

## Выявление ключевого биотопа бореальных пойменных лугов в национальном парке «Смоленское Поозерье» на основе спутниковых и топографических данных

© 2023. Н. В. Королева<sup>1</sup>, к. т. н., н. с.,  
Д. В. Ершов<sup>1</sup>, к. т. н., зав. лабораторией, в. н. с.,  
Е. В. Тихонова<sup>1</sup>, к. б. н., в. н. с., Т. Ю. Браславская<sup>1</sup>, к. б. н., в. н. с.,  
А. О. Харитоновна<sup>1</sup>, м. н. с., Е. А. Гаврилюк<sup>1</sup>, с. н. с.,  
Д. Г. Груммо<sup>2</sup>, к. б. н., директор, А. В. Судник<sup>2</sup>, к. б. н., зав. лабораторией,

<sup>1</sup>Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов  
Российской академии наук,  
117997, Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32,

<sup>2</sup>Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси,  
220072, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Академическая, д. 27,  
e-mail: natasha@ifi.rssi.ru

Показана возможность выявления ключевого биотопа бореальных пойменных лугов в национальном парке «Смоленское Поозерье» на основе спектральных и топографических характеристик территории. Ключевой биотоп Е3.47 по EUNIS представляет собой луга вдоль крупных рек с участками со спокойным течением, которые замерзают каждую зиму, заливаются весной. В данную категорию включают участки, открытые или слабо заросшие древесно-кустарниковой растительностью. Для определения участков пойменных лугов использованы мультиспектральные спутниковые изображения Sentinel-2 (ESA Sentinel-2, 2019). Геопространственная оценка бореальных пойменных лугов выполнена с применением метода неуправляемой классификации «K-средних» десяти спектральных каналов спутниковых изображений Sentinel-2, полученных за шесть сезонов, включая период половодья. В результате кластерного анализа выбраны классы, спектрально близкие к луговым сообществам, располагающиеся вдоль пойменных участков рек и не превышающие диапазон перепада высот от уреза воды в 5 м, который соответствует максимально возможному подъёму воды в реках во время паводка для исследуемой территории. Для коррекции выбранных классов был использован топографический индекс, рассчитанный с использованием цифровой модели рельефа (ЦМР) и гидрографической сети местности. Определение точности распознавания класса пойменных лугов производили по матрице ошибок в 133 отрезках вдоль 4 трансект, заложенных в пойменных и суходольных луговых сообществах. Сходимость результатов классификации пойменных лугов с данными наземных обследований составила 75% (каппа Коэна равна 0,53).

**Ключевые слова:** национальный парк «Смоленское Поозерье», EUNIS, бореальные пойменные луга, Sentinel-2, метод «K-средних», дистанционное зондирование Земли.

## Detection of the key biotope of boreal floodplain meadows in the Smolenskoe Poozerye National Park based on satellite and topographic data

© 2023. N. V. Koroleva<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1620-8231, D. V. Ershov<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-8948-6470,  
E. V. Tikhonova<sup>1</sup> ORCID: 0000-0003-4641-3735, T. Yu. Braslavskaya<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7081-0533,  
A. O. Kharitonova<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-0312-942X, E. A. Gavrilyuk<sup>1</sup> ORCID: 0000-0001-7345-2823,  
D. G. Grummo<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-2701-7545, A. V. Sudnik<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-9682-6901

<sup>1</sup>Center for Forest Ecology and Productivity of the Russian Academy of Sciences,  
84/32, Profsovnaya St., Moscow, Russia, 117997,

<sup>2</sup>V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of NAS of Belarus,  
27, Academicheskaya St., Minsk, Belarus, 220072,  
e-mail: natasha@ifi.rssi.ru

according to EUNIS is a meadow along large rivers with areas of calm flow; it freeze every winter and affected by flooding in spring. This category includes areas that are open or poorly overgrown with woody and shrubby vegetation. Sentinel-2 multispectral satellite images (ESA Sentinel-2, 2019) are used to determine areas of floodplain meadows. The geospatial assessment of boreal floodplain meadows is carried out using the method of uncontrolled classification of “K-means” of ten spectral channels of Sentinel-2 satellite images obtained over six seasons, including the flood period. As a result of cluster analysis, classes that are spectrally close to meadow communities are selected. These classes located along floodplains of rivers, with the elevation difference from the water line not exceeding 5 m. This elevation corresponds to the maximum possible rise of water in rivers during a flood for the studied area. A topographic index using a digital elevation model (DEM) and a hydrographic terrain network are used to correct the selected classes. The accuracy of recognition of the floodplain meadows class is determined using a matrix of error in 133 segments along the 4 transects located in floodplain and dry meadow communities. The convergence of result between the floodplain meadows classification and ground surveys data was 75% (Cohen’s kappa equals 0.53).

**Keywords:** Smolenskoe Poozerye National Park, EUNIS, boreal floodplain meadows, Sentinel-2, “K-means” method, Earth remote sensing.

Понятие «местообитание» (англ. *habitat*), или же «биотоп» (англ. *biotope*) определяется как природный или изменённый хозяйственной деятельностью участок территории или акватории, используемый популяциями видов в пределах их природных ареалов и имеющий особые диагностические признаки (географические, абиотические или биотические) по сравнению с другими участками [1]. Научные разработки по классификации биотопов в настоящее время реализованы в системе EUNIS [2, 3].

Понятие «ключевой биотоп» (ключевое местообитание) было введено в рекомендации № 16 Постоянного комитета Конвенции о сохранении европейской дикой природы и естественной среды обитания (Бернская конвенция). К ключевым биотопам были отнесены участки, которые соответствуют одному из критериев (определённых рекомендацией № 16): а) вносят существенный вклад в выживание находящихся под угрозой видов, эндемичных видов или любых видов, перечисленных в приложениях 1 и 2 к Бернской конвенции; б) поддерживают значительное число видов в зоне с высоким видовым разнообразием или важные популяции одного или нескольких видов; в) содержат важные или репрезентативные участки находящегося под угрозой типа биотопов; г) содержат выдающиеся образцы каких-либо особых типов биотопов или группы различных типов биотопов; д) представляют собой территории, важные для одного или большего числа мигрирующих видов; е) иным образом вносят существенный вклад в достижение целей Бернской конвенции [1].

Современный список подлежащих сохранению ключевых биотопов общеевропейского значения определён приложением к резолюции № 4 [4, 5] Постоянного комитета Бернской конвенции. Для исследования был составлен список всех представленных на территории национального парка «Смоленское

Позерье» типов биотопов, классифицированных по EUNIS [6], затем проведена проверка, какие из них рассматриваются в качестве ключевых, их оказалось: 12 лесных, 4 болотных и 1 категория лугов. Ключевой биотоп лугов, представленный в национальном парке – ЕЗ.47 (бореальные пойменные луга). Это луга вдоль крупных рек с участками со спокойным течением, которые замерзают каждую зиму, заливаются весной. Ранее луга использовали как сенокосные угодья, в настоящее время сенокосение практически прекращено. В данную категорию включают участки, открытые или слабо заросшие древесно-кустарниковой растительностью. Биотоп представлен несколькими типами растительности, различающимися в зависимости от водного режима (условий заливания поймы) [7].

Вопросу изучения и картографирования луговых биотопов с помощью аэрокосмических данных различного пространственного разрешения в комбинации с топографической и почвенной информацией модельных территорий посвящено большое число работ [8–12]. В работе [8] использованы разносезонные (апрель, май, июнь и август 2011 г.) спутниковые изображения RapidEye (5 м), данные беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), цифровая модель рельефа (ЦМР) и карты почв для распознавания таких типов биотопов по NATURA2000 как суходольные, заливные (влажные), мезофильные луга, пастбища, пахотные земли и посеы кукурузы модельного участка (Шлезвиг-Гольштейн, Германия). Классификацию проводили методом опорных векторов (Support Vector Machines – SVM) с использованием разных комбинаций спектральных и топографических продуктов модельной территории. В результате точность распознавания естественных луговых сообществ (суходольных, влажных и мезофильных лугов) составила 95,5; 38,1 и 41,7%

соответственно. Увеличение числа признаков за счёт почвенных и топографических данных незначительно улучшило разделимость влажных и мезофильных лугов. Алгоритм SVM хорошо идентифицировал эталонные участки влажных лугов (точность 80,5%), но в значительной степени переоценил его распределение по территории (27,9%). В работе [10] использована гиперспектральная съёмка для пространственной оценки суходольных и пойменных влажных луговых сообществ. Авторы отмечают хорошие перспективные возможности спектральных данных (особенно в ближнем и среднем инфракрасном диапазоне спектра), которые могут потенциально использоваться для мониторинга распространения пойменных луговых сообществ. В исследовании [12] использованы данные разновременной съёмки БПЛА с июня по сентябрь для выделения пойменных лугов реки Ваал в Нидерландах. Классификация 108 признаков методом Random Forest показала очень высокую точность (99,3%) выделения пойменных лугов. При этом авторы отмечают, что наиболее информативными временными периодами съёмки для их модельной терри-

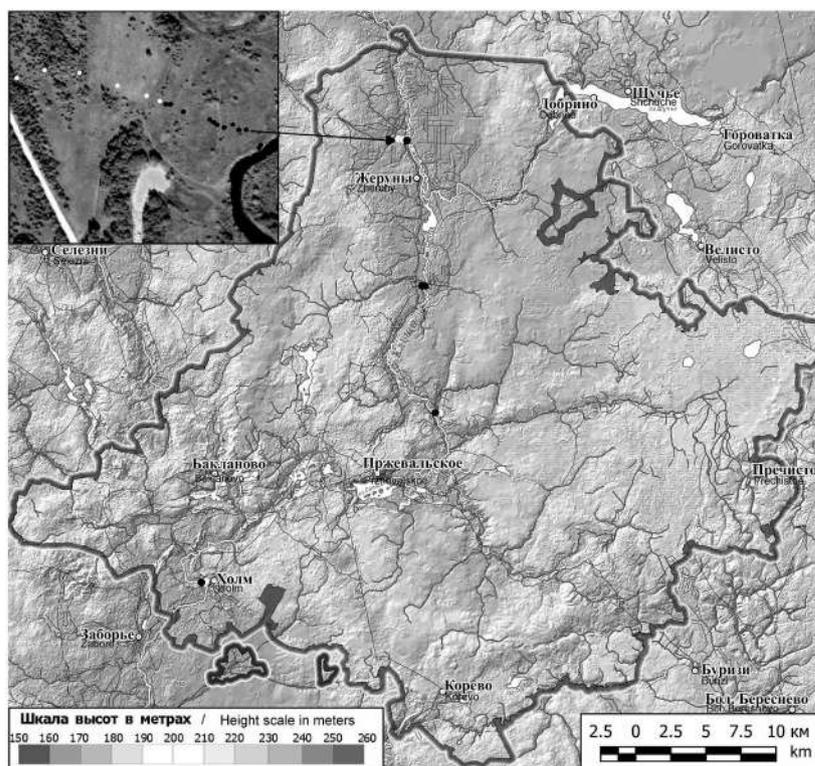
тории является июнь, когда большая часть пойменной растительности достигает максимальной зелени, и сентябрь, когда большая часть пойменной растительности достигает максимальных значений её высоты.

Целью нашего исследования является разработка метода выявления пространственного распространения ключевого биотопа E3.47 по EUNIS – бореальные пойменные луга на примере Национального парка «Смоленское Поозерье» с помощью геопространственного анализа спутниковых данных и топографических характеристик территории.

### Объекты и методы исследования

Национальный парк «Смоленское Поозерье» создан 15 апреля 1992 г. на территории Духовщинского и Демидовского районов в северо-западной части Смоленской области [13]. Его общая площадь составляет 146237 га, максимальное расстояние с запада на восток – 55 км, с юга на север – 50 км.

Площадь земель особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и объектов – 114444 га, или 78% от общей площади нацио-



Наземные геоботанические площадки / Ground-based geobotanical plots

- E3.47 Заливные луга / Floodplain meadows
- Суходольные луга / Dry meadows

Рис. 1. Расположение площадок (трансект) наземных геоботанических описаний ключевого лугового биотопа  
 Fig. 1. Location of vegetation plots (transect) of a key meadow biotope

нального парка [14], из них к лесным землям (включая покрытые лесом) относятся 108327 га (94,6%). Среди нелесных земель преобладают болота и водоёмы (4%). Территория парка относится к бассейну р. Западной Двины. Наиболее крупные реки: Ельша, Гобза, Половья. На территории парка находится более 35 озёр, большинство из которых ледникового происхождения. Самые крупные озёра: Сапшо, Дго, Рытое, Баклановское. Луга в национальном парке занимают незначительную площадь (менее 1% территории) [15].

В 2014–2015 гг. сотрудники Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича (Республика Беларусь) в долинах рек Ельша и Половья в пределах национального парка «Смоленское Поозерье» проводили наземные геоботанические обследования луговых сообществ, на основе которых для четырёх трансект была сформирована база данных геоботанических описаний [16], содержащая следующую информацию: списки видов с указанием их обилия, номера описаний, географических координат, параметров экотопа, уровня грунтовых вод, хозяйственного воздействия, высоты и сомкнутости травостоя. Карта местоположения трансект приведена на рисунке 1.

Для выявления ключевого биотопа пойменных лугов использовали два типа геопространственных данных: мультиспектральные спутниковые изображения Sentinel-2 Европейского космического агентства (ESA) и базовые топографические показатели, рассчитанные с использованием ЦМР и гидрографической сети местности. Из архива ESA за период с 2015 по 2018 гг. мы отобрали шесть безоблачных разносезонных изображений (продукты уровня L1C) за следующие даты: 11 апреля, 11 мая, 26 мая, 24 августа и 18 октября 2018 г., а также 23 сентября 2017 г. Исходные значения спектральных яркостей на уровне верхних слоёв атмосферы в каналах отобранных изображений были пересчитаны в соответствующие значения на уровне земной поверхности с использованием алгоритма MAJA [17]. Цифровая модель рельефа местности была построена на основе горизонталей, оцифрованных по крупномасштабной топографической карте. Прочие элементы географической основы, включая гидрографическую сеть, были сформированы из открытых данных проекта OpenStreetMap (OSM) [18].

Для выявления ключевого биотопа E3.47 были выбраны все спектральные каналы видимого диапазона, «красный край» ближнего

и среднего инфракрасного диапазонов и подготовлен многоканальный стек из безоблачных разносезонных спутниковых изображений Sentinel-2.

Важно отметить, что в стеке присутствует изображение, полученное спутником 11 апреля 2018 г., это максимально близкое изображение к дате весеннего половодья 2018 г. Как следует из «Летописей природы», в 2018 г. весенний подъём воды в реках начался в начале апреля, что на две недели позже, чем в 2017 г. На р. Ельше наблюдался один пик подъёма воды, который пришёлся на 13 апреля (4,6 м от «0» поста), что на 12 дней позже 2017 г. Превышение максимального уровня воды на р. Ельше от прошлогоднего максимума составило 10 см. На р. Половье максимум подъёма пришёлся на 12 апреля и составил всего 1,25 м, что на 65 см меньше значений 2017 г. Во второй половине апреля, как и в прошлые годы, происходило достаточно резкое падение уровня воды в реках. С конца мая на реках установился меженный уровень. Поэтому имеет большое значение наличие снимков определённых дат, ближайших к времени половодья.

Геопространственная оценка ключевого биотопа бореальных пойменных лугов выполнена с применением метода «K-средних» [19, 20] на основе десяти спектральных каналов спутниковых изображений Sentinel-2, полученных за 6 сезонов, включая период половодья (табл. 1).

В результате кластерного анализа выбраны классы, спектрально близкие к луговым сообществам, располагающиеся вдоль пойменных участков рек, и не превышающие диапазон перепада высот от уреза воды в 5 м, который соответствует максимально возможному подъёму воды в реках во время паводка для исследуемой территории.

Для коррекции выбранных классов был использован индекс DTW (Depth-to-Water index – индекс глубины залегания грунтовых вод) и процедура в программе ArcGIS ArcView (CostDistance) для оценки высоты поймы над урезом воды. Выбор индекса основан на опыте предыдущих исследований авторов по изучению возможности выделения типов условий местопрорастания с использованием геопространственных данных [21]. Проанализировав площади классов, отнесённых к луговым сообществам, относительно порядка рек, мы определили размеры буферных зон. Предварительно был выбран только класс рек из открытого источника векторных данных OSM без учёта дренажных каналов и ручьёв. Так

Таблица 1 / Table 1

Перечень спектральных каналов, использованных в исследовании  
List of spectral bands used in the analysis

Переменная Variable	Спектральный диапазон Spectral band	Пространственное разрешение, м** Spatial resolution, m**
Спектральные каналы Sentinel-2* / Spectral channels of Sentinel-2*		
BLUE	синий / blue (0,439–0,535 мкм / mkm)	(b2) 10
GREEN	зелёный / green (0,537–0,582 мкм / mkm)	(b3) 10
RED	красный / red (0,646–0,685 мкм / mkm)	(b4) 10
RE1	красный край / red edge (0,694–0,714 мкм / mkm)	(b5) 20
RE2	красный край / red edge (0,731–0,749 мкм / mkm)	(b6) 20
RE3	красный край / red edge (0,768–0,796 мкм / mkm)	(b7) 20
NIR1	ближний инфракрасный / near infrared (0,767–0,908 мкм / mkm)	(b8) 10
NIR2	ближний инфракрасный / near infrared (0,848–0,881 мкм / mkm)	(b8a) 20
SWIR1	средний инфракрасный / shortwave infrared (1,539–1,681 мкм / mkm)	(b11) 20
SWIR2	средний инфракрасный / shortwave infrared (2,072–2,312 мкм / mkm)	(b12) 20

Примечание: \* – однотипный набор спектральных каналов использовали для каждого из шести разносезонных изображений, принимавших участие в анализе; \*\* – обозначение каналов взято с официального сайта Европейского космического агентства.

Note: \* – a similar set of spectral channels was used for each of the six different-season images involved in the analysis; \*\* – channel designation is taken from the European Space Agency website.

как перепады высот и ширина пойм для рек разного порядка могут быть разные, то была применена переменная буферная зона, чтобы ограничить распространение накопленного значения перепада высот. Все реки по величине были разбиты на три порядка и для каждого порядка построена своя буферная зона. Для крупных рек – 900 м, для второго притока – 600 м и для третьего притока – 300 м. Таким образом, пост-обработка позволила убрать участки заливания, не связанные с речными системами.

### Результаты и обсуждение

Для оценки информативности спектральных каналов использовали данные наземных геоботанических обследований на четырёх трансектах с характеристикой типа лугового сообщества (заливные/суходольные). Применение процедуры рекурсивного исключения признаков при разделении двух указанных классов позволило провести анализ важности использованных при классификации для выявления пойменных лугов шестидесяти разносезонных спектральных переменных (табл. 1). Так, мы наблюдаем высокую значимость среднего инфракрасного и третьего красного крайнего канала апрельского снимка спутникового изображения Sentinel-2. Напротив, низкая информативность отмечена у значений зелёных (май, сентябрь, октябрь), видимых красных, вторых крайних красных каналов

осенних сцен (сентябрь, октябрь). Среди всех каналов наивысшие относительные показатели имеют третий и второй красные крайние, наименьший – красный видимого спектра. Самым значимым для выявления пойменных лугов сезоном является апрель (11.04.2018), что связано с периодом весеннего половодья, когда выбранный ключевой биотоп маркируется лучше всего (рис. 2). Также значимым для выявления пойменных лугов является снимок, сделанный в вегетационный период (26.05.2018).

В результате применения метода получен продукт, характеризующий пространственное распространение бореальных пойменных лугов вдоль рек (рис. 3, см. цв. вкладку II) с точностью 75%. Вероятность случайной согласованности (каппа Коэна) –  $k = 0,53$  (табл. 2).

Можно наблюдать, что при перепаде высот больше 4 м относительно первой точки, выбранной у уреза воды, по данным геоботанических описаний, пойменные луга сменяются на суходольные. По данным спутниковой съёмки определено, что граница между пойменным и суходольным лугом расположена ниже, что может быть связано с тем, что в 2018 г. (год спутниковой съёмки) разлив в реках был меньше среднемноголетней величины, что не позволило выявить пойменный луг с абсолютной точностью. Определение точности распознавания класса пойменных лугов производили по матрице ошибок в 133 отрезках вдоль 4 трансект, заложенных в пойменных и суходольных луговых сообществах.

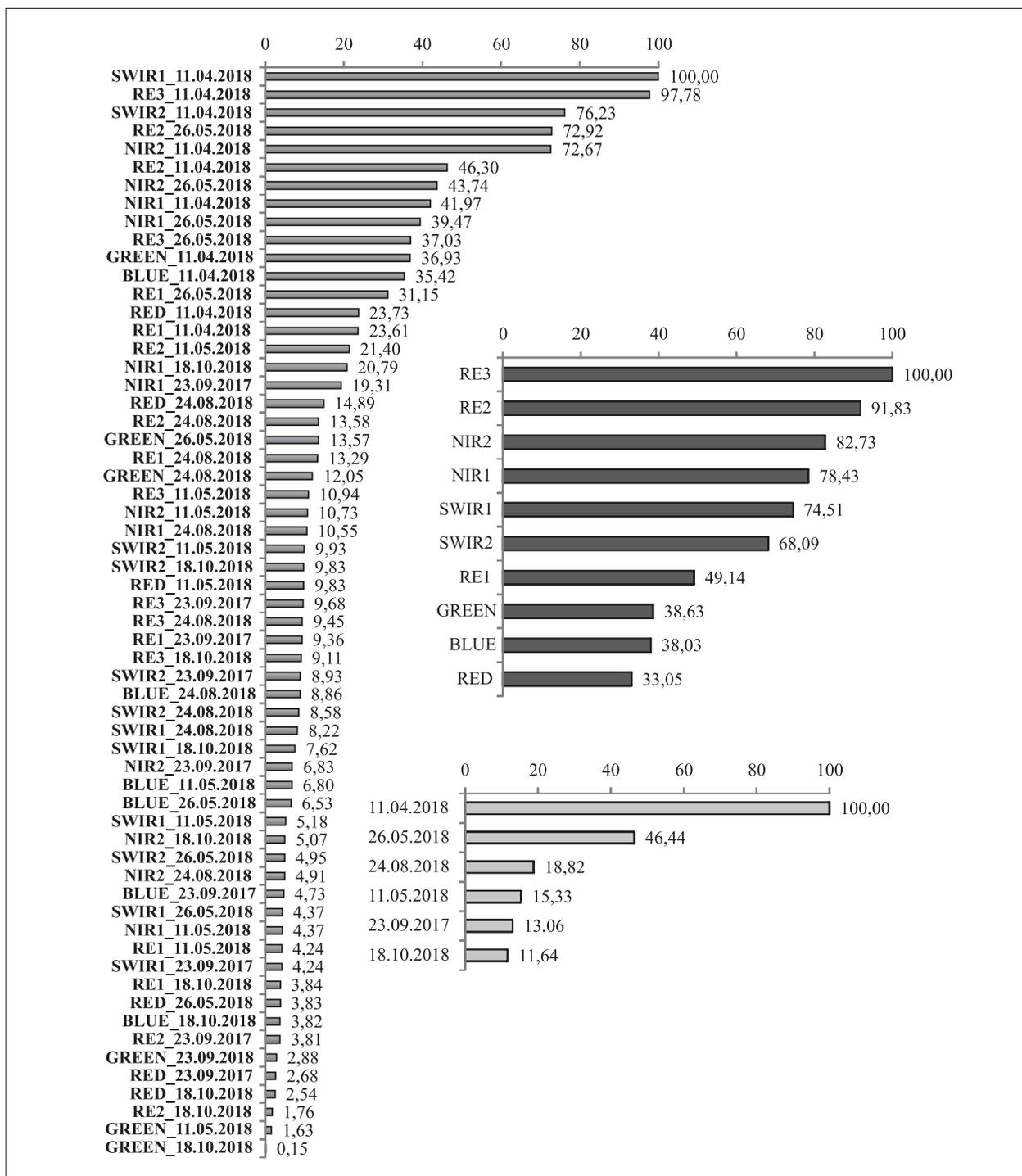


Рис. 2. Относительная информативность переменных при классификации биотопа пойменных лугов по спектральным признакам (слева) и осреднённые показатели информативности по спектральным признакам (справа сверху), по датам съёмки (справа снизу).

Fig. 2. Relative informativeness of variables in the classification of floodplain meadow biotope by spectral features (left) and the averaged indicators of contribution by spectral characteristics (top right), by survey dates (bottom right). Scaling for all graphs was done to the maximum of the values

Матрица ошибок представлена в таблице 2, точность метода составила 75%.

Сравнение результатов пространственной оценки ключевого биотопа по спутниковым данным проводили на основе наземных гео-

ботанических обследований. Пример вертикального профиля трансекты пойменного луга представлен на рисунке 4.

Общая площадь выявленных пойменных лугов в 2018 г. составила 1012,96 га, наиболее

характерно их расположение вдоль рек Ельша, Половья, Василевка, Скрытейка, Сермятка.

**Заключение**

Выявление и геопространственную оценку бореальных пойменных лугов можно проводить на основе разносезонных спектральных изображений в комбинации с данными релье-

фа местности и информации о гидрологических особенностях исследуемой территории. Отметим, что использование одномоментной съёмки может привести к недооценке площадей пойменных лугов из-за ежегодного варьирования уровня поднятия воды во время половодья. Поэтому более предпочтительно и надёжно использовать временной ряд спутниковых изображений за несколько лет, чтобы

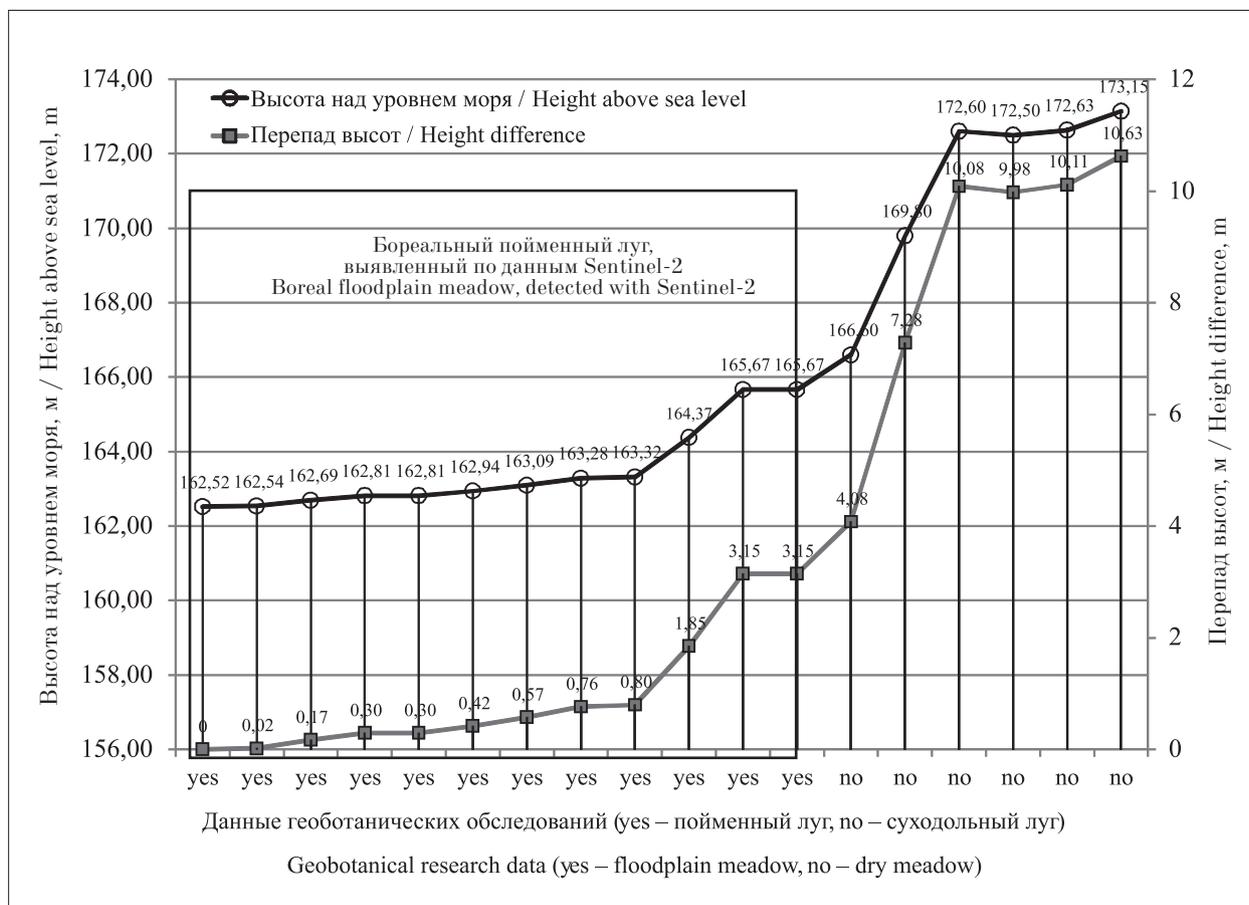
**Таблица 2 / Table 2**

Матрица ошибок сопоставления результатов выделения биотопа бореальных пойменных лугов с наземными данными / The matrix of errors comparing the results of isolation of boreal floodplain meadows biotope with ground data

Биотопы / Biotopes	Е3.47	Прочие Other	Сумма Total	Отклик Response	F <sub>1</sub> *
Е3.47 – бореальные пойменные луга / boreal floodplain meadows	56	33	89	62,9	77,2
Прочие (суходольные) луга Other (dry) meadows	0	44	44	100	72,7
Сумма / Total	56	77	133	–	–
Точность / Accuracy	100	57,1	–	75,2	–

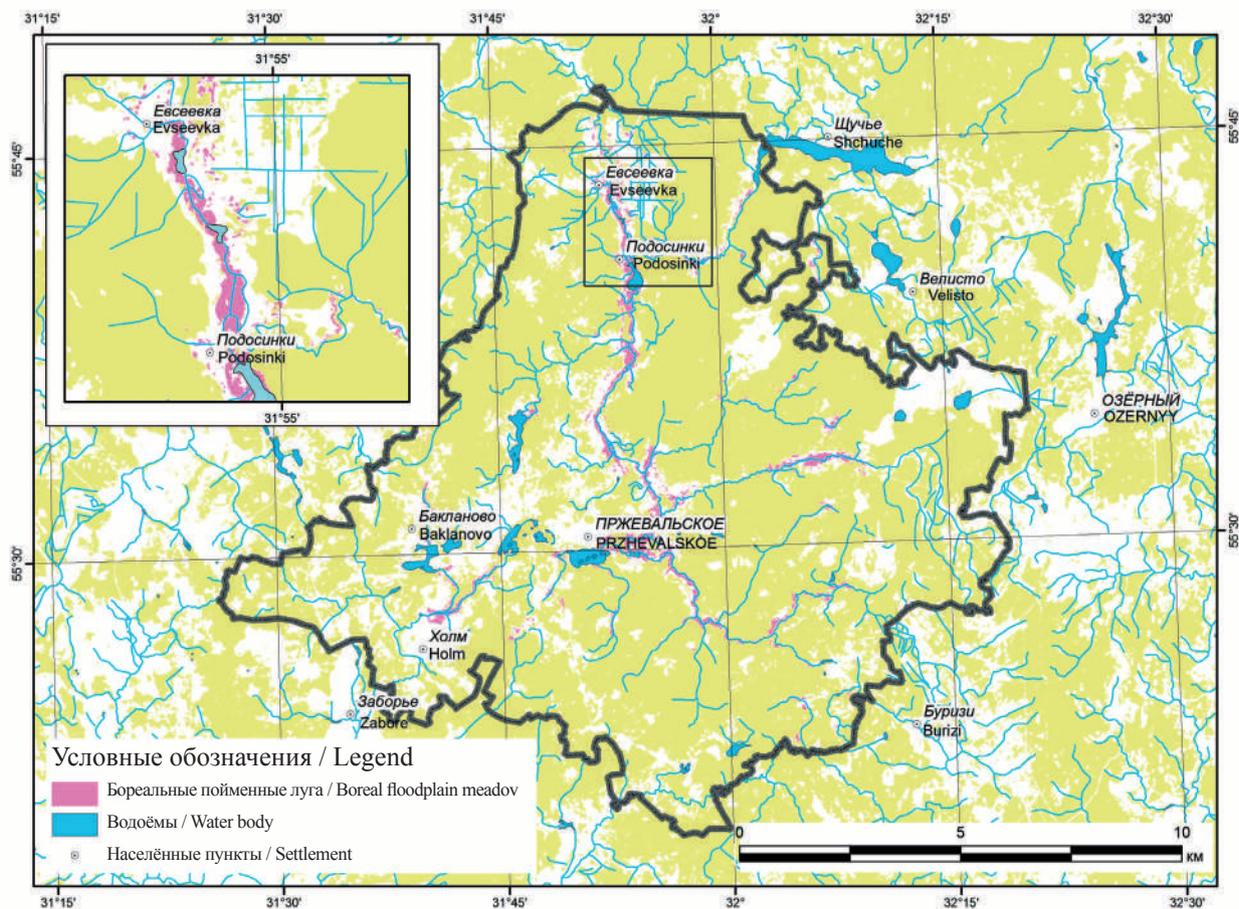
Примечание: для ячеек с прочерком расчёт показателей не производится, \* – среднее гармоническое между величинами отклика и точности по матрице ошибок.

Note: the calculation of indicators for cells with a dash is not performed, \* – harmonic mean between the response and accuracy values according to the error matrix.



**Рис. 4.** Вертикальный профиль трансекты, включающей пойменный и суходольный луга  
**Fig. 4.** Vertical profile of the transect, including a boreal floodplain meadow and a dry meadow

**Н. В. Королева, Д. В. Ершов, Е. В. Тихонова, Т. Ю. Браславская,  
А. О. Харитонов, Е. А. Гаврилюк, Д. Г. Груммо, А. В. Судник  
«Выявление ключевого биотопа бореальных пойменных лугов  
в национальном парке «Смоленское Поозерье»  
на основе спутниковых и топографических данных». С. 28.**



**Рис. 3.** Карта пространственного распространения ключевого биотопа E3.47 (бореальный пойменный луг) национального парка «Смоленское Поозерье»  
**Fig. 3.** The map of the spatial distribution of the key biotope E3.47 (boreal floodplain meadow) of Smolenskoye Poozerye National Park

восстановить зону максимального заливания в период половодья.

*Исследования выполнены в рамках темы Государственного задания «Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем», регистрационный номер НИОКТР 121121600118-8.*

## Литература

1. Изумрудная сеть территорий особого природоохранного значения. Руководство для органов государственной власти субъектов Российской Федерации, дирекций особо охраняемых природных территорий и органов местного самоуправления / Под ред. Н.А. Соболева, Н.М. Алексеевой, Е.С. Пушай. М., СПб: Издательство Института географии Российской академии наук, 2015. 48 с.
2. Davies C.E., Moss D. EUNIS habitat classification. Final report to the European topic centre on nature conservation from the Institute of terrestrial ecology. Brussels, 1999. 214 p.
3. Schaminée J.H.J., Chytrý M., Hennekens S.M., Mucina L., Rodwell J.S., Tichý L. Development of vegetation syntaxa crosswalks to EUNIS habitat classification and related data sets. Final report to the European Environment Agency EEA/NSV/12/001. Copenhagen, 2012. 134 p.
4. Annex I: natural habitat types of community interest whose conservation requires the designation of special areas of conservation // Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora – consolidated version 01/01/2007 [Электронный ресурс] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1992L0043:20070101:EN:PDF> (Дата обращения: 01.03.2021).
5. Revised Annex I of Resolution 4 (1996) of the Bern Convention on endangered natural habitats types using the EUNIS habitat classification (year of revision 2014). Council of Europe, 2010–2014 [Электронный ресурс] [https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?Ref=T-PVS/PA\(2010\)10&Language=lanEnglish&Ver=rev&Site=DG4-Nature&BackColorInternet=DBDCF2&BackColorIntranet=FDC864&BackColorLogo=FDC864](https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?Ref=T-PVS/PA(2010)10&Language=lanEnglish&Ver=rev&Site=DG4-Nature&BackColorInternet=DBDCF2&BackColorIntranet=FDC864&BackColorLogo=FDC864) (Дата обращения: 01.03.2021).
6. Браславская Т.Ю., Тихонова Е.В. Лесные и кустарниковые местообитания национального парка «Смоленское Поозерье»: к вопросу об использовании классификации EUNIS при инвентаризации биоразнообразия и организации его охраны // Разнообразие растительного мира. 2020. № 1 (4). С. 17–35.
7. EUNIS habitat classification – Northern boreal alluvial meadows [Электронный ресурс] <https://eunis.eea.europa.eu/habitats/2497> (Дата обращения: 01.03.2021).
8. Buck O., Garcia Millan V.E., Klink A., Pakzad K. Using information layers for mapping grassland habitat distribution at local to regional scales // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. V. 37. No. 7. P. 83–89.
9. Corbane C., Lang S., Pipkins K., Alleaume S., Deshayes M., Garcia Millán V.E., Strasser T., Vanden Borre J.,

Toon S., Förster M. Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2015. V. 37. P. 7–16.

10. Punalekar S., Verhoef A., Tatarenko I.V., Tol C., Macdonald D.M.J., Marchant B., Gerard F., White K., Gowing D. Characterization of a highly biodiverse floodplain meadow using hyperspectral remote sensing within a plant functional trait framework // Remote Sensing. 2016. V. 8. No. 2. Article No. 112.

11. Lopes M., Fauvel M., Girard S., Sheeren D. Object-based classification of grasslands from high resolution satellite image time series using Gaussian mean map Kernels // Remote Sensing. 2017. V. 9. No. 7. Article No. 688.

12. Iersel W., Straatsma M., Middelkoop H., Addink E. Multitemporal classification of river floodplain vegetation using time series of UAV images // Remote Sensing. 2018. V. 10. No. 7. Article No. 1144.

13. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 1992 г. № 247 «О создании национального парка «Смоленское Поозерье» Министерства экологии и природных ресурсов Российской Федерации в Смоленской области» [Электронный ресурс] <https://base.garant.ru/70252316/> (Дата обращения: 01.03.2021).

14. Лесохозяйственный регламент национального парка «Смоленское Поозерье». М.: Филиал ФГУП «Рослесинфорг» «Заплеспроект», 2015. 190 с.

15. Научные исследования в национальном парке «Смоленское Поозерье». Выпуск 1 / Под ред. С.М. Волкова. М.: НИА-Природа, 2003. 295 с.

16. Судник А.В., Масловский О.М., Вознячук И.П., Дубовик Д.В., Терещенко С.С., Голушко Р.М., Рудакowski И.А. Отчёт о научно-исследовательской работе. Анализ текущего состояния растительности, отдельных популяций охраняемых и инвазивных видов растений на заложенных в 2015 г. пунктах наблюдения мониторинга растительного мира национального парка «Смоленское Поозерье». Минск: Национальная академия наук Беларуси, ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси», 2015. 257 с.

17. Hagolle O., Huc M., Villa Pascual D., Dedieu G. A multi-temporal and multi-spectral method to estimate aerosol optical thickness over land, for the atmospheric correction of FormoSat-2, LandSat, VEN $\mu$ S and Sentinel-2 images // Remote Sensing. 2015. V. 7. No. 3. P. 2668–2691.

18. Open street map [Электронный ресурс] <https://www.openstreetmap.org> (Дата обращения: 01.03.2021).

19. Steinhaus H. Sur la division des corps matériels en parties // Bulletin L'Académie Polonaise des Science. 1956. V. 4. No. 12. P. 801–804.

20. Lloyd S.P. Least squares quantization in PCM's // IEEE Transactions on Information Theory. 1982. V. 28. No. 2. P. 129–137.

21. Сочилова Е.Н., Сурков Н.Б., Ершов Д.Б., Егоров Б.А., Барталев С.С., Барталев С.А. Картографирование классов бонитета лесов Приморского края на основе спутниковых изображений и данных о характеристиках

рельефа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 96–109.

## References

1. Emerald network of territories of special environmental value. Guidelines for state authorities of the subjects of the Russian Federation, directorates of specially protected natural territories and local self-government bodies / Eds. N.A. Sobolev, N.M. Alekseeva, E.S. Pushai. Moskva, Sankt-Peterburg: Izd-vo Instituta geografii Rossiiskoi akademii nauk, 2015. 48 p. (in Russian).
2. Davies C.E., Moss D. EUNIS Habitat Classification. Final Report to the European topic centre on nature conservation from the Institute of terrestrial ecology. Brussels, 1999. 214 p.
3. Schaminée J.H.J., Chytrý M., Hennekens S.M., Mucina L., Rodwell J.S., Tichý L. Development of vegetation syntaxa crosswalks to EUNIS habitat classification and related data sets. Final report to the European Environment Agency EEA/NSV/12/001. Copenhagen, 2012. 134 p.
4. Annex I: natural habitat types of community interest whose conservation requires the designation of special areas of conservation // Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora – consolidated version 01/01/2007 [Internet resource] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1992L0043:20070101:EN:PDF> (Accessed: 01.03.2021).
5. Revised Annex I of Resolution 4 (1996) of the Bern Convention on endangered natural habitats types using the EUNIS habitat classification (year of revision 2014). Council of Europe, 2010–2014 [Internet resource] [https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?Ref=T-PVS/PA\(2010\)10&Language=lanEnglish&Ver=rev&Site=DG4-Nature&BackColorInternet=BD2CF2&BackColorIntranet=FDC864&BackColorLogged=FDC864](https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?Ref=T-PVS/PA(2010)10&Language=lanEnglish&Ver=rev&Site=DG4-Nature&BackColorInternet=BD2CF2&BackColorIntranet=FDC864&BackColorLogged=FDC864) (Accessed: 01.03.2021).
6. Braslavskaya T. Yu., Tikhonova E.V. Forest and shrub habitats within the “Smolenskoe Poozerie” National Park: on the EUNIS habitat classification application for invention and conservation of biodiversity // Diversity of plant world. 2020. No. 1 (4). P. 17–35 (in Russian). doi: 10.22281/2686-9713-2020-1-17-35
7. EUNIS habitat classification – Northern boreal alluvial meadows [Internet resource] <https://eunis.eea.europa.eu/habitats/2497> (Accessed: 01.03.2021)
8. Buck O., Garcia Millan V.E., Klink A., Pakzad K. Using information layers for mapping grassland habitat distribution at local to regional scales // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. V. 37. No. 7. P. 83–89. doi: 10.1016/j.jag.2014.10.012
9. Corbane C., Lang S., Pipkins K., Alleaume S., Deshayes M., García Millán V.E., Strasser T., Vanden Borre J., Toon S., Förster M. Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2015. V. 37. P. 7–16. doi: 10.1016/j.jag.2014.11.005
10. Punalekar S., Verhoef A., Tatarenko I.V., Tol C., Macdonald D.M.J., Marchant B., Gerard F., White K., Gowing D. Characterization of a highly biodiverse floodplain meadow using hyperspectral remote sensing within a plant functional trait framework // Remote Sensing. 2016. V. 8. No. 2. Article No. 112. doi: 10.3390/rs8020112
11. Lopes M., Fauvel M., Girard S., Sheeren D. Object-based classification of grasslands from high resolution satellite image time series using Gaussian mean map Kernels // Remote Sensing. 2017. V. 9. No. 7. Article No. 688. doi: 10.3390/rs9070688
12. Iersel W., Straatsma M., Middelkoop H., Addink E. Multitemporal classification of river floodplain vegetation using time series of UAV images // Remote Sensing. 2018. V. 10. No. 7. Article No. 1144. doi: 10.3390/rs10071144
13. Resolution of the Russian Federation Government of April 15, 1992 No. 247 “On the creation of the national park “Smolenskoe Poozerie” of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Russian Federation in the Smolensk region” [Internet resource] <https://base.garant.ru/70252316/> (Accessed: 01.03.2021) (in Russian).
14. Forestry regulations of the National Park “Smolenskoe Poozerie”. Moskva: Filial FGUP “Roslesinform” “Zaplesproekt”, 2015. 190 p. (in Russian).
15. Scientific research in the National Park “Smolenskoe Poozerie”. V. 1 / Ed. S.M. Volkov. Moskva: NIA-Priroda, 2003. 295 p. (in Russian).
16. Sudnik A.V., Maslovsky O.M., Voznyachuk I.P., Dubovik D.V., Tereshchenko S.S., Galushko R.M., Rudkovsky I.A. A research report. Analysis of the current state of vegetation, individual populations of protected and invasive species of plants on the observation points laid in 2015 vegetation monitoring of the national park “Smolensk Lake”. Minsk: Natsionalnaya akademiya nauk Belarusi, GNU “Institut eksperimentalnoy botaniki im. V.F. Kuprevicha NAN Belarusi”, 2015. 257 p. (in Russian).
17. Hagolle O., Huc M., Villa Pascual D., Dedieu G. A multi-temporal and multi-spectral method to estimate aerosol optical thickness over land, for the atmospheric correction of FormoSat-2, LandSat, VEN $\mu$ S and Sentinel-2 images // Remote Sensing. 2015. V. 7. No. 3. P. 2668–2691. doi: 10.3390/rs70302668
18. Open street map [Internet resource] <https://www.openstreetmap.org> (Accessed: 01.03.2021).
19. Steinhaus H. Sur la division des corps matériels en parties // Bulletin L’Académie Polonaise des Science. 1956. V. 4. No. 12. P. 801–804 (in French).
20. Lloyd S.P. Least squares quantization in PCM’s // IEEE Transactions on Information Theory. 1982. V. 28. No. 2. P. 129–137.
21. Sochilova E.N., Surkov N.V., Ershov D.V., Egorov V.A., Bartalev S.S., Bartalev S.A. Mapping of forest site index classes in Primorskiy Krai based on satellite images and terrain characteristics // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2018. V. 15. No. 5. P. 96–109 (in Russian). doi: 10.21046/2070-7401-2018-15-5-96-109