

Опыт составления детальной карты растительности пойменного луга

© 2017. Е. А. Домнина^{1,2}, к. б. н., доцент, с. н. с., А. С. Тимонов^{1,2}, с. н. с.,
 Г. Я. Кантор^{1,2}, к. т. н., с. н. с., А. П. Кислицына³ к. с.-х. н., доцент,
 В. П. Савиных⁴, член-корреспондент РАН, д. г. н., профессор, президент,
¹ Вятский государственный университет,
 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
 167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
³ Вятская государственная сельскохозяйственная академия,
 610017, Россия, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,
⁴ Московский государственный университет геодезии и картографии,
 105064, Россия, г. Москва, Гороховский переулок, 4,
 e-mail: ecolab2@gmail.com

В статье обсуждается опыт создания детальной карты растительности пойменного луга с использованием аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата и технологии геоинформационных систем в сочетании с наземными геоботаническими исследованиями. Рассмотрены подходы к формированию методики составления детальной карты растительности, приведены результаты картографирования растительности пойменного луга. Аэрофотосъемка в видимой области спектра выполнялась при помощи радиоуправляемого квадрокоптера Phantom 3 Standard, снабжённого гиросtabilizированной цветной видеокамерой высокого разрешения, с высоты 150 м при скорости движения аппарата 5 м/с в режиме интервальной фотосъемки с периодом 5 с. Для сборки мозаики фотоснимков использовалось программное обеспечение пакета AgiSoft PhotoScan.

Визуальное дешифрирование геопривязанного ортофотоплана, полученного при помощи программы PhotoScan, выполнялось в среде ГИС ArcGIS 10.0 с учётом данных полевого геоботанического обследования территории. Границы растительных сообществ наносились на карту на основании анализа дешифровочных признаков – цвета, фототона и текстуры фотоизображения. При разработке легенды к карте единицы эколого-фитоценотической классификации выстроены по иерархическому принципу – выделенные при геоботанических описаниях фитоценозы сгруппированы по типам растительности (леса, кустарники, луга), в пределах лугового типа растительности выделены единицы классификации более низкого ранга.

Всего на исследуемой территории установлено три типа растительности – лесная, кустарниковая и луговая. В пределах лугового типа выделено два класса формаций – настоящие луга и болотистые луга. Среди настоящих лугов – группы формаций: крупнозлаковые, мелкозлаковые, крупноразнотравные и мелкозлаковые. В пределах этих групп хорошо выделяются и картируются крупнозлаковые и крупноразнотравные луговые сообщества. Болотистые луга объединяют ассоциации луговых мезогидрофитов и гидромезофитов с примесью мезофитов и гидрофитов. Среди них выделены группы формаций крупнозлаковых болотистых лугов, мелкоосоковых болотистых лугов и болотистых разнотравных лугов.

Созданная детальная геоботаническая карта масштаба 1:5000 может и должна послужить исходным базовым документом для проведения дальнейших исследований, выявления динамики растительности луга, происходящей под воздействием как природных, так и техногенных факторов. Описанные методические приёмы и подходы могут быть использованы и при составлении детальных геоботанических карт не только лугов, но и других открытых пространств.

Ключевые слова: пойменные луга, ГИС, беспилотный летательный аппарат, ортофотоплан, детальное картографирование растительности, растительные формации, динамика растительности.

Experience of detailed mapping of floodplain meadow vegetation

Е. А. Domnina^{1,2}, А. S. Timonov^{1,2}, G. Ya. Kantor^{1,2}, А. P. Kislitsyna³, V. P. Savinykh⁴,
¹ Vyatka State University,
 36 Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
² Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS,
 28 Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Komi Republic, Russia, 167982,
³ Vyatka State Agricultural Academy,
 133 Oktyabrskiy Prospect, Kirov, Russia, 610017,
⁴ Moskov State University of Geodesy and Cartography,
 4 Gorokhovskiy Pereulok, Moscow, Russia, 105064,
 e-mail: ecolab2@gmail.com

The article discusses the experience of creating detailed maps of floodplain meadow vegetation using aerial photography from an unmanned aerial vehicle technology and geographic information systems, combined with ground geobotanical studies. The approaches to the development of methodology of detailed vegetation mapping, as well as the results of floodplain meadows vegetation mapping are considered. Aerial photography in the visible spectrum is carried out with the help of a radio-controlled quadcopter Phantom 3 Standard equipped with a gyro-stabilized high-resolution color camera at the height of 150 meters at the speed of vehicle motion of 5 m/s in the interval photographing mode with a period of 5 seconds. To assemble a mosaic of photographs the software AgiSoft PhotoScan package was used.

Visual interpretation of georeferenced orthophoto obtained with PhotoScan programs has been implemented in the ArcGIS 10.0 environment, taking into account the data of the field geobotanical survey. The boundaries of the plant communities are mapped on the basis of the analysis of interpretive signs – the color and texture of images. In the development of the legend to the map units of eco-phytocoenotic classification were ranged in a hierarchical manner – phytocenoses selected during geobotanical descriptions of plant communities were grouped by type of vegetation (forests, shrubs, meadows), and then within the meadow vegetation type taxa of a lower order were highlighted.

Totally three types of vegetation have been highlighted in the study area – forest, scrub and grassland. Two classes of formations stand out within the meadow type – true meadows and marshy meadows. Among these grassland formations the following groups are identified: large cereals, small cereals, large grass and small grass. Within these groups the large cereals and large grass communities are well identified and mapped. Marshy meadows consist of associations of meadow meso-hydrophytes and hydro-mesophytes with admixture mesophytes and hydrophytes. Among them we have identified a group of large cereals marshy meadows formations, small sedge marshy meadows, and wetland mixed grass meadows.

Created detailed geobotanical map of scale 1:5000 can and should serve as the initial basic document for further research, to identify the dynamics of grassland vegetation, which occurs under the influence of both natural and man-made factors. The described methods and methodological approaches can be used in the preparation of detailed geobotanical maps not only of meadows but also of other open spaces.

Keywords: meadows, GIS, unmanned aerial vehicle, orthophoto, detailed mapping of vegetation, plant formations, vegetation dynamics.

Пойменные луга являются наиболее продуктивными природными угодьями, вследствие чего имеют большое сельскохозяйственное, природное и научное значение [1].

Антропогенная деятельность и специфические природные особенности обуславливают изменчивость экосистемы лугов: почвенного покрова, флоры, растительности и продуктивности лугов.

Пойменные луга отличаются от водораздельных территорий экологическим режимом, пространственной организацией. Кроме того, в особенностях строения поймы заложена динамичность её развития, что влечёт ежегодные изменения растительного покрова. Этим диктуется необходимость комплексной оценки современного состояния пойменных лугов и, на основе новых научных данных, разработка рекомендаций, направленных на предотвращение их деградации, стимулирование естественных демулационных процессов и повышение продуктивности [2].

Важным источником информации о растительности, её состоянии и динамике являются геоботанические карты. Принимая во внимание индикаторную функцию растительности, именно геоботанические карты используются как информационная основа для принятия решений в области управления территориями, занятыми ценными сообществами [3].

Целью составления любой карты является визуализация в определённом масштабе объ-

ектов наблюдений и исследований с целью последующего выявления закономерностей распределения этих объектов и анализа во взаимосвязи друг с другом и другими элементами пространства, в котором они находятся. Особую важность имеет крупномасштабное и детальное картографирование растительности (крупнее 1:50 000), которое даёт возможность подробного изучения структуры растительного покрова и его взаимоотношение с другими компонентами физико-географической среды [4, 5].

Поскольку объект исследования (растительность) способен изменяться как под воздействием природных факторов, так и в результате деятельности человека (техногенного воздействия, рекреации и т. п.), периодически обновляемая карта будет отражать эти изменения и может служить основой для выявления закономерностей, анализа причин и прогноза развития ситуации, выработки на их основе предложений и рекомендаций для принятия при необходимости управленческих решений.

В настоящее время внедряются технологии картографирования и хранения пространственных данных, определяющие новый этап развития геоботанического картографирования [6]. Кроме того, появились и широко используются беспилотные летательные аппараты для получения качественных детальных аэрофотоснимков высокого разрешения.

В настоящей работе показан опыт детального картографирования с применением беспилотных летательных аппаратов и ис-

пользованием ГИС-технологий в сочетании с классическими геоботаническими исследованиями пойменных лугов.

Материал и методика

В геоморфологическом плане участок представляет собой верхнюю пойму р. Вятки с явно выраженным в рельефе чередованием грив и понижений, вытянутых в север-северо-западном направлении. Ширина грив и межгривных понижений примерно одинакова, порядка 150–200 м, протяженность от 1,5 км. Общий уклон на юг-юго-восток в сторону от основной реки. Относительные превышения между гривами и понижениями на исследуемом участке составляет 1,5–2,5 м. Понижения заболочены. В осевых частях некоторых из них даже в межень сохраняются мелководные (глубиной до 1,0 м) озера.

С севера участок ограничивается цепью пойменных озёр, относящихся к нижней пойме. На западе он примыкает к лесному массиву. Сюда и востока участок ограничен территорией исследования. Общая площадь – около 210 га.

Исследуемый пойменный луг характеризуется сложной ландшафтной и геоботанической структурой. Задачей исследования было максимально полно и доступно для понимания отразить неоднородность растительного покрова на детальной геоботанической карте, которая должна стать основой для дальнейших исследований.

Для построения детальной карты растительности пойменного луга в августе 2016 г. была выполнена аэрофотосъёмка местности при помощи радиоуправляемого беспилотного летательного аппарата (БПЛА) – квадрокоптера DJI Phantom 3 Standard.

Квадрокоптер оснащён видеокамерой высокого разрешения (Full HD) на гиросtabilизированном подвесе, обеспечивающем стабильную ориентацию камеры независимо от наклонов аппарата при манёврах или под воздействием ветра, и навигационным приёмником GPS. Съёмка выполнялась с высоты 150 м в режиме интервальной фотосъёмки с периодом 5 секунд и разрешением 4000 × 3000 пикселей. Ввиду ограниченности дальности полета от БПЛА до пульта управления не более 300 м (по паспортным данным до 500 м) съёмка проводилась с нескольких точек (станций).

Аэрофотоснимки (АФС) сделаны в естественном видимом спектре. В результате было получено более 400 снимков. Каждый снимок имеет географическую привязку, что позволя-

ет производить сборку мозаики. Для этой цели использовалась программа Agisoft PhotoScan, позволяющая автоматически осуществлять весь цикл необходимых операций от геометрической коррекции дисторсии объектива до построения геопривязанного ортофотоплана. Полученные таким способом ортофотопланы послужили картографической основой при выполнении геоботанического картографирования пойменного луга (рис. 1, цв. вкладка).

Разрешение исходных АФС и полученного по ним ортофотоплана составляет в среднем 0,1 м. Это позволяет вполне надёжно различать и оконтуривать в плане объекты размером от первых метров и, в свою очередь, даёт возможность картировать объекты в масштабе от 1:1 000 и мельче. Для составления карты выбран масштаб 1:5 000. Отображаемые в таком масштабе объекты не могут быть отображены на крупномасштабных картах 1:200 000 – 1:50 000, поэтому составляемая нами карта отнесена к категории детальных карт.

Содержание карты, степень её информативности определяются структурой её легенды, а логической основой легенды является классификация растительности [6]. Легенда при правильном подходе основывается на определённой классификации, но не обязательно повторяет её [7]. Картирование – это не просто нанесение на карту мест расположения ассоциации, а более сложная процедура. Переход от классификации к легенде представляет собой элемент научной генерализации карты [8].

Существует несколько классификаций растительности. Ассоциации, выделенные по доминантам, более удобны для составления крупномасштабных карт, а ассоциации эколого-флористической классификации – для среднемасштабных [9]. За основу при разработке легенды нами была принята эколого-фитоценотическая (доминантная) классификация.

В полевых условиях фитоценозы выделялись по экологическому и физиономическому принципу. Характеристика выделенных растительных сообществ, проводилась по общепринятым геоботаническим методикам [10, 11]. Были описаны вертикальная и горизонтальная структура фитоценозов, выявлен их основной флористический состав.

При разработке легенды к карте была составлена классификационная схема, в которой единицы эколого-фитоценотической классификации выстроены по иерархическому принципу. Исходно выделенные при геоботанических описаниях фитоценозы были сгруп-

Таблица

Классификация растительности исследуемого луга

Класс формаций	Настоящие луга					Болотистые луга				
	крупно- злаковые		мелко- злако- вые	крупно- разно- травные	мелко- разно- травные	крупнозлаковые			мелко- осоковые	болотные разно- травье
Формация	вей- ни- ковая	пырей- ная	—	тавол- говая	—	дву- кисточни- ковая	манни- ковая	рого- зоя	черноосо- ковая	чере- довая

пированы по типам растительности (древесная растительность, кустарники, луга), а затем в пределах лугового типа выделены единицы классификации растительности более низкого порядка.

Так как картографируемая территория представлена чередованием в рельефе грив и увлажнённых понижений, растительность которых отличается друг от друга, подразделения легенды должны отражать связь растительности с условиями увлажнения. Более всего эту связь показывает классификация луговой растительности [12], составленная на основе выявления экологического состава мезофитов.

Основываясь на перечисленных выше принципах, на исследуемой территории нами были выделены классы формаций луга: настоящие луга и болотистые луга. В пределах класса формаций выделены группы формаций и формации (табл.).

Определённые (установленные) легендой единицы классификации растительных сообществ явились объектами картирования, ареалы [12] распространения которых нанесены на карту путём сочетания действий дешифрирования ортофотоплана, непосредственного установления их на местности и прослеживания их границ. Ориентирование на местности в процессе полевых маршрутов осуществлялось непосредственно по ортофотоплану и с помощью GPS-навигатора.

Ареалы растительных сообществ, первоначально отрисованные на ортофотоплане, оцифрованы с помощью программного пакета ArcGIS 10. При этом ареалы каждой единицы классификации и её подразделения сделаны отдельным слоем. Одновременно с этим формализованная информация по полевым описаниям занесена в сопровождающую атрибутивную таблицу слоя. Каждый слой имеет свой тип обозначения в виде цвета, крапа или штриховки, которые отражены в условных обозначениях. При наложении слоёв получена геоботаническая карта (рис. 2, цв. вкладка).

Результаты

Целью составления любой карты является визуализация в определённом масштабе объектов наблюдений и исследований с целью последующего выявления закономерностей распределения этих объектов и анализа во взаимосвязи друг с другом и другими элементами пространства, в котором они находятся.

На исследуемой площади выделены три основные типа растительности: древесная, кустарниковая, луговая (рис. 2).

Древесная растительность вдоль западной границы участка исследования представлена сообществом ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench), осины (*Populus tremula* L.), берёзы пушистой (*Bethula pubescens* Ehrh.). На гривах в виде небольших одновидовых компактных групп произрастает осина (*P. tremula*), на северо-востоке разреженно – молодая (до 10 лет) сосна (*Pinus sylvestris* L.). Кроме того, встречаются одиночные деревья осины. На АФС вся древесная растительность очень хорошо дешифрируется и легко узнаваема.

Кустарниковая растительность представлена ивовыми гигрофитнотравяными сообществами, произрастающими более или менее широкими ареалами во всех понижениях. Она хорошо дешифрируется и легко картируется по аэрофотоснимкам. Шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.) и шиповник майский (*Rosa majalis* Herrm.) образуют порой обширные заросли на гривах и вдоль границ понижений рельефа. Молодые побеги этого растения высотой 40–60 см отмечаются в большом количестве на всех гривах, но на карте они не отмечены вследствие их рассеянного распределения. Заросли шиповника почти не проявляются на аэрофотоснимках, сделанных в августе, но на июньских снимках в период цветения они должны быть хорошо заметны.

Луговая растительность подразделена на классы формаций настоящих и болотистых лугов [13], которые на исследуемой территории

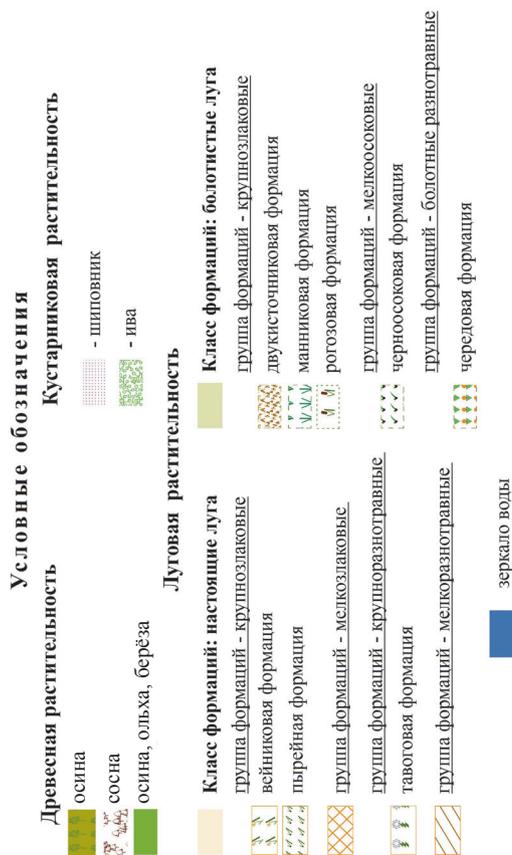
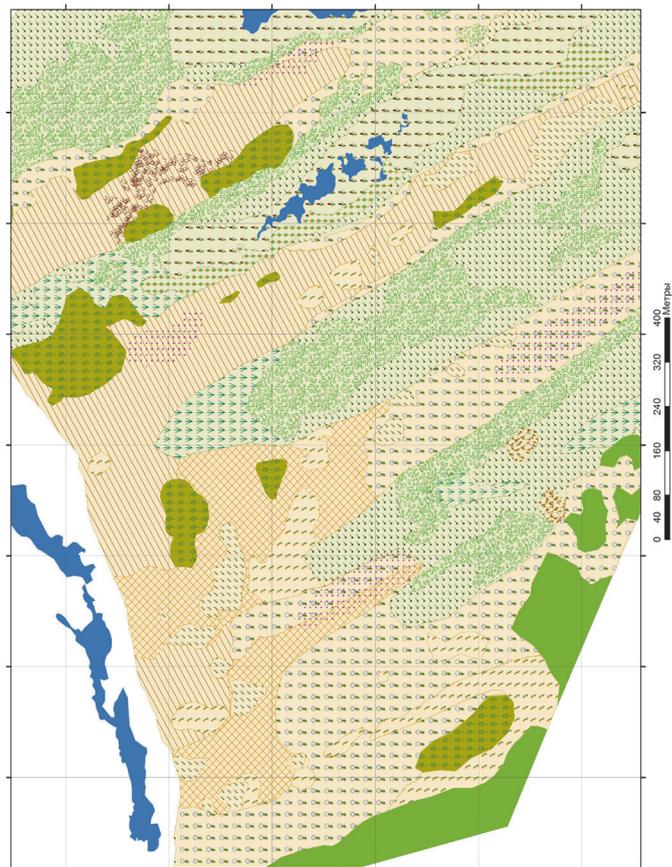


Рис. 1. Ортофотоплан, сделанный по аэрофотоснимкам, полученным с помощью БПЛА квадрокоптер Phantom-3

Рис. 2. Карта растительности, построенная в процессе полевых наблюдений с дешифрированием аэрофотоснимков (ортофотоплана) с БПЛА

являются наиболее крупными единицами классификации луговой растительности. На АФС они различаются общим тоном: болотистые луга более тёмным по сравнению с относительно светлым тоном настоящих лугов. На карте эти классы показаны разными цветами фона.

НАСТОЯЩИЕ ЛУГА занимают порядка 45% площади. Травостой образован растениями, требующими для своего развития средних условий увлажнения.

Среди настоящих лугов выделены группы формаций: крупнозлаковые, мелкозлаковые, крупноразнотравные и мелкозлаковые.

Из них хорошо картируются крупнозлаковые и крупноразнотравные луговые сообщества.

Крупнозлаковые луга развиваются на довольно богатых и достаточно увлажнённых участках. В растительности таких лугов обычно преобладают злаки – овсяница луговая (*Festuca pratensis* L.), полевица белая (*Agrostis alba* L.), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis* L.), пырей ползучий (*Agropyron repens* L.), костер безостый (*Bromus inermis* L.), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth). Среди крупнозлаковых выделены по доминантам и закартированы формации пырейная и вейниковая.

Вейниковая формация характеризуется разреженным травяным покровом. Это практически монодоминантное сообщество, так как вейник наземный (*C. epigeios*) даёт проективное покрытие до 25%. На АФС это сообщество узнаётся по желтовато-палевым оттенкам зелёного цвета, обусловленного колосющимися соцветиями.

На участках, где представлена пырейная формация, травостой также разрежен. Это также практически монодоминантное сообщество пырея ползучего (*A. repens*). На АФС они определяются по сизоватым оттенкам зелёного.

Мелкозлаковые луга имеют невысокий травостой из овсяницы красной (*Festuca rubra* L.) с примесью мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) и др. В составе растительности этих лугов встречается большое количество видов разнотравья (*Thalictrum minus* L., *Achillea millefolium* L., *Ranunculus acris* L., *Galium boreale* L. и др.), что приводит к формированию смешанных разнотравно-злаковых ассоциаций.

Здесь не удалось выделить сообщества с доминантными видами – формации. В целом на АФС они характеризуются бледно-зелёным цветом, с переходами к зеленовато-серым, частыми светло-коричневыми пятнами, обуслов-

ленными проплешинами отмерших растений. На карте они показаны как нерасчленённая группа мелкозлаковых лугов.

Крупноразнотравье преобладает в условиях повышенного увлажнения. Оно представлено *Filipendula denudata* (J. Presl & C. Presl) Fritsch., *Valeriana officinalis* L., *Urtica dioica* L., *Angelica sylvestris* L. Среди этих видов преобладает таволга обнажённая (*F. denudata*). Эта формация хорошо дешифрируется по тёмно-зелёной окраске с буроватым оттенком, однако переходные зоны на границе с другими формациями почти не выражены.

Мелкоразнотравные луга расположены в основном на верхней части грив, характеризующихся слабоувлажнёнными почвами. Виды разнотравья в травостое здесь играют очень важную роль. Весьма характерны поповник (*Leucanthemum vulgare* Lam.) колокольчик скученный (*Campanula glomerata* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.). Вместе с ними довольно обычными являются василистник малый (*Thalictrum minus* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), лютик едкий (*Ranunculus acris* L.), подмаренник северный (*Galium boreale* L.), хвощ луговой (*Equisetum pratense* Ehrh.), щавель кислый (*Rumex acetosella* L.). На местах со значительным увлажнением почвы в составе растительности участвуют и влаголюбивые виды – купальница европейская (*Trollius europeus* L.), вероника длиннолистная (*Veronica longifolia* L.), гравилат речной (*Geum rivale* L.).

Среди этих сообществ также не удалось выделить сообщества с доминантными видами – формации. На карте они показаны как нерасчленённая группа мелкозлаковых лугов.

БОЛОТИСТЫЕ ЛУГА занимают порядка 55% площади и приурочены к межгривным понижениям. Среди них выделены группы формаций крупнозлаковых болотистых лугов, мелкоосоковых болотистых лугов и болотистых разнотравных лугов.

Болотистые луга объединяют ассоциации луговых мезогидрофитов и гидромезофитов (с примесью мезофитов и гидрофитов). Эти луга располагаются на почвах, пересыщенных и даже покрытых водой [13].

Крупнозлаковые болотистые луга представлены видами, которые в понижениях занимают большие площади. Это манник водный (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.), рогоз широколистный (*Typha latifolia* L.), двукисточник обыкновенный (*Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert). Последний распространён исклю-

чительно на востоке и юго-востоке участка. Перечисленные виды образуют формации: манниковую, рогозовую и двукисточниковую. На ортофотоплане манниковая формация отличается ярко-зелёной окраской фототона. Рогозовая – тёмно-зелёно-серым до серого тонов и, как правило, примыкает к озерам. Двукисточниковая хорошо дешифрируется по сизоватому оттенку, довольно чётким границам и своеобразной бархатистой поверхности (текстура фотоизображения).

Мелкоосоковые болотистые луга представлены в основном осокой чёрной (*Carex nigra* (L.) Reichard), но в травостое встречаются и другие виды осок. Формация осоки чёрной отличается от манниковой формации более бледной зелёной окраской фототона.

Болотистые разнотравные луга. К ним отнесена формация череды трёхраздельной (*Bidens tripartita* L.). На ортофотоплане она отличается от осоковой и манниковой формаций желтоватым оттенком зелёного, обусловленного желтовато-зелёной окраской соцветий.

Распространение перечисленных и кратко охарактеризованных растительных сообществ отражено на Карте растительности (рис. 3). В настоящей статье авторы не ставили перед собой целью проведение анализа закономерностей распределения растительных сообществ, выявление взаимных связей и т. п. на основе составленной карты, а лишь рассмотрение технологии и методики составления карты.

Аналогов составления таких детальных геоботанических карт в масштабе 1:5 000 мы не встречали. Описанные методические приёмы и подходы вполне можно использовать при выполнении детального картирования не только пойменных лугов, но и других открытых пространств, например, при картировании болот, территорий, подверженных антропогенному воздействию.

Использование в качестве основы для картирования ортофотоплана, полученного при помощи БПЛА и GPS-приёмника, обеспечивает высокую геометрическую точность привязки картируемых объектов и их границ в отличие от традиционно используемых топографических карт. По сравнению со спутниковыми снимками ортофотоплан имеет значительно более высокое разрешение. Собственно, аэрофотосъёмка с БПЛА обходится значительно дешевле по сравнению с приобретением спутниковых и аэрофотоснимков. Естественные цвета такого ортофотоплана существенно облегчают и делают более объективной идентификацию картируемых объектов.

Основная и самая трудная задача при детальном картировании – это разработка классификации растительности и легенды к карте применительно к картографируемой территории, определение и формулирование иерархии объектов картирования на основе фактических наблюдений и описаний растительных сообществ этой площади. Авторы не претендуют на то, что выбранный подход является идеальным. Скорее всего, в дальнейшем и классификация, и основанная на ней легенда будут скорректированы.

Использование при построении карты ГИС-технологий, в частности ArcGIS, позволило максимально полно и наглядно отобразить выделенный спектр луговых сообществ. Атрибутивные таблицы содержат характеристику по каждому объекту, отображённому на карте. Манипуляция отдельными слоями даёт возможность проводить анализ пространственных закономерностей расположения растительных сообществ как относительно друг друга, так и относительно экологических факторов (рельеф, увлажнение и т. п.). Кроме того, ArcGIS даёт возможность автоматического расчёта площадей закартированных объектов.

Крупномасштабная геоботаническая карта является уникальным документом современного состояния растительности в условиях возрастающего техногенного пресса. Она даёт возможность выявления причин спонтанной и антропогенной динамики растительности, помогает вскрыть функциональные и экологические взаимоотношения и прогнозировать изменения растительного покрова [6].

Мы полностью разделяем этот тезис. Построенная карта может и должна послужить исходным базовым материалом для проведения дальнейших исследований, выявления динамики растительности луга, происходящей под воздействием как природных, так и техногенных факторов. Построенные таким образом детальные геоботанические карты могут и должны служить основой для обоснованного выбора ключевых участков, которые будут являться представительными, типичными, характерными для определённой территории.

В процессе полевых наблюдений и при составлении карты возникли некоторые вопросы, на которые необходимо обратить внимание в дальнейшем.

При проведении аэрофотосъёмки очень важно выбрать время съёмки относительно фенологической фазы, при которой наиболее чётко и контрастно будут выделяться те или иные растительные сообщества и виды. Исходя

из этого, целесообразно в течение вегетационного периода сделать несколько серий снимков на разных фенологических фазах развития растений. Например, выше отмечалось, что шиповник надо снимать в фазе его цветения (для нашей местности это конец мая – начало июня), когда он очень хорошо будет дешифрироваться по общему розовому фототону.

Выполнение полевых работ по картированию, обследованию и описанию растительности не должно быть существенно оторвано от времени выполнения аэрофотосъёмки, поскольку с течением времени происходит порой существенное изменение заснятой и наблюдаемой картины.

Применённый для аэрофотосъёмки квадрокоптер может работать только на открытом пространстве, когда имеется прямая видимость между ним и базовой станцией (пультом управления). Высокие объекты (деревья, здания) экранируют радиосигнал, связь между квадрокоптером и пультом управления прекращается.

Заключение

Впервые проведено картографирование в масштабе 1:5000 фитоценозов пойменного луга. В качестве основы карты использован ортофотоплан, изготовленный с аэрофотоснимков, сделанных с использованием беспилотного летательного аппарата.

Использование БПЛА в отличие от дорогостоящих снимков с космических аппаратов или обычной авиации (самолёты и вертолёты), позволяет производить аэрофотосъёмку при наиболее благоприятных условиях съёмки, в периоды разных фенофаз развития растений. По полученным таким образом АФС, можно, с одной стороны, проследить динамику растительности в течение одного сезона, а с другой – выделить и закартировать как различные растительные сообщества, так и отдельные виды, не совпадающие по фенологической фазе развития друг с другом.

Полученные в естественном видимом спектре аэрофотоснимков (в отличие от спутниковых снимков с условными цветами) позволяют более объективно находить (формулировать) дешифровочные признаки картируемых растительных сообществ и корректнее наносить на карту их ареалы и границы.

Высокое разрешение аэрофотоснимков, полученных при разной высоте полёта БПЛА, позволяет при необходимости выделять и картировать объекты размером от 1,0 м, тем самым практически не ограничивая детальность масштаба карты.

Применение ГИС-технологий, в частности программного пакета ArcGIS, позволяет создавать отдельные слои карты, по каждому картируемому разделу легенды. При наложении слоёв, используя различные типы условных обозначений: сплошная заливка, крап, штриховка и т. п. и различную прозрачность сочетаемых слоёв, возможно получение наиболее наглядной и читаемой карты.

Исходя из задач, атрибутивная информация, полученная в ходе полевых описаний растительности, может стать основой для составления других специальных карт в соответствии с поставленными задачами. Рассмотренный подход к детальному картированию применим не только для изучения лугов, но и для других открытых пространств.

Построенная описанным способом карта является наиболее объективным отражением состояния растительного покрова и может служить исходной геоботанической основой для ведения мониторинга динамики растительности с выявлением её закономерностей.

В целом алгоритм составления детальной карты растительности представляется следующим образом:

- аэрофотосъёмка с помощью БПЛА на небольших высотах (до 300 м),
- сборка мозаики по полученным аэрофотоснимкам и изготовление ортофотоплана,
- полевые исследования с целью классификации растительности и выработки дешифровочных признаков объектов картирования,
- нанесение их границ путем дешифрирования ортофотоплана в сочетании с полевыми исследованиями,
- послойная оцифровка границ объектов картирования и заполнение атрибутивных таблиц на основе полевых описаний,
- составление электронной карты растительности.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка последствий антропогенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № гос. регистрации 115020310080.

Литература

1. Парина Т.А., Амосова И.Б. Необходимость изучения пойменных лугов Архангельской области (Россия) // Геоботанические исследования естественных экосистем: проблемы и пути их решения: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Гомель. 2015. С. 103–108.

2. Парина Т.А., Наквасина Е.Н., Сидорова О.В. Луга островной поймы Северной Двины. Архангельск: Изд. центр САФУ им. М.В. Ломоносова, 2013. 150 с.

3. Каширина Е.С., Бондарева Л.В. Картографирование растительности ландшафтного заказника общегосударственного значения «Мыс Фиолент» и общезоологического заказника общегосударственного значения «Бухта Казачья» (Большой Севастополь, Крым) // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2013. Вып. 8. С. 130–140.

4. Кузнецова Р.С. Структура и динамика растительного покрова при крупномасштабном геоботаническом картографировании // Юг России: экология, развитие. 2013. № 2. С. 14–21.

5. Лошкарева А.Р., Королева Н.Е. Крупномасштабная карта растительности ключевого участка в лесотундре Кольского полуострова: методические особенности составления и анализ // Геоботаническое картографирование. СПб., 2013. С. 112–125.

6. Юрковская Т.К. Геоботаническое картографирование и составление аналитических карт растительности // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Лекции. СПб., 2007. С. 43–71.

7. Сочава В.Б. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск, 1979. 187 с.

8. Грибова С.А., Исаченко Т.И. Картирование растительности в съемочных масштабах // Полевая геоботаника. М.-Л., 1972. Т. IV. С. 137–286.

9. Галанина О.В. Опыт использования двух основных классификационных подходов для крупномасштабного картографирования растительности болот // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана: Матер. междунар. симпозиума. Петрозаводск. 2006. С. 60–70.

10. Ипатов В.С., Кирикова Л.А. Фитоценология. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 1997. 316 с.

11. Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд-во МГУ, 1983. 296 с.

12. Сочава В.Б. Классификация растительности как иерархия динамических систем // Геоботаническое картографирование. Л.: Наука, 1972. С. 3–17.

13. Шенников А.П. Луговоедение. Л.: Изд-во ЛГУ. 1941. 510 с.

References

1. Parinova T.A., Amosova I.V. The need of studying the floodplain meadows of the Arkhangelsk region (Russia) // Proceedings of the international scientific-practical

conference. Geobotanical study of natural ecosystems: problems and ways of their solution. Gomel, 2015. P. 103–108 (in Russian).

2. Parinova T.A., Nakvasina E.N., Sidorova O.V. Meadows of Northern Dvina island floodplain of the Arkhangelsk: Publishing center of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2013. 150 p. (in Russian).

3. Kashirina E.S., Bondareva L.V. Mapping vegetation in the landscape reserve of national importance «Cape Fiolent» and general zoological reserve of national importance «Kazachia Bay» (Big Sevastopol, Crimea) // Ecosystems, their optimization and protection. 2013. V. 8. P. 130–140 (in Russian).

4. Kuznetsova R.S. Structure and dynamics of vegetation in large-scale geobotanical mapping // South of Russia: Ecology and development. 2013. № 2. P. 14–21 (in Russian).

5. Loshkareva A.R., Koroleva N.E. A large-scale map of vegetation of the key area in the forest-tundra of the Kolskiy Peninsula: methodological features of compilation and analysis // The geobotanical mapping. SPb, 2013. P. 112–125 (in Russian).

6. Yurkovskaya T.K. Geobotanical mapping and compilation of analytical maps of vegetation // Actual problems of Geobotany: III All-Russian conference school. Lectures. Saint Petersburg, 2007. P. 43–71 (in Russian).

7. Sochava V.B. The vegetation cover on thematic maps. Novosibirsk, 1979. 187 p. (in Russian).

8. Gribova S.A., Isachenko T.I. Mapping vegetation in survey scales // Field geobotany. Leningrad, 1972. V. IV. P. 137–286 (in Russian).

9. Galanina O.V. Experience in the use of two basic classification approaches for large-scale mapping of marsh vegetation // Proceedings of the International Symposium. Marsh ecosystems in Northern Europe: diversity, dynamics, carbon balance, resources and protection. Petrozavodsk, 2006. P. 60–70 (in Russian).

10. Ipatov V.S., Kirikova L.A. Phytocenology. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 1997. 316 p. (in Russian).

11. Rabotnov T.A. Phytocenology. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1983. 296 p. (in Russian).

12. Sochava V.B. The classification of vegetation as a hierarchy of dynamic systems // Geobotanical mapping. Leningrad: Science, 1972. P. 3–17 (in Russian).

13. Shennikov A.P. Meadows Study. Leningrad: Publishing House of Leningrad State University, 1941. 510 p. (in Russian).