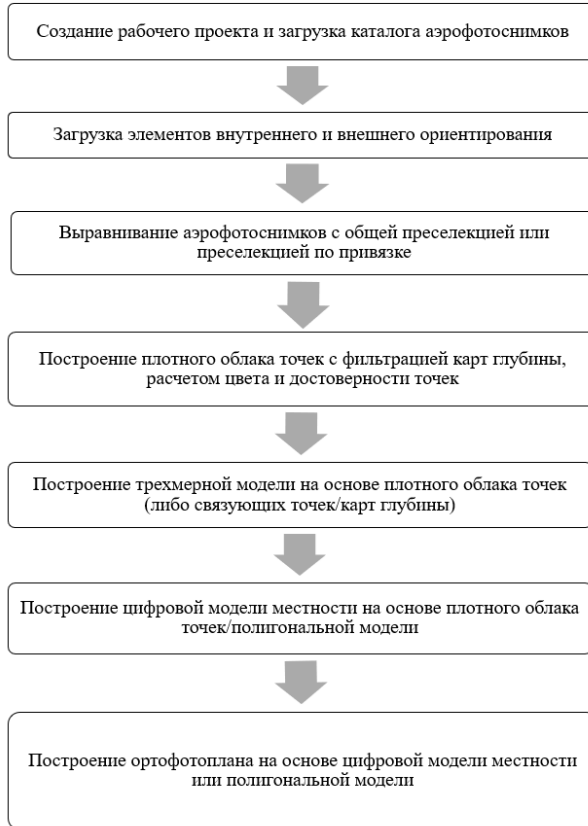


Рис. 3. Технологическая схема работы с материалами аэрофотосъемки, полученными с помощью БВС, в программном обеспечении Agisoft Metashape Pro

Fig. 3. Schematic of working with aerial photography materials obtained with the help of UAV in the software Agisoft Metashape Pro

Для определения признаков классов среды обитания охотничьих ресурсов, относящихся к молоднякам и кустарникам (территории, покрытые кронами древесной и древесно-кустарниковой растительности более чем на 20% площади и с высотой растений до 5 м), пойменным комплексам с преобладанием леса, смешанным лесным и кустарниковым пойменным комплексам использовались цифровые модели местности эталонных участков, полученные по результатам фотограмметрической обработки материалов аэрофотосъемки в программном обеспечении Agisoft Metashape

Pro (рис. 4). На цифровой модели местности определялись высоты древесных и древесно-кустарниковых растений путем построения профилей, секущих местность вертикальной плоскостью, а также занимаемая древесными и древесно-кустарниковыми растениями площадь.

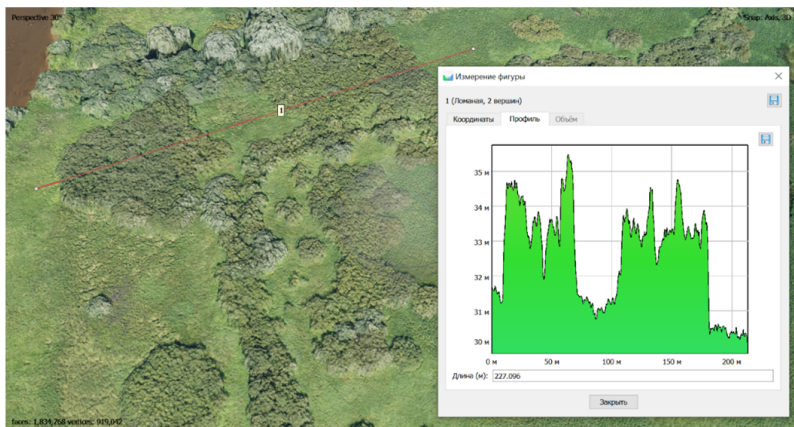


Рис. 4. Работа с цифровыми моделями местности для определения высот древесных и древесно-кустарниковых растений в программном обеспечении Agisoft Metashape Pro

Fig. 4. Working with digital terrain models to determine the height of tree and woody shrub plants in Agisoft Metashape Pro software

Эталонные участки для классов среды обитания охотничьих ресурсов, входящих в категории «Леса», «Молодняки и кустарники», «Болота», преимущественно отбирались на основе лесостроительных материалов. Для оптимизации отбора обозначенных эталонных участков применялся программный комплекс лесостроительного проектирования и лесного планирования WinPlp 4.0 с информационными базами данных непрерывного лесоустройства 2019–2021 гг. Отбор основывался на использовании элементов условия «Функции» и «Составляющие породы» с указанием искомого породного состава и средней высоты древостоя. В качестве хвойных пород на территории объекта исследования представлены ель европейская (*Picea abies* (L.) Karst) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), мелколиственных – преимущественно береза (*Betula* sp.) и осина обыкновенная (*Populus tremula* L.). Видовой состав кустарников достаточно разнообразен и представлен преимущественно ивой прутовидной (*Salix viminalis* L.), ивой пурпурной (*Salix purpurea* L.), ивой трёхтычинковой (*Salix triandra* L.), ивой белой (*Salix alba* L.) и др.

Эталонные участки для классов среды обитания охотничьих ресурсов, входящих в категорию «Сельскохозяйственные угодья», отобраны как по

результатам аэрофотосъемки с БВС, так и по результатам дешифрирования космических снимков. Преобразованные и поврежденные (нарушенные антропогенной деятельностью) участки, а также территории, непригодные для ведения охотничьего хозяйства, отбирались на основе векторных слоев категории «Землепользование» сервиса OpenStreetMap (OSM).

Для типологической классификации объекта исследования использовались снимки с искусственного спутника Земли (ИСЗ) Sentinel-2 L2A с проведенной атмосферной и геометрической коррекцией через сервис Sentinel Hub EO Browser. Даты съемки – зимний период (22.02.2023 г.), весенний период (20.04.2023 г.), летний период (06.08.2023 г.), облачность от 1,0% до 2,0% на квадрат съемки 36VUK MGRS location, координаты центра объекта исследования 58°16' с.ш. 31°23' в.д., пространственное разрешение – 10 м/пикс. Комбинация каналов космического снимка с ИСЗ Sentinel-2 L2A сформирована из B08 (ближний инфракрасный – БИК), B04 (красный – К), B02 (зеленый – З). Дешифрирование объектов в данной комбинации каналов основывалось на принципах интерпретации, отраженных в литературных источниках [Шихов и др., 2020] и тематических электронных ресурсах «Географические информационные системы и дистанционное зондирование GIS-Lab» [Географические..., 2025].

В качестве алгоритма автоматизированной классификации был выбран Random Forest [Дергунов и др., 2024; Breiman, 2001] или алгоритм «случайного леса», реализованный на базе плагина dzetsaka: classification tool и Python-библиотеки scikit-learn в программном обеспечении QGIS [GitHub dzetsaka, 2025; Scikit-learn..., 2025]. Данный универсальный алгоритм машинного обучения построен на ансамбле решающих деревьев из исходной обучающей выборки, при этом проводится классификация итоговых вариантов по коэффициенту Каппа. Алгоритм Random Forest реализует оценку «меры важности» определенного признака для классификации. Формула итогового классификатора представлена ниже:

$$\hat{f}_{rf}^B(x) = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(x), \quad (1)$$

где B – количество деревьев; b – счетчик для деревьев; T – решающее дерево; x – сгенерированная выборка.

Прогноз случайного леса для классификации принимается решением голосования по большинству, спрогнозированный класс b-го бутстрапированного дерева равен:

$$\hat{C}_{rf}^B(x) = \text{majority vote} \left[\hat{C}_b(x) \right]_1^B. \quad (2)$$

В реализации Python-библиотеки `scikit-learn` максимальное число признаков для классификации `max_features` принимается функцией `sqrt(n)` – квадратный корень числа всех признаков в наборе данных; для задач регрессии `n/3`. При этом для оценки достоверности результатов автоматизированной классификации формировалась матрица ошибок с разделением обучающей выборки на эталонные и контрольные участки в соотношении 50% на 50%.

Результаты исследования. Для проведения автоматизированной классификации в среде QGIS была сформирована геоинформационная система по объекту классификации КОТР НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности», включающая в себя следующее послойное размещение в границах объекта исследования растровых и векторных изображений: границы объекта исследования, планы лесных насаждений, категории «Землепользование» сервиса OSM, ортофотопланы эталонных участков, ортофотопланы контрольных участков, границы эталонных и контрольных участков, цифровая модель рельефа SRTM GL1 (30 м), маски пойменных комплексов и водных объектов, лесов, сельскохозяйственных угодий, RAW-растры космических снимков с ИСЗ Sentinel-2 L2A и виртуальные скомбинированные растры космических снимков с ИСЗ Sentinel-2 (каналы БИК-К-3).

Для повышения достоверности результатов классификации использовались маски пойменных комплексов и водных объектов, лесов, сельскохозяйственных угодий. Маска пойменных комплексов сформирована на основе цифровой модели рельефа SRTM GL1 (30 м), а также границ территорий, затопляемых в период половодья водотоков, находящихся между минимальным и максимальным урезами воды, определенными по космическим снимкам с ИСЗ Sentinel-2 L2A за весенний и летний период. Наивысший уровень воды наблюдается в конце апреля – начале мая. В июле, августе и сентябре озеро сильно мелеет, наблюдается межень. В поймах озера Ильмень и рек, впадающих в озеро, затопление наблюдается до участков высотой 24 м относительно уровня моря [Нехайчик, 1975; Жекулин, 1979]. Маска лесов сформирована на основе границ земель лесного фонда, а маска сельскохозяйственных угодий – методом исключения из общей обследуемой территории пойменных комплексов и лесов. Композиты космических снимков с ИСЗ Sentinel-2 L2A за зимний и летний периоды использовались для более точного разделения хвойных, смешанных и мелколиственных лесов. Использование масок при проведении процесса автоматизированной классификации позволяет снизить количество ошибочно классифицируемых пикселей [Yang et al., 2009; Whiteside et al., 2011; Pan et al., 2021].

Для автоматизированной классификации охотничьих угодий с помощью алгоритма Random Forest на территории объекта исследования были отобраны 53 эталонных участка для пойменных комплексов и водных объектов, 25 – для лесов и 20 – для сельскохозяйственных угодий. Полученные по итогу классификации растры были объединены и векторизованы. Результат в виде карты-схемы элементов среды обитания охотничьих угодий представлен на рис. 5.

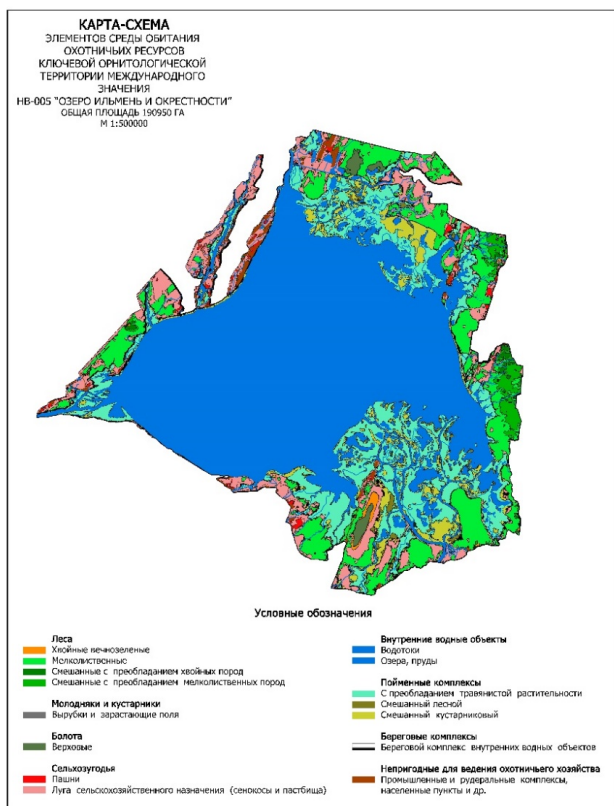


Рис. 5. Карта-схема элементов среды обитания охотничьих ресурсов КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности»

Fig. 5. Schematic map of the habitat elements of hunting resources KOA of international importance NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain»

Распределение площади объекта исследования по классам среды обитания охотничьих ресурсов представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Элементы среды обитания охотничьих ресурсов на территории КОТР
международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности»**

**Elements of the habitat of hunting resources in the territory KOA
of international importance NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain»**

№ п/п	Категории среды обитания охотничьих ресурсов	Классы среды обитания охотничьих ресурсов	Пло- щадь, га	Доля от об- щей площа- ди КОТР, %
1	Леса (территории, покрытые кронами древесной и древесно- кустарниковой растительности более чем на 20% площади и с высотой растений более 5 м)	Хвойные вечнозеленые (хвойных вечнозеле- ных пород более 80%)	540	0,3%
		Мелколиственные (мелколиственных по- род более 80%)	20185	10,6%
		Смешанные с преобла- данием хвойных пород (хвойных пород 60– 80%)	426	0,2%
		Смешанные с преобла- данием мелколиствен- ных пород (мелколист- венных пород 60–80%)	2454	1,3%
2	Молодняки и кустарники (территории, покрытые крона- ми древесной и древесно- кустарниковой растительности более чем на 20% площади и с высотой растений до 5 м)	Вырубки и зарастаю- щие поля	48,8	0,0%
3	Болота (территории, постоянно или большую часть года избы- точно насыщенные водой и по- крытые специфической гидро- фитной растительностью)	Верховые	1075	0,6%
4	Сельхозугодья (территории, вовлеченные в сельскохозяй- ственный оборот, пашни (в т.ч. заливные), залежи, сенокосы)	Пашни	2457	1,3%
		Луга сельскохозяй- ственного назначения (сенокосы и пастбища)	16311	8,5%
5	Внутренние водные объекты (все акватории водотоков (рек, ручьев, мелиоративных кана- лов), озер, прудов и водохра- нилищ)	Водотоки	2464	1,3%
		Озера, пруды	104379,8	54,7%

Окончание табл. 1

№ п/п	Категории среды обитания охотничьих ресурсов	Классы среды обитания охотничьих ресурсов	Площадь, га	Доля от общей площади КОТР, %
6	Пойменные комплексы (территории, затопляемые в период половодья водотоков, находящиеся между среднестатистическими минимальным и максимальным урезами воды, в том числе покрытые древесно-кустарниковой растительностью)	С преобладанием травянистой растительности (лес и кустарники до 20%)	28892	15,1%
		Смешанный лесной	1541	0,8%
		Смешанный кустарниковый	8452	4,4%
7	Береговые комплексы (периодически затопляемые прибрежные территории (в том числе приливно-отливные) озер, прудов, водохранилищ, морей и океанов, находящиеся между среднестатистическими минимальным и максимальным урезами воды, а также мелководные участки этих водных объектов, занятые прикреплённой надводной гидрофитной растительностью)	Береговой комплекс внутренних водных объектов	322,4	0,2%
9	Непригодные для ведения охотничьего хозяйства (территории, занятые населёнными пунктами, промышленными комплексами, рудеральные территории (свалки, кладбища и др.)	Промышленные и рудеральные комплексы, населённые пункты и др.	1402	0,7%

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что на территории объекта исследования КОТР НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» преимущественно представлены озера и пруды (54,7%), пойменные комплексы с преобладанием травянистой растительности (15,1%), леса мелколиственные (10,6%), луга сельскохозяйственного назначения (8,5%), пойменные комплексы смешанные кустарниковые (4,4%). Остальные элементы среды обитания охотничьих ресурсов занимают незначительную долю площади объекта исследования.

После проведения автоматизированной классификации необходимо оценить достоверность полученных результатов. Наиболее распространенным методом оценки достоверности классификации является Confusion matrix или «Матрица ошибок», используемая при бинарной и многоклас-

совой классификации; в Python-библиотеке scikit-learn реализована как функция `confusion_matrix` [Github..., 2025]. Результаты оценки достоверности классификации, полученные на основе сформированной матрицы ошибок, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели достоверности классификации элементов среды обитания охотничьих ресурсов на территории КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности»

Indicators of reliability of classification of habitat elements of hunting resources in the territory of KOA of international importance NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain»

Классы	Показатели достоверности классификации			
	PA	UA	OE	CE
Леса хвойные вечнозеленые	90,14%	84,12%	9,86%	15,88%
Леса мелколиственные	99,74%	99,81%	0,26%	0,19%
Леса смешанные с преобладанием хвойных пород	83,42%	61,55%	16,58%	38,45%
Леса смешанные с преобладанием мелколиственных пород	58,18%	83,33%	41,82%	16,67%
Вырубки и зарастающие поля	72,59%	72,59%	27,41%	27,41%
Болота верховые	92,02%	98,67%	7,98%	1,33%
Пашни	95,47%	95,40%	4,53%	4,60%
Луга сельскохозяйственного назначения (сенокосы и пастбища)	99,99%	99,99%	0,01%	0,01%
Водотоки, озера, пруды	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
Поймы с преобладанием травянистой растительности (лес и кустарники до 20%)	98,56%	99,32%	1,44%	0,69%
Поймы смешанные лесные	56,02%	26,44%	43,98%	73,56%
Поймы смешанные кустарниковые	90,33%	96,05%	9,67%	3,95%
Береговой комплекс внутренних водных объектов	95,71%	95,71%	4,29%	4,29%
Промышленные и рудеральные комплексы, населенные пункты и др.	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%
MPA	88,01%			
MUA	86,64%			
T	99,80%			

Примечание. Обозначения показателей достоверности классификации: UA (user's accuracy) – точность пользователя; PA (producer's accuracy) – точность производителя; CE (commission error) – ложно классифицированные пиксели, отнесенные к данному классу; OE (omission error) – пропущенные пиксели, которые не были отнесены к данному классу; T (total accuracy) – общая точность; MUA (mean user's accuracy) – средняя точность пользователя; MPA (mean producer's accuracy) – средняя точность производителя

Исходя из результатов оценки достоверности классификации, можно сделать вывод, что такие классы, как «Леса смешанные с преобладанием хвойных пород», «Леса смешанные с преобладанием мелколиственных пород», «Поймы смешанные лесные» являются наиболее сложными для алгоритма классификации. Данный факт ожидаем, так как коэффициенты спектральной яркости в формируемых эталонных участках могут совпадать с классами «Леса хвойные вечнозеленые», «Леса смешанные с преобладанием хвойных пород», «Поймы смешанные кустарниковые» соответственно. Остальные классы имеют высокую точность классификации и малые значения ошибок. Средняя точность производителя составляет 88,01%, средняя точность пользователя – 86,64%, а общая точность – 99,8%, что является достаточно высокими показателями точности проведенной автоматизированной классификации.

Наряду с матрицей ошибок для оценки достоверности классификации рассчитан коэффициент каппа Коэна (Cohen's Kappa) по формуле:

$$k = \frac{d - q}{N - q}, \quad (3)$$

где d – число случаев правильного получения результата; q – число случайных результатов, вычисляемое через число случайных результатов n_c и истинных результатов n_t из матрицы ошибок как:

$$q = \frac{n_c n_t}{N}, \quad (4)$$

где N – общее число пикселей.

Для проведенной классификации значение коэффициента каппа Коэна равно 0,966 или 99,6%. Считается, что при хороших результатах классификации $k > 0,75$, при средних $0,4 < k < 0,75$ и при неприемлемых $k < 0,4$ [Малышева, 2012; Сидорова, 2017].

Выводы. Проведенное исследование показало преимущество отбора эталонных и контрольных участков с помощью аэрофотосъемки территории с беспилотных авиационных систем, так как проведение отбора таких участков традиционными полевыми методами достаточно затруднительно в силу необходимости определения площадей занятости древесной и древесно-кустарниковой растительностью, а также средних высот растительности. Возможность неоднократно возвращаться к собранным материалам в камеральных условиях позволяет уточнять результаты.

На основе результатов применения алгоритма автоматизированной классификации мультиспектральных космических снимков и геоинфор-

мационной обработки данных была успешно выполнена типологическая классификация элементов среды обитания охотничьих ресурсов для территории КОТР международного значения НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» в соответствии с действующими нормативными требованиями.

Предложенная методика комплексного применения данных дистанционного зондирования Земли может значительно повысить производительность типологической классификации элементов среды обитания охотничьих ресурсов при проведении охотустроительных работ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Винобер А.В. Охотоведение и охотничье хозяйство: в поисках идентичности, синхронизации и пролиферации идей (к 70-летию факультета охотоведения (1950–2020 гг.) // Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства. 2019. № 6(18). С. 5–17.

Водно-болотные угодья России. URL: <https://www.fesk.ru/tom/3.html> (дата обращения: 20.02.2024).

Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: <https://gis-lab.info/> (дата обращения: 21.02.2024).

Дергунов Д.М., Воробьёв О.Н., Курбанов Э.А., Лежнин С.А., Губаев А.В. Оценка алгоритма «Случайный лес» машинного обучения для классификации фитомассы лесов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 1(61). С. 30–44.

Жекулин В.С. Озеро Ильмень. Л.: Лениздат, 1979. 54 с.

Каменнова И.Е. Руководство по Рамсарской конвенции: Справочник по осуществлению Конвенции о водно-болотных угодьях (Рамсар, Иран, 1971 г.). 4-е изд. Гланд: Секретариат Рамсарской конвенции, 2006. 133 с.

ЛВБПЦ Новгородской области. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-novgorod> (дата обращения: 20.02.2024).

Мальшева Н.В. Автоматизированное дешифрирование аэрокосмических изображений лесных насаждений: учеб. пособие. М.: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2012. 151 с.

Миценко А.Л. Озеро Ильмень и дельты рек Мста, Ловать и Шелонь // Водно-болотные угодья России. Т.3. Водно-болотные угодья, внесенные в Перспективный список Рамсарской конвенции. М., 2000. С. 86–88.

Нехайчик В.П. Развитие и преобразование географической среды: по материалам Новгородской области: сб. науч. тр. Л.: ЛГПИ им. А.И. Герцена, 1975. 160 с.

Сидорова В.С. Сравнение карт по каппе Коэна // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 4, № 2. С. 18–22.

Рациональное природопользование: теория, практика, образование / под общ. ред. проф. М.В. Слипечука. М.: Географический факультет МГУ, 2012. 264 с.

Сухомиров Г. И. О проблемах охотничьего хозяйства России // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Современные проблемы охотоведения: матер. VI Междунар. науч.-практич. конф. и Первого межрегионального симпозиума работников охотничьего хозяйства России. Иркутск, 2017. С. 153–159.

Черкаев А.В., Сафонов В.Г., Андреев М.Н., Граков Н.Н., Домский И.А., Краев Н.В., Матвейчук С.П., Машкин В.И., Миньков С.И. Концепция развития и научного обеспечения охотничьего хозяйства России // Труды ВНИИОЗ. 2000. № 1(51). С. 7–16. DOI: 10.5281/zenodo.11080398.

Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И., Перминова Е.С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения: учеб. пособие. Пермь, 2020. 191 с.

Breiman L. Random Forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45. P. 5–32.

Github confusion matrix. URL: https://github.com/confusion_matrix.py (дата обращения: 21.02.2024).

Github dzetsaka. URL: <https://github.com/dzetsaka.py> (дата обращения: 21.02.2024).

Pan Xin, Zhang Ce, Xu Jun, Zhao Jian. Simplified object-based deep neural network for very high resolution remote sensing image classification // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2021. Vol. 181. P. 218–237. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.09.014.

Scikit-learn Machine Learning in Python. URL: <https://scikit-learn.org/stable/> (дата обращения: 21.02.2024).

Whiteside T.G., Boggs G.S., Maier S.W. Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2011. Vol. 13, iss. 6. P. 884–893.

Yang He, Ma Ben, Du Qian. Decision fusion for supervised and unsupervised hyperspectral image classification // International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 2009. P. IV-948–IV-951. DOI: 10.1109/IGARSS.2009.5417535.

References

Breiman L. Random Forests. *Machine Learning*, 2001, vol. 45, pp. 5–32.

Cherekaev A.V., Safonov V.G., Andreev M.N., Grakov N.N., Domskiy I.A., Kraev N.V., Matveychuk S.P., Mashkin V.I., Minkov S.I. Kontseptsiya razvitiya i nauchnogo obespecheniya ohotnich'ego hozyajstva Rossii. *Trudy VNIIOZ*, 2000, no. 1(51), pp. 7–16. DOI: 10.5281/zenodo.11080398. (In Russ.)

Dergunov D.M., Vorob'yov O.N., Kurbanov E.A., Lezhnin S.A., Gubaev A.V. Otsenka algoritma «Sluchajnyj les» mashinnogo obucheniya dlya klassifikatsii fitomassy lesov. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2024, no. 1 (61), pp. 30–44. (In Russ.)

Geograficheskie informacionnye sistemy i distancionnoe zondirovanie. URL: <https://gis-lab.info/> (accessed February 21, 2024). (In Russ.)

Github confusion matrix. URL: https://github.com/confusion_matrix.py (accessed February 21, 2024).

Github dzetsaka:. URL: <https://github.com/dzetsaka.py> (accessed February 21, 2024).

Kamennova I.E. Rukovodstvo po Ramsarskoj konventsii: Spravochnik po osushchestvleniyu Konventsii o vodno-bolotnyh ugod'yah (Ramsar, Iran, 1971 g.). 4th ed. Gland: Sekretariat Ramsarskoj konventsii, 2006. 133 p. (In Russ.)

LVPC Novgorodskoj oblasti:. URL: <https://hcvf.ru/ru/maps/hcvf-novgorod> (accessed February 20, 2024). (In Russ.)

Malysheva N.V. Avtomatizirovannoe deshifirovanie aerokosmicheskikh izobrazhenij lesnyh nasazhdenij: uchebnoe posobie. Moscow: Izd-vo Moskovskogo gos. un-ta lesa, 2012. 151 p. (In Russ.)

Mishchenko A.L. Ozero Il'men' i del'ty rek Msta, Lovat' i Shelon'. *Vodno-bolotnye ugod'ya Rossii. T.3. Vodno-bolotnye ugod'ya, vnesennye v Perspektivnyj spisok Ramsarskoj konventsii / pod obshch. red. V.G. Krivenko*. Moscow, 2000, pp. 86–88. (In Russ.)

Nekhajchik V.P. Razvitie i preobrazovanie geograficheskoy sredy: po materialam Novgorodskoj oblasti: sbornik nauchnyh trudov. Leningrad: LGPI im. A.I. Gertsena, 1975. 160 p. (In Russ.)

Pan Xin, Zhang Ce, Xu Jun, Zhao Jian. Simplified object-based deep neural network for very high resolution remote sensing image classification, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2021, vol. 181, pp. 218–237. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.09.014.

Ratsional'noe prirodopol'zovanie: teoriya, praktika, obrazovanie / pod obshch. red. prof. M.V. Slipenchuka. Moscow: Geograficheskij fakul'tet MGU, 2012. 264 p. (In Russ.)

Scikit-learn Machine Learning in Python: [Electronic resource]. URL: <https://scikit-learn.org/stable/> (accessed February 21, 2024)

Shihov A.N., Gerasimov A.P., Ponomarchuk A.I., Perminova E.S. Tematicheskoe deshifirovanie i interpretatsiya kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razresheniya: ucheb. posobie. Perm', 2020. 191 p. (In Russ.)

Sidorova V.S. Sravnenie kart po kappe Koena. *Interekspo Geo-Sibir'*, 2017, T. 4, no. 2, pp. 18–22. (In Russ.)

Suhomirov G.I. O problemah ohotnich'ego hozyajstva Rossii. *Klimat, ekologiya, sel'skoe hozyajstvo Evrazii. Sovremennye problemy ohotovedeniya: materialy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii i Pervogo mezhregional'nogo simpoziuma rabotnikov ohotnich'ego hozyajstva Rossii.* Irkutsk, 2017, pp. 153–159. (In Russ.)

Vinober A.V. Ohotovedenie i ohotnich'e hozyajstvo: v poiskah identichnosti, sinhronizatsii i proliferatsii idej (k 70-letiyu fakul'teta ohotovedeniya (1950–2020). *Gumanitarnye aspekty okhoty i okhotnich'ego khozyajstva*, 2019, no. 6(18), pp. 5–17. (In Russ.)

Vodno-bolotnye ugod'ya Rossii. URL: <https://www.fesk.ru/tom/3.html> (accessed February 20, 2024). (In Russ.)

Whiteside T.G., Boggs G.S., Maier S.W. Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2011, vol. 13, iss. 6, pp. 884–893.

Yang He, Ma Ben, Du Qian. Decision fusion for supervised and unsupervised hyperspectral image classification. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2009, pp. IV-948–IV-951. DOI: 10.1109/IGARSS.2009.5417535.

Zhekulin V.S. Ozero Il'men'. Leningrad: Lenizdat, 1979. 54 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 19.05.2024

Лукашик Е.Е., Лукашик Е.А., Алексеев А.С. Типологическая оценка охотничьих угодий ключевой орнитологической территории «Озеро Ильмень и окрестности» с применением данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. Вып. 253. С. 115–134. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.115-134

Данные дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологии в настоящее время позволяют получать большой объем достоверной информации о состоянии природных и антропогенных ландшафтов. Охотничьи ресурсы и элементы среды их обитания базируются на таких ландшафтах и тесно связаны друг с другом; видовой состав и численность охотничьих ресурсов во многом зависят от распределения элементов среды их обитания на территории охотничьих угодий. Ряд нормативных документов Российской Федерации, регламентирующих ведение охотничьего хозяйства и охотустроительных работ, отражает тот факт, что наиболее эффективным является инвентаризация современного состояния среды обитания охотничьих животных на единой методологической основе, в том числе при осуществлении мониторинга с использованием и анализом данных дистанционного зондирования поверхности Земли и аэрофотосъемки охотничьих ландшафтов. Целью данного исследования являлось формирование подхода к типологической классификации элементов среды обитания охотничьих ресурсов на основе приме-

нения данных дистанционного зондирования Земли (аэрофотосъемки с беспилотных воздушных судов и космической съемки с ИСЗ Sentinel-2A), материалов лесоустройства, алгоритмов автоматизированной классификации изображений и геоинформационного анализа получаемых данных. В качестве объекта исследования выступила ключевая орнитологическая территория международного значения (КОТР) НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» общей площадью 190950 га, расположенная в Новгородской области. Программными средствами обработки и анализа данных являлись ГИС QGIS, плагин автоматизированной классификации изображений dzetsaka: classification tool с Python-библиотекой scikit-learn; применяемый алгоритм классификации – Random Forest или алгоритм «случайного леса». В результате проведенных работ была сформирована карта-схема элементов среды обитания охотничьих ресурсов КОТР НВ-005 «Озеро Ильмень и окрестности» и атрибутивная таблица с распределением площадей элементов среды обитания охотничьих ресурсов в соответствии с действующими нормативными требованиями регионального охотустройства. Точность автоматизированной классификации и достоверность полученных результатов были оценены по сформированной матрице ошибок и расчету коэффициента каппа Коэна. Предложенный подход может эффективно применяться не только в практике охотостроительных работ, но и в процессе мониторинга состояния природных и антропогенных ландшафтов, включающих в себя различные категории земель.

Ключевые слова: геоинформационные системы, дистанционное зондирование Земли, геоинформационное картографирование, автоматизированная классификация, охотничье хозяйство, охотничьи ресурсы.

Lukashik E.E., Lukashik E.A., Alekseev A.S. Typology assessment of hunting grounds of key ornithological territory «Lake Il'men and adjoining marshy plain» using remote sensing data and GIS-technologies. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2025, iss. 253, pp. 115–134 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2025.253.115-134

Earth remote sensing data and GIS technology now provide a large amount of reliable information on the state of natural and man-made landscapes. Hunting resources and habitat are based on such landscapes and closely interrelated; the species composition and number of hunting resources depend to a large extent on the distribution of their habitat elements within the hunting grounds. A number of normative documents of the Russian Federation regulating the management of hunting and hunting activities reflect the fact that the most effective is inventoring the current state of the habitat of hunting animals on a single methodological basis, including monitoring using and analysing data from remote sensing of the Earth's surface and aerial photography of hunting landscapes. The aim of this study was to develop an approach to typology classification of habitat elements of hunting resources based on the application of remote sensing data from the Earth (aerial photography with unmanned aircraft and space im-

agery with Sentinel-2A), forest management materials, semi-automatic image classification algorithms and geo-information analysis of the resulting data. The study was conducted on a key ornithological area of international importance (KOA) NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain» with a total area of 190,950 ha, located in the Novgorod region. The software tools for data processing and analysis were QGIS, a plugin of automated classification of images dzetsaka: classification tool with Python-library scikit-learn; “random forest” classification algorithm has been applied. As a result of this work, the schematic map of the habitat elements of hunting resources KOA NV-005 «Lake Il'men and adjoining marshy plain» and an attribute table with the distribution of the area of habitat elements of hunting resources according to the current regulatory requirements of regional hunting were formed. The accuracy of the automated classification and the reliability of the results obtained were assessed by using a built-in error matrix and Cohen's Kappa coefficient calculation. The proposed approach can be effectively applied not only in hunting practices, but also in the monitoring of natural and human landscapes that include different land categories.

Key words: geographic information systems, remote sensing of the Earth, geo-information mapping, semi-automatic classification, hunting farm, hunting resources.

ЛУКАШИК Евгений Евгеньевич – заведующий лабораторией беспилотных систем и цифровой инженерии Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, аспирант кафедры лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова. SPIN-код: 4424-8576. ORCID: 0000-0002-3414-9407.

173003, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41, г. Великий Новгород, Россия. E-mail: lukashik-proekt@yandex.ru

LUKASHIK Evgeny E. – Head of the Laboratory for unmanned systems and digital engineering of Novgorod State University named after Yaroslav-the-Wise, PhD student of the Department of Forest Inventory, Management and GIS, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 4424-8576. ORCID: 0000-0002-3414-9407.

173003. Bol'shaya Sankt-Peterburgskaya str. 41. Veliky Novgorod. Russia. E-mail: lukashik-proekt@yandex.ru

ЛУКАШИК Екатерина Александровна – ведущий техник-технолог лаборатории беспилотных систем и цифровой инженерии Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого. SPIN-код: 2236-5628. ORCID: 0009-0007-3919-5377.

173003, ул. Большая Санкт-Петербургская, д. 41, г. Великий Новгород, Россия. E-mail: ekaterinalikoris@yandex.ru

LUKASHIK Ekaterina A. – Head technician-technologist of the laboratory of unmanned systems and digital engineering, Novgorod State University University named after Yaroslav-the-Wise. SPIN-code: 2236-5628. ORCID: 0009-0007-3919-5377.

173003. Bol'shaya Sankt-Peterburgskaya str. 41. Veliky Novgorod. Russia. E-mail: ekaterinalikoris@yandex.ru

АЛЕКСЕЕВ Александр Сергеевич – профессор, заведующий кафедрой лесной таксации, лесоустройства и геоинформационных систем Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор географических наук. SPIN-код: 8115-9103. ResearcherID: F-6891–2010. ORCID: 0000-0001-8795-2888. SCOPUS AuthorID: 150999.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a_s_alekseev@mail.ru

ALEKSEEV Aleksandr S. – DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Forest Inventory, Management and GIS, St.Petersburg State Forest Technical University. SPIN-code: 8115-9103. ResearcherID: F-6891–2010. ORCID: 0000-0001-8795-2888. SCOPUS AuthorID: 150999.

194021. Institutskiy per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: a_s_alekseev@mail.ru