

SPATIO-TEMPORAL STRUCTURE OF MIRE LANDSCAPES: BASIC CONCEPTS AND APPROACHES TO CLASSIFICATION IN NATIONAL MIRE SCIENCE

Lapshina E.D.^{*1}, Kupriianova Iu.V.¹

¹Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск

* e_lapshina@ugrasu.ru

Citation: Lapshina E.D., Kupriianova Iu.V. 2024. Spatio-temporal structure of mire landscapes: basic concepts and approaches to classification in national mire science. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 15(1): 4-29.

DOI: 10.18822/edgcc633244

Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов наземных экосистем (РИТМ углерода. 2024. URL:<https://ritm-c.ru/>) в рамках одного из направлений Важнейшего инновационного проекта государственного значения «Российская система климатического мониторинга» предполагает унификацию основных терминов и понятий и их единообразное использование.

В статье приводится обзор и определение основных терминов и понятий, связанных с описанием пространственно-временной организации болотных ландшафтов и возможных подходов к их классификации для оценки запасов углерода и потоков парниковых газов. Подробно рассматриваются территориальные единицы разной размерности (болотные микро-, мезо- и макроландшафты) в зависимости от масштаба и задач проводимых исследований. Сравниваются понятия «болотный микроландшафт» и «болотная фация». Для оценки бюджета углерода первостепенное значение имеет пространственная и функциональная структура болотных фаций и биогеоценозов. Для описания функциональной структуры более подходит понятие «экосистемы».

Наиболее перспективными для генерализации информации о типологическом разнообразии болот крупного региона и всей страны для целей изучения углеродного баланса представляется зонально-географический и ландшафтно-физиономический уровни классификации. Предложена классификация торфяных болот Западной Сибири для целей изучения углеродного баланса, в которой все многообразие болот сведено к семи основным типам, которые в разной степени представлены или выпадают в ряде биоклиматических зон.

Ключевые слова: болотоведение, болотный биогеоценоз, болотная фация, болотная экосистема, торфяное болото, методические рекомендации.

The article provides an overview and definition of the key terms and concepts related to the description of the spatio-temporal organization of mire landscapes as well as possible approaches to their classification for assessing carbon stocks and greenhouse gas fluxes.

The Introduction lists the main biospheric functions of peatlands (Ivanov, 1976; Vitt, Short, 2020; Minayeva, Sirin, 2011; Tanneberger et al., 2021), with carbon dioxide sequestration and carbon accumulation/ storage in peat deposits being the primary one (Vitt, Short, 2020; Qiu et al., 2020; Loisel et al., 2021). In this regard, considerable attention is paid to the issues of gas exchange and peatland carbon balance (van Bellen, Larivière, 2020; Dyukarev et al., 2021; Lourenco et al., 2023; Yang et al., 2023; Golovatskaya et al., 2024).

Currently the development of a system for ground-based and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas fluxes of terrestrial ecosystems, including peat mires, (Rhythm of Carbon. 2024. URL: <https://ritm-c.ru/>) is being implemented in Russia within the framework of the key national innovative project "Russian Climate Monitoring System" (Shirov, 2023; Carbon regulation..., 2023). The development of such a methodology presupposes basic terms and concepts unification for their uniform use in the monitoring system to be created.

Young researchers use exclusively computer-based technologies for information search which results in reduced number of references to classical research works of Russian scientists, while methodological approaches and foreign terminology in peat mires study are increasingly borrowed. Based on extensive experience of Russian mire science, the article makes a comparison of the basic terms and concepts widely used in the literature.

In the section "Methodological Bases for Mire Studies" definitions and comparison of the terms "mire" and "peat mire" or "peatlands" (P'yavchenko, 1963; Bogdanovskaya-Guihéneuf, 1969; Nitsenko, 1967; Boch, Masing, 1979; Boch, Smagin, 1993) are provided, and the criteria for attributing lands to these categories are revealed. Two aspects are distinguished when considering the problem of peat mires classification: what to classify, i.e., the problem of the classification object, and how to classify, i.e., the question of classification activity, including the issues of selecting features and choosing classification units (Masing, 1993).

The section "Levels of Mire Landscapes Organization" discusses in detail territorial units of different dimensions (micro-, meso- and macro- mire landscapes) depending on the scope and objectives of the research. The concepts of "mire microlandscape" and "mire facies" are compared. The concept of "microlandscape" represents an elementary unit of the peatland surface (Ivanov, 1976; Galkina, 1946, 1959; Masing, 1974; Boch, Masing, 1979, et al.). It is comparable to "mire sites" or "wetland sites" or "habitats" as understood by Western authors (Euroala et al., 1984; Wells, Zoltai, 1985; Lindsay, 2016). For assessing the carbon budget and the dynamics of its accumulation by mire biogeocenoses, the concept of mire facies is more preferable, since the facies includes the layer of peat deposited under relatively constant conditions of water-mineral nutrition (L'vov, 1974, 1977, 1979). A facies is easily identified in space and quite stable over time. It is the primary (elementary) unit, both of the peat body and of the modern biogeocenotic cover (Lapshina, 2000, 2004). Examples are used to compare the concept of "biogeocenosis" and "mire facies," with the latter being broader both horizontally and vertically.

For the carbon budget estimation, of the three strands of structure study (composition, spatial construction, totality of connections), the spatial one is of major importance, primarily horizontal (morphological) structure, and functional structure of peat mire facies and biogeocenoses (Masing, 1969; Korchagin, 1976). When describing the horizontal structure, we distinguish three levels of subordination of structural units: biogeocenoses, mosaic elements, and smaller structures (moss hummocks, sedge tussocks, stumps, rotten wood, etc.). The concept of "ecosystem" is more suitable for describing the functional structure because functional connections in the form of flows of matter and energy are more amenable to mathematization and modeling than other parameters of the biogeocenosis, which is very important in connection with the development of modern instrumental methods for studying natural systems.

The second part of the article discusses "Main Principles and Approaches to the Mire Landscapes Classification". The zonal-geographical and landscape-physiognomic levels of classification seem to be the most promising for generalizing information about the typological diversity of peat mires in a large region and the entire country for the purposes of studying the carbon balance. At the zonal-geographical level in Western Siberia, types of polygonal mires, palsa mires, raised sphagnum bogs, flatland slightly convex sedge-moss fens and forest swamps, and concave (sedge and reed) mires are distinguished (Romanova, 1976; Semenova, Lapshina, 2001; Lapshina, 2004). According to the physiognomic features, the entire variety of peat mires falls into four main types (categories) (Warner, Rubec, 1997; Lapshina, 2004): 1 – highly productive grassy (reed-large sedge) floodplain mires (marshes), 2 – wooded peatlands or carrs (swamps), 3 – low-productive sedge-moss peat mires (fens), 4 – raised (pine)-shrub-sphagnum mires (bogs). A classification of peat mires in Western Siberia for the purposes of studying the carbon balance is proposed, in which the entire peat mire variety is summarized in seven main types, which are represented to varying degrees or are absent in a number of bioclimatic zones: 1 – shrub-moss and shrub-lichen frozen palsa-mires; 2 – raised pine-dwarf shrub-Sphagnum bogs; 3 – rain fed (ombrotrophic) Sphagnum hollows; 4 – poor (meso-oligotrophic and mesotrophic) sedge-moss hollows fed by rain, run-off and mixed (incl. poor ground discharge) waters; 5 – sedge-hypnum rich fens fed by groundwater; 6 – forest swamps; 7 – meso-eutrophic grassy (large-sedge, reed) floodplain marshes and 'zaimishche'. Two types of peat mire ecosystems – raised bogs and poor sedge-moss lawns – are divided into subtypes (Table 2). For general overview at the country level, it is necessary to compile classification schemes of generalized peat mire types in all other meridional sectors of Russia's territory: Eastern European, East Siberian, and Far Eastern, each with its own characteristics.

Key words: mire science, mire biogeocenosis, mire facies, mire ecosystem, peat mire, methodological recommendations.

Торфяные болота – уникальные природные экосистемы, обладающие способностью аккумулировать огромные запасы пресной воды и накапливать отмерший растительный материал в виде торфа. Они играют важную роль в гидрологическом балансе территории, выполняют функцию естественных фильтров, предотвращая попадание загрязнителей в водотоки (Ivanov, 1976; Vitt, Short, 2020), служат убежищами для многих редких и исчезающих видов животных, растений и грибов (Minayeva, Sirin, 2011; Tanneberger et al., 2021). Однако одной из наиболее важных биосферных функций торфяных болот является связывание углекислого газа и депонирование углерода в торфяной залежи (Vitt, Short, 2020; Qiu et al., 2020; Loisel et al., 2021). Запасы углерода в торфяниках оцениваются в 547 (473–621) Гт (Yu et al., 2010), что составляет около трети мировых запасов почвенного углерода и более половины запасов углерода в атмосфере Земли. Являясь глобальным пулом углерода, торфяные болота имеют непосредственное отношение к поддержанию газового состава атмосферы, выполняя буферную роль в процессах глобального изменения климата.

В последние десятилетия большое внимание уделяется вопросам газообмена и углеродного баланса природных экосистем (Kudryarov, 2015; Gounand et al., 2018), особенно северных торфяников (van Bellen, Larivière, 2020; Dyukarev et al., 2021; Lourenco et al., 2023; Yang et al., 2023; Golovatskaya et al., 2024). В России в рамках одного из направлений Важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИПГЗ) «Российская система климатического мониторинга» (Shirov, 2023; Carbon regulation..., 2023) реализуется разработка системы наземного и

дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов (РИТМ углерода. 2024. URL:<https://ritm-c.ru/>). Первоочередной задачей создания национальной сети мониторинга бюджета углерода является разработка единой методики оценки пулов и потоков углерода в наземных экосистемах, в том числе болотных.

В отличие от всех других типов наземных экосистем болотные экосистемы характеризуются незамкнутым циклом круговорота веществ. Высокий уровень болотных вод и недостаток кислорода в корнеобитаемом горизонте приводит к неполному разложению ежегодно отмирающей растительной массы и накоплению ее в виде торфа. При этом болота отличаются высокой горизонтальной неоднородностью растительного покрова и участием в составе доминантов болотных фитоценозов растений разных жизненных форм (деревьев, кустарников, кустарничков, трав, мохообразных), определяющих разный физиономический облик болот. По мере накопления торфа болота формируют собственную гидрологическую сеть с озерами и водотоками, мочажинами и топями. В результате современные торфяные болота обладают высоко развитыми механизмами саморазвития и имеют характерную тенденцию к формированию сложного рисунка поверхности, являясь уникальными примерами ландшафтного разнообразия природных экосистем (Lapshina, 2003).

Все это требует особого подхода к изучению болот и составлению Методических рекомендаций проведения полевых исследований для оценки пулов и потоков углерода именно в болотных экосистемах с учетом богатого опыта российского болотоведения. Разработка таких рекомендаций предполагает унификацию основных терминов и понятий и их единообразное использование в создаваемой системе мониторинга.

Таким образом, целью статьи является обзор и определение основных терминов и понятий отечественного болотоведения, связанных с описанием пространственно-временной организации болотных ландшафтов и возможных подходов к их классификации для оценки запасов углерода и потоков парниковых газов.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ БОЛОТ

Методическим и методологическим вопросам изучения болот традиционно уделялось большое внимание в трудах отечественных болотоведов (Galkina, 1946, 1959; Bogdanovskaya-Guihéneuf, 1946, 1969; P'yavchenko, 1963, 1972; L'vov, 1974, 1977; Boch, Masing, 1979; Masing, 1988, 1993, 1994). В своих работах практически все исследователи затрагивали вопросы об объеме понятия «болото» и проблеме классификации болот.

Разнообразные точки зрения на определение «болото» были предметом многих исследований и подробно изложены в ряде научных работ (P'yavchenko, 1963; Bogdanovskaya-Guihéneuf, 1969; Nitsenko, 1967; Boch, Masing, 1979; Boch, Smagin, 1993). Большинство специалистов в области изучения болот, геоботаников и географов сходятся во мнении, что их ключевыми характеристиками являются повышенное увлажнение, специфическая влаголюбивая растительность и наличие торфа, хотя соотношение и характер этих компонентов различен среди разных авторов. Под термином «болото» мы понимаем природный ландшафт гидроморфного ряда, для которого характерно постоянное или длительное обильное увлажнение (застойное или слабопроточное), определяющее специфический характер растительности и особый тип почвообразования, одним из проявлений которого является отложение торфа (Lapshina, 2004, 2010).

Границей болота с суходолом считается нулевая торфяная залежь (Razvedka..., 1953). Согласно Водному кодексу Российской Федерации (The Water Code ..., 2006) болота относятся к поверхностным водным объектам, граница которых также определяется по границе торфяной залежи на нулевой глубине (ФЗ № 74-ФЗ, статья 5). В настоящее время торфяные болота рассматриваются как один из нескольких типов водно-болотных угодий (ВБУ) (Wetlands..., 2000).

Однако наличие торфа – признак не абсолютный. Во многих районах широко распространены земли болотного ряда, не накапливающие торфа. К этой категории относятся некоторые типы пойменных земель, которые принято называть «торфянистыми» или «болотистыми лугами» (Shennikov, 1964). Сюда же относятся заболоченные леса, в составе, структуре и почвенном профиле которых все признаки болотного процесса налицо, но слой торфа не выражен. Площадь таких лесов в таежной зоне Западной Сибири составляет не менее 25% от площади всех лесных угодий (Goldin, 1976). Известно, что некоторые из этих заболоченных лесов и лугов могут долгое время находиться в таком состоянии (P'yavchenko, 1985). Несмотря на ярко выраженный болотный процесс, отмершее

органическое вещество здесь успевае́т разрушаться в своей значительной массе, не переходя в торф. Такие земли должны рассматриваться как особые, устойчивые во времени типы ландшафтов.

В других случаях заболоченные земли представляют собой промежуточную стадию формирования болота, которая может быть достаточно быстротечна, особенно при аллохтонном (наползающем) типе заболачивания, и отсутствие торфяного пласта при этом – лишь временное явление.

Для оценки баланса климатически активных веществ в болотных экосистемах России особый интерес представляют торфяные болота, то есть те типы болотных ландшафтов, где болотный процесс находится на высокой стадии развития и выражен не только в чертах состава и строения растительности и почвенных процессах, но и в виде более или менее мощного слоя торфа. В связи с этим, важно провести границу между торфяным болотом и заболоченными землями. К заболоченным землям относят избыточно увлажненные земли со слоем торфа в 30 или 50 см в неосушенном состоянии (Kats, 1941; Vompersky et al., 2011). Более объективным критерием для отнесения участка территории к той или иной категории земель следует считать связь корневых систем древесной растительности с минеральным грунтом. Когда корни живых деревьев теряют такую связь и полностью размещаются в торфяной залежи, следует считать, что стадия заболоченных лесов сменилась болотом (Р'уавченко, 1985). В тундрах, где древесный ярус отсутствует, к торфяным болотам правомерно относить ландшафты, где мощность торфяного горизонта превышает корнеобитаемый слой, который редко достигает 20-30 см.

Еще более сложны и запутаны в болотоведении подходы к типологии и классификации болот. Причины этого кроются в исторически сложившихся направлениях в изучении разных компонентов болот: растительного покрова, гидрологии, торфяного тела. Были предложены генетические (происхождение), геоморфологические, гидрологические (источник питания), фитоценоотические и ботанико-географические классификации болот, а также различные ландшафтные классификации, построенные на разных сочетаниях признаков.

С методологической точки зрения в проблеме классификации можно выделить два аспекта: что классифицировать, то есть проблема объекта классификации, и как классифицировать, то есть вопрос классификационной деятельности, включая проблемы подбора признаков и выбора классификационных единиц (Masing, 1993).

В отношении методов и подходов к классификации мы полностью согласны с мнением В.В. Мазинга (1993), что система классификации представляет собой результат творческой деятельности исследователя, а не заложена в самой природе, ее нельзя найти или открыть. Поэтому разные подходы и разные признаки, привлекаемые для упорядочивания тех или иных объектов, вполне правомерны и множественность мнений неизбежна. Ценность классификации определяется тем, насколько она отвечает (соответствует) поставленным научным и практическим задачам, а также возможностью раскрыть с ее помощью какие-то природные связи и закономерности, прийти к новым обобщениям и решениям. Гораздо более важной с методологической точки зрения является проблема объекта классификации, которая связана с особенностями пространственно-временной организации болотных ландшафтов.

УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Термин «болото» немасштабная категория. Она не содержит понятия размерности и используется в отношении территориальных выделов разного объема (ранга) от небольших участков болотных массивов до огромных болотных систем. При изучении и классификации болот важно учитывать это обстоятельство.

Первые высказывания о наличии в природе болот разнокачественных объектов и их сочетаний (комплексов) встречаются уже у классиков болотоведения – Р.И. Аболина, В.Н. Сукачева, А.К. Каяндера, Х. Освальда. Однако в наиболее полном и последовательном виде эта идея получила развитие в трудах Е.А. Галкиной (Galkina, 1946, 1955, 1959), которая выделила на болотах территориальные единицы разной размерности: болотные микро-, мезо- и макроландшафты.¹

На необходимость выделения при изучении растительности болот объектов разных уровней, связанных с разными факторами их возникновения, с разным масштабом их отражения на картах и

¹Позднее Е.А. Галкина отказалась от этих терминов и стала использовать «болотные массивы» (болотные урочища) и «болотные системы» (системы урочищ) (Galkina, 1962, 1966).

различиями в их временной динамике во многих своих работах указывает В.В. Мазинг (Masing, 1974, 1988, 1993; 1994; Boch, Masing, 1979). Он выделяет следующие уровни организованности болот и, соответственно, объектов изучения и классификации болотной растительности: элементарные единицы болотной растительности (дерновины мхов, кочки осок), растительность болотных микроформ (гряды, мочажины), растительность болотных фаций или микроландшафтов, растительность простых болотных массивов, растительность болотных систем.

Существование разнокачественных объектов, столь ярко проявляющихся в природе болот, есть отражение более общей закономерности пространственной организации биогеоценотической (ландшафтной) оболочки планеты в целом. Это следует из того факта, что живой покров Земли обладает сложной биологической и географической структурой, одной из форм проявления которой, служат уровни интеграции живого (Shvarts, 1973), объединяющиеся в иерархию живых систем от субклеточных уровней до популяционных и биогеоценотических (L'vov, 1995).

При переходе от одного уровня к другому изменяется объект исследования и предметом изучения становятся новые (иные) признаки и свойства, специфичные для данного уровня. Соответственно меняются и методы исследования, понятийный и терминологический аппарат. Важным является, что каждый уровень исследования осуществляется в своем масштабе работ. Начиная с биогеоценотического уровня, объект исследования – живая система – выходит из области биологических наук и становится объектом географическим. Предметом исследования становятся не организмы и их совокупности, а ландшафты и протекающие в них процессы.

Создаваемая на территории России система наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов предполагает проведение исследований на внутриценотическом (изучение элементов пространственной структуры болотных растительных сообществ), биогеоценотическом (изучение растительности и углеродного баланса болот), ландшафтном (собственно болотоведческие исследования болотных массивов и их систем) и (суб)региональном (болотное районирование) уровнях (Lapshina, 2000; Табл. 1).

Таблица 1. Объекты и уровни исследования болот

Уровень организации	Объекты исследования	Масштаб работ
Внутриценотический	Элемент мозаики (парцелла)	1:100 – 1:1000
Биогеоценотический (ценотический)	Биогеоценоз (фитоценоз)	1:100 – 1:50000
Ландшафтный	Болотная фация	1:10 000 – 1:50 000
	Болотный массив	1:50000–1:500000
	Болотная система	
Субрегиональный	Болотный район	1:500000 – 1:1000000
Региональный	Болотная провинция (зона)	1:1000000 – 1:5000000

Большинство отечественных исследователей болот различают три основных уровня пространственной (хорологической) организации болотных ландшафтов: микроландшафты, мезоландшафты и макроландшафты (Ivanov, 1976; Galkina, 1946, 1959; Masing, 1974; Boch, Masing, 1979 и др.). Остановимся подробнее на каждом из них.

1) *Болотный микроландшафт* представляет собой элементарную единицу болотного ландшафта(поверхности болота) и сопоставима с «болотными участками» (miresites, wetland sites) или «местообитаниями» (habitats) в понимании западных авторов (Euroaetal., 1984; Wells, Zoltai, 1985; Lindsay, 2016).Каждый тип микроландшафта характеризуется специфическими особенностями гидрологического режима, водно-минерального питания, микрорельефа поверхности и растительности. Микроландшафты могут быть гомогенного или комплексного строения в зависимости от характера гидрологических условий в пределах болотного массива или болотной системы. В настоящее время в отечественном болотоведении чаще используется термин «болотный участок» или «болотная фация» (Lopatín, 1954), при этом фация не всегда является идентичной понятию болотного микроландшафта.

Понятие болотной фации

В геологии термин «фация» означает пласт осадочных отложений, накопившийся в одинаковых условиях среды. В ландшафтоведении под фацией понимают низшую типологическую единицу

географической оболочки, которая представляет собой однородный участок земной поверхности со всей совокупностью живых и косных компонентов, сложившихся на нем при определенных условиях в результате длительного развития (Berg, 1945; Solntsev, 1949). На первый план рассмотрения при анализе ландшафтной фации выдвигается её геологическая основа, толща осадочной породы, отложенной за все время существования фации.

В болотных ландшафтах такой осадочной породой является торф, поэтому он должен быть поставлен в основу выделения фаций. Растительность является важным таксономическим признаком при разделении болотных фаций, но лишь постольку, поскольку она является исходным материалом процесса торфообразования с одной стороны, и индикатором экологических условий, в которых протекает этот процесс – с другой. Кроме того, растительный покров и его пространственная структура, наряду с элементами внутриболотной гидрологической сети, являются основными признаками дешифрирования болотных фаций (болотных микроландшафтов) по космическим и аэрофотоснимкам при дистанционных методах исследования (Galkina, 1962, 1966; Terentieva et al., 2016; Minasny et al., 2019).

Попытки сопоставления единиц болотной растительности и отлагаемых ими видов торфа возникали неоднократно. Наиболее ярким примером этого являются сопряженные классификации болотной растительности и видов торфа, разработанные С.Н. Тюремновым (Туремнов, 1957), «фитоценозы» и «растительные группировки» которого по сути дела соответствуют понятию болотной фации. Большинство же болотоведов, используя ландшафтное понятие «фации», понимают под ним, как правило, фитоценотически однородный выдел болотного массива как простого, так и комплексного строения (Loratin, 1954).

Ф.З. Глебов, рассматривая болотные фации лесной зоны Енисейского левобережья, впервые вводит в это понятие наряду с современным растительным покровом пласт торфа, отложенный именно этим вариантом растительности (Glebov, 1969). Однако это важное теоретическое положение осталось неразвитым. Из-за различной степени изученности компонентов болотного ландшафта автор делит его на два самостоятельных объекта: 1 – все то, что находится на поверхности болота (растительность, микрорельеф и корнеобитаемый слой); 2 – торфяную залежь; и каждый из них характеризует и классифицирует отдельно.

Дальнейшее развитие представления о болотных фациях получили в работах Ю.А. Львова (L'vov, 1974, 1977, 1979). Современные фации закономерным образом размещены в пределах болотного массива и находятся во взаимодействии друг с другом и окружающей средой. Возникновение и развитие фаций в значительной мере определяется климатическими и почвенно-гидрологическими факторами географической среды. Мощным косвенно действующим фактором является рельеф, способствующий перераспределению влаги. Нарастание толщи торфа в процессе развития болота, а также крупные циклические изменения физико-географической среды, приводят к изменению условий водно-минерального питания, в результате чего происходит смена растительного покрова и, соответственно, смена болотных фаций.

Таким образом, геологическим фундаментом для болотной фации служит пласт торфа, который сложен растительными остатками предшествующей фации. Торфяная залежь представляет собой геологическое содержание сменяющих друг друга в процессе развития болотного массива болотных фаций. Верхний пласт торфа принадлежит современной фации, а нижние пласты представляют собой древние (геологические) фации. Геологические фации, исчезнувшие в современном ландшафтном облике болот того или иного района, являются реликтовыми для этого района.

Некоторые авторы считали, что одним из важнейших свойств фации является генетическое единство входящих в её состав болотных участков (Elina, 1968). На этом основании Е.А. Галкина включала в состав фации (микроландшафта) всю торфяную залежь до минерального дна (Galkina, 1959, 1964, 1984). Такое понимание объёма фации, с одной стороны, бесконечно увеличивает их число в соответствии с количеством сочетаний современных пространственно однородных единиц болотного массива, с характером напластования слоев торфяной залежи под ними. С другой стороны, лишает возможности свободного оперирования ими в пространственном и временном отношениях. В результате исчезает основное преимущество понятия «болотной фации», как элементарной пространственно-временной единицы болотного массива. Правильнее торфяную толщу в пределах элементарного болотного участка рассматривать, как свиту болотных фаций (L'vov, 1974), и по признаку сходства строения свит выделять генетически близкие участки болотных массивов.

Некоторые авторы приравнивали понятия биогеоценоза и болотной фации (Bogdanovskaya-Gienef, 1946; P'yavchenko, 1985; Prosorov, 1974), однако фация шире как в горизонтальном, так и в вертикальном плане. Это в первую очередь относится к фациям комплексного строения (грядово-

мочажинным, грядово-озерковым, веретьевым и аапа комплексам), в которых гряды и мочажины, по сути, являются самостоятельными биогеоценозами со своим составом биоты, специфическими экологическими условиями и особенностями функционирования. Нередко и относительно гомогенные пространственно сопряженные участки, занятые близкими по видовому составу биогеоценозами (например, дернистоосоковым, вейниково-дернистоосоковым с редким древесно-кустарниковым ярусом из ив и березы), но отлагающие один вид торфа (дернистоосоковый), входят в состав одной фации.

По мере накопления торфа нижние слои торфяной залежи выходят из пределов биогеоценоза, лишаясь организменной составляющей, но остаются в пределах фации (L'vov, 1979). Однако иногда в природе вертикальные границы биогеоценоза и фации совпадают. Это наблюдается, когда болотный биогеоценоз со сложившейся устойчивой структурой еще не успел отложить свойственного ему пласта торфа. В этом случае его можно рассматривать как неполноценную фацию, лишенную своей геологической составляющей.

Для оценки бюджета углерода и динамики его накопления болотными биогеоценозами использование понятия болотной фации более предпочтительно, чем микроландшафт, под которым, как правило, понимают только участок поверхности болота. В нашем понимании болотная фация – это элементарная ландшафтная единица болотного массива, которая представляет собой совокупность сходных по флористическому составу и структуре болотных биогеоценозов или, напротив, комплекс закономерно сочетающихся на значительном протяжении контрастных биогеоценозов, отлагающих в определенных относительно постоянных условиях водно-минерального питания один вид торфа (простого или комплексного строения). Фация хорошо выражена в пространстве и достаточно устойчива во времени. Она является основной (элементарной) единицей, как торфяного тела, так и современного биогеоценозического покрова (Lapshina, 2000, 2004).

Устойчивость фации контролируется, с одной стороны, действием более высоких уровней организации системы (болотного массива, системы болотных массивов, биогеомассива в целом), ответственных за относительное постоянство абиотической (инвариантной) основы фации, с другой – действием слагающих фацию биогеоценозов с их специфическими фитоценозическими механизмами, обеспечивающими стабильность биотической (динамической) составляющей фации. Одним из таких механизмов является пространственное перемещение экологически разнородных структурных элементов биогеоценоза (например, приствольных повышений и топких микропонижений) в ходе его функционирования.

Структура болотных фаций

В трактовке понятия «структура ценоза» выделяются три основных направления: конституционное (изучающее состав растительных сообществ), пространственное (морфологическое строение) и функциональное (совокупность связей) (Masing, 1969; Korchagin, 1976). В целях изучения бюджета углерода предметом нашего рассмотрения является пространственная (прежде всего горизонтальная) структура болотных фаций, которая в свою очередь складывается из пространственной структуры входящих в её состав биогеоценозов, и функциональная структура, отражающая потоки вещества и энергии.

Пространственная структура болотных фаций и биогеоценозов.

Основой любого наземного биогеоценоза выступает фитоценоз, в границах которого он определяется и существует. Именно растительная компонента создает его пространственную структуру. Под пространственной структурой биогеоценозов понимают размещение отдельных элементов в вертикальном и горизонтальном направлении, что определяется, с одной стороны, набором жизненных форм растений, а с другой – известной неоднородностью и неравномерностью условий абиотической среды, создаваемой на болотах большей частью самими растениями.

Пространственная структура болотных биогеоценозов, как и всяких других, вырабатывалась в течение длительного времени и является результатом сложных взаимоотношений отдельных растений и их групп между собой, и условиями внешней среды (Shennikov, 1964; Sukachev, 1973). Развитие того или иного типа структуры в пределах болотной фации является отражением всего комплекса абиотических условий – той инвариантной основы, на которой формируется фация.

Специфической особенностью болотных ландшафтов является резко выраженная неоднородность их горизонтального строения, которая, как правило, связана с микрорельефом. Известно, что формирование микрокомплексности, как общеприродной закономерности,

наблюдается в случае частичной утраты растительностью её эдификаторных свойств и выдвигания на первый план абиотических условий среды (Lopatin, 1958). На болотах основным средообразующим фактором, приводящим к развитию микрокомплексности, является обильное увлажнение. Увеличение же в субстрате (торфе) воды сверх его полной влагоёмкости ведет к возрастанию гомогенности растительного покрова.

Различают два типа пространственной неоднородности растительного покрова: мозаичность и комплексность (Yaroshenko, 1961; Shennikov, 1964; Sukachev, 1972; Korchagin, 1976 и др.). Большинство авторов под мозаичностью понимают внутреннюю неоднородность фитоценоза. В комплексе же всегда участвуют фитоценозы двух или нескольких ассоциаций. Таким образом, решение вопроса о комплексности растительного покрова вытекает из понимания объёма фитоценоза и растительной ассоциации. Наибольшее расхождение взглядов относительно объёма фитоценологических единиц наблюдается именно на этом уровне и вызвано это объективными причинами.

Представление о фитоценозах складывалось и развивалось на примере лесной растительности. Выделение их проводилось по доминантам всех ярусов, которые в лесах хорошо заметны и пространственно выражены. В дальнейшем при использовании этого понятия для изучения луговой и болотной растительности обнаружились значительные трудности. В первом случае – вследствие большого числа и непостоянства доминантов, во втором – за счет резко выраженного микрорельефа и сочетания мелких пятен с различным набором доминантов.

Основываясь на доминантном принципе, многие болотоведы пришли к очень дробному пониманию болотных фитоценозов (Lopatin, 1949; Liss, Berezina, 1981; Lissetal., 2001 и многие другие). В качестве теоретического обоснования данного подхода использовано положение о соответствии линейных размеров эдификаторов, которыми на болотах являются, как правило, травы и мхи, площади образованных ими сообществ. В результате отдельные фитоценозы на болотах стали измерять квадратными дециметрами и метрами. Другие исследователи (Tyuremnov, 1957; P'yavchenko, 1985; Galanina, 2004; Lapshina, 2010; Volkova, 2018, Ivchenko, 2019; Kuznetsov, 2023 и др.) оставались на позициях широкого понимания болотных сообществ, пренебрегая мелкими неоднородностями напочвенного покрова.

Занимаясь изучением пространственной структуры разных типов биогеоценозов (лесных, луговых, болотных), мы пришли к выводу о соизмеримости площадей природных единиц данного ранга независимо от жизненной формы эдификатора их растительного компонента (Lapshina, 1987, 2004). В этом отношении основную роль играют растения, выполняющие структурообразующую функцию и связывающие отдельные элементы растительной мозаики в единое целое – фитоценоз. При этом они не всегда оказываются эдификаторами (например, корневищные травы и осоки в гипновой топи или кустарнички и деревья на сфагновом болоте).

Общепризнанно, что одним из важнейших признаков фитоценоза является наличие взаимодействия между растениями (Lavrenko, 1959; Sukachev, 1975). В экстремальных условиях среды (тундровых, болотных, полупустынных) эта взаимозависимость лишь затушевывается резко выраженной неоднородностью растительного покрова. Детальные исследования, проведенные в пятнистой тундре (Aleksandrova, 1962) показали, что подземные органы растений распределены значительно равномернее, чем их наземные части. Наши исследования также подтверждают наличие тесного взаимодействия корневых систем болотных растений, приуроченных к разным пятнам мозаики, в том числе и связанной с элементами микрорельефа (Lapshina, 1987).

В своей работе при рассмотрении горизонтальной структуры болотных фаций мы выделяем три уровня соподчиненности структурных единиц: биогеоценозы, элементы мозаики и более мелкие структуры. Биогеоценозы являются наиболее крупными элементами болотной фации, которые связаны с некоторой неоднородностью абиотических условий в пределах фации, и относительно постоянны во времени. Отдельному выделу фации часто соответствует один биогеоценоз.

Комплексные фации характеризуются закономерным сочетанием биогеоценозов или их фрагментов. Фрагменты биогеоценозов обладают всеми специфическими особенностями соответствующих биогеоценозов, но выражены на участках меньшей площади выявления их полного видового состава и особенностей горизонтальной структуры (Sukachev, 1964, 1972). Значительные размеры чередующихся в пространстве биогеоценозов (хотя бы одного из членов комплекса) исключают возможность взаимодействия других его компонентов. Торфяная залежь их характеризуется комплексным строением, причем пласты торфа, отложенные разными биогеоценозами, определенным образом сочетаясь друг с другом, могут достигать значительной мощности.

Болотные биогеоценозы в свою очередь состоят из более мелких структурных единиц (L'vov, 1979), элементов мозаики, которые соответствуют понятию парцелл в лесных биогеоценозах (Dylis, 1969). Эти единицы формируются в процессе функционирования биотической составляющей биогеоценозов и в болотных условиях связаны, как правило, с элементами нанорельефа (например, приствольные повышения деревьев или их групп и топких понижения между ними) или клоновым развитием болотных растений (например, пятна мозаики осок и трав в гипновой топи). Такие элементы мозаики – наименьший по размерам элемент горизонтального расчленения биогеоценозов, охватывающий все его горизонты вертикальной структуры, и поэтому обладающий определенной целостностью. В горизонтальном плане они связаны между собой посредством корневых систем растений-структурообразователей.

В отличие от биогеоценозов, которые относительно устойчивы, элементы мозаики перемещаются в пространстве со скоростью соответствующей длительности жизни основных строителей сообществ. В результате микрокомплексность торфяной залежи, вызванная мозаичным строением биогеоценоза, выявляется в виде флуктуаций ботанического состава относительно однородного пласта.

Горизонтальная неоднородность растительного покрова имеет и более мелкие формы, но это касается уже структуры отдельных биогеогоризонтов, а не всего биогеоценоза в целом (L'vov, 1979). К ним относятся дерновины сфагновых и гипновых мхов, осоковые кочки, пни, валежины и т.д. Они соответствуют элементарному уровню исследования болотной растительности. Эти неоднородности растительного покрова отражаются в торфе, но не выявляются современными методами его анализа.

Функциональная структура болотных биогеоценозов. Экосистема биогеоценоза.

Наряду с понятием «болотный биогеоценоз» мы широко пользуемся понятием «болотные экосистемы». Основное расхождение представлений о биогеоценозах и экосистемах заключается в том, что если биогеоценозы выделяются как участки биогеоценотической оболочки и включают в себя все компоненты в пределах своих границ, то экосистемы выделяются по признаку трофических цепей (Aleksandrova, 1971; L'vov, 1979) и не обязательно включают все элементы биосферы на данном участке.

Экосистема – внеранговое понятие. Экосистемы могут быть очень крупными и совсем небольшими. Различают три категории экосистем: микроэкосистемы (типа пня дерева, муравейника, навозной кучи); мезоэкосистемы, обычно равные фитоценозу (биогеоценозу) и макроэкосистемы типа тундры, пустыни или океана (Duvigneaud, Tanghe, 1973; Dreux, 1976). Все они обладают определенной стабильностью и в каждой из них происходит свой обмен веществ.

Несмотря на свою безранговость понятие экосистемы более универсально, чем биогеоценоз, поскольку может быть применено не только к наземным, но и к водным и антропогенным системам. Кроме того, функциональные связи в форме потоков вещества и энергии легче поддаются математизации и моделированию, чем другие параметры биогеоценоза, что очень важно в связи с развитием современных инструментальных методов изучения природных систем.

С функциональной точки зрения биогеоценоз принято рассматривать как систему, состоящую из определенных блоков, в каждом из которых существуют запасы веществ и энергии (Titlyanova, 1976). Блоки связаны между собой и окружающей средой потоками вещества и энергии. Таким образом экосистема биогеоценоза представляет собой систему его внутренних функциональных связей.

2) *Болотный мезоландшафт* представляет собой отдельный болотный массив простого или более сложного строения, развивающийся из одного генетического центра (центра торфонакопления). На ранних стадиях развития болотного массива может наблюдаться слияние нескольких генетических центров в пределах одной геоморфологической поверхности, но в дальнейшем их развитие происходит в виде одного торфяного тела с единой гидрологией. Как правило, болотные мезоландшафты ограничены одной болотной впадиной и более или менее отчетливо выделяются на фоне незаболоченных территорий.

Болотный массив (болотный мезоландшафт) рассматривается Е.А. Галкиной в качестве основной ландшафтной единицы, способной к саморазвитию и состоящий из совокупности взаимосвязанных в пространстве и взаимообусловленных болотных микроландшафтов (Galkina, 1959, 1962, 1966).

В процессе торфонакопления и разрастания болот вширь отдельные болотные массивы (мезоландшафты) сливаются друг с другом. В результате образуются сложные болотные образования – болотные системы.

3) *Болотный макроландшафт* представляет собой крупную болотную систему комплексного строения, которая формируется в результате слияния первоначально изолированных, нередко заметно различающихся по гидрологическим условиям и типу водно-минерального питания болотных мезоландшафтов, которые возникли в отдельных генетических центрах и долгое время развивались независимо друг от друга. Слияние их происходит на поздних стадиях развития. В пределах болотных макроландшафтов часто встречаются минеральные острова с лесом, остаточные водоемы и водотоки.

Различают простые и сложные системы болотных массивов (Yurkovskaya, 1969, 1988). Простая болотная система состоит из двух или более болотных массивов, находящихся на одной или близких стадиях развития. Сложная болотная система включает разнотипные болотные массивы, находящиеся на разных стадиях развития. Хорошим примером болотного макроландшафта сложного строения может служить Большое Васюганское болото – крупнейшая болотная система земного шара, площадь которой составляет более 5 млн га (Bolshoe Vasyuganskoe ..., 2002).

В условиях Западно-Сибирской равнины с ее выровненным рельефом, высокой степенью заболоченности и заторфованности, болота представлены в основном крупными болотными массивами сложного строения и обширными болотными системами. На практике нередко бывает трудно разделить пространственные (хорологические) единицы разного уровня, особенно мезо- и макроландшафты. Ясные границы между этими двумя уровнями ландшафтной организации болотных систем нередко отсутствуют.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ

В большинстве существующих классификаций болотных ландшафтов, их рассматривают на уровне болотных массивов (Tzinserling, 1938; Galkina, 1946; Nitsenko, 1967; Yurkovskaya, 1992) или болотных фаций (болотных микроландшафтов, болотных участков или биогеоценозов) (Romanova, 1964; Glebov, 1969; Prozorov, 1974; Ivanov, 1976; Glebovetal. 1978; Lissetal., 2001; Lapshina, 1987, 2004 и др.).

При этом классификация базируется на каком-либо одном, наиболее важном с точки зрения исследователя признаке: геоморфологическом залегании (Vinogradova, 1957; P'yavchenko, 1958; Rubtsov, 1974; Galkina 1959 и др.), условиях водно-минерального питания (Sjörs, 1950), растительном покрове (Tsinzerling, 1938; Kats, 1948, 1971; Lopatin, 1954; Tyuremnov, 1957; Prozorov, 1974; Yurkovskaya, 1974, 1975 и др.).

Имеется также большое число классификаций болот, основанных на совокупности разных признаков – растительности и географии (Tsinzerling, 1938; Yurkovskaya, 1974, 1992), положении в рельефе, гидрологии, растительности, истории развития и т.д. (Elina, 1974; Romanova, 1974; Kaule, 1976; Lissetal., 2001 и др.). Стремление учесть наиболее полный набор признаков направлено на построение универсальной классификации болот. Предполагалось, что такая классификация будет наиболее полно отражать все многообразие и природу болот. Однако попытки одновременно использовать много признаков не дали ожидаемых исчерпывающих классификаций. В результате появлялось очень большое количество трудно сопоставимых между собой, в значительной мере уникальных либо формальных типологических единиц.

В последнее время наметилась тенденция построения классификационных систем по отдельно взятым признакам с последующим их совмещением (Lapshina, 2004).

В качестве наиболее важных признаков болотных ландшафтов, которые и раньше в той или иной мере использовались при классификации болот, являются следующие: 1 – принадлежность биоклиматической зоне, 2 – принадлежность определенной геолого-генетической поверхности, 3 – положение в рельефе, 4 – особенности водно-минерального питания, 5 – ландшафтно-физиономический облик, 6 – современная растительность и отлагаемый ею пласт торфа. По каждому из этих признаков можно провести самостоятельные классификации, которые будут представлять соответствующие уровни (слои) общей классификационной схемы: зонально-географический,

геолого-генетический, геоморфологический, гидролого-геохимический, ландшафтно-физиономический (Приложение табл. П1, П2, П3).

По мере необходимости и наличия информации число уровней может дополняться, и в пределах каждого из них классификационная система может развиваться линейно и иерархически. В зависимости от масштаба и конкретных задач исследования используется один или несколько уровней классификации, а основными типологическими единицами могут выступать крупные болотные системы, определяющие общий ландшафтный облик территории, болотные массивы или отдельные болотные фации (микрорландшафты, болотные участки).

На практике далеко не всегда возникает необходимость разработки детальной классификации болотных ландшафтов. Дробность классификации и, соответственно, число типологических единиц легенды определяются (задаются), с одной стороны, техническими возможностями их выявления (дешифрирования, «узнавания») на космических и аэрофотоснимках определенного масштаба, с другой – степенью обеспеченности выделяемых типов болотных ландшафтов содержательной (атрибутивной) информацией.

На ключевых участках (полигонах) оценка круговорота углерода и накопления его в торфяной залежи проводится в конкретных болотных биогеоценозах и болотных фациях, выявляемых на космических снимках высокого разрешения и аэрофотоснимках по горизонтальной структуре современного растительного покрова (Usova, 2009; Mahdavi et al., 2018). Однако охватить наземными исследованиями все разнообразие болотных биогеоценозов и болотных фаций в масштабе страны не представляется возможным.

Наиболее перспективными для генерализации информации о типологическом разнообразии болотных ландшафтов крупного региона и всей страны для целей изучения углеродного баланса представляется зонально-географический и ландшафтно-физиономический уровни классификации.

Зонально-географические типы болот

Зонально-географический тип болот отражает общие условия развития болотных ландшафтов в связи с глобальными зонально-климатическими подразделениями земной поверхности. Изменение соотношения тепла и влаги по широте приводят не только к формированию зональных, климатически обусловленных типов растительности (тундровой, таежной, хвойно-широколиственной или степной), но и к развитию болот определенного физиономического облика и структуры поверхности.

В направлении с севера на юг на равнинах Северной Евразии выделяются следующие зонально-географические типы болот (Tsinzerling, 1938; Kats, 1971; Boch, Masing, 1979; Yurkovskaya, 1992, 2010; Mires..., 2017): полигональные (арктические осоковые), бугристые, выпуклые сфагновые, плоские (глиновые и лесные), вогнутые (осоковые и тростниковые).² Наиболее отчетливо болотные зоны выражены на равнинной территории Западной Сибири (Приложение табл. П1; Romanova, 1976; Semenova, Lapshina, 2001; Lapshina, 2004).

Тип полигональных болот – развит в тундре, современный рисунок поверхности обусловлен морозобойным растрескиванием грунта, что наблюдается на плоских слабо дренированных речных и морских террасах и по заболоченным днищам бывших озер (хасыреев). Торфонакопление лимитируется низкими температурами и небольшой продолжительностью вегетационного сезона. Глубина сезонного оттаивания от 15–20 см на валиках до 40–50 см в центре обводненных полигонов. Несмотря на свой древний (раннеголоценовый) возраст, полигональные болота находятся на эвтрофной стадии развития, что обусловлено распространением невыщелоченных и слабо выщелоченных подстилающих грунтов.

Тип бугристых болот – особо характерен для лесотундры и северной тайги. Структура поверхности обусловлена процессами термокарста (протаивания в мерзлом грунте) и мерзлотного пучения. Занимают обширные площади междуречных пространств. Высота бугров определяется местными гидрологическими условиями и зависит от количества притекающей на болото влаги. Торфонакопление осуществляется в основном в термокарстовых депрессиях между буграми.

²В европейской части России в качестве особого зонального типа выделяют также аапа болота, где они распространены преимущественно в зоне лесотундры и северной тайги. Позднее аапа болота были обнаружены в лесной зоне Западной и Восточной Сибири. К аапа типу относят минеротрофные сильно обводненные болота с вогнутой поверхностью и хорошо выраженными узкими грядами, ориентированными перпендикулярно направлению стока. Их развитие связано, прежде всего, с особенностями водно-минерального питания и гидрологического режима и в меньшей степени обусловлено климатом.

Основная масса бугристых болот вступила в олиготрофную стадию развития, при этом соотношение верховых, переходных и низинных торфов в торфяных залежах примерно одинаково.

Тип выпуклых (сфагновых комплексных) болот – абсолютно доминирует в средней и южной тайге. Выпуклая поверхность обусловлена оптимальными климатическими условиями торфонакопления (преобладание осадков над испарением). Сложная структура поверхности (гряды, мочажины, озерки, рямы и их разнообразные сочетания) формируется в результате поверхностного внутриболотного стока. Болота этого типа питаются атмосферными осадками и развиваются на всех типах поверхности, в том числе на речных террасах и междуречных пространствах, занимая обширные площади.

Тип плоских и слабовыпуклых (глиновых и лесных) болот – характерен для южной части лесной зоны или подтайги. Поверхность плоская или слабо наклоненная в сторону основного водоприемника. Несмотря на заметное сокращение роли атмосферных осадков в питании болот, они активно развиваются не только в долинах рек, так и за их пределами, занимая обширные площади в южной части междуречья Оби и Иртыша, или представлены многочисленными изолированными болотными массивами. Имеют гомогенное или комплексное строение, образуя веретьевые комплексы.

Тип вогнутых (осоковых и тростниковых) болот – развивается в пределах лесостепной и степной зон, в условиях постоянного дефицита атмосферной влаги. Размещаются в неглубоких депрессиях, преимущественно в виде четко отграниченных болотных массивов и в долинах рек. Торфонакопление лимитировано резкими сезонными колебаниями уровня грунтовых вод. Верховые сфагновые участки имеют крайне ограниченное распространение и представлены редкими островами «рямов» в окружении низинных травяных (осоково-тростниковых) болот, известных в Сибири под названием – «займищ».

Физиономический тип (облик) болот

Физиономический облик растительного покрова болот является интегральным показателем (своего рода индикатором) всего комплекса экологических условий болотных местообитаний, среди которых наиболее важными являются уровень увлажнения и степень обеспеченности торфяного субстрата элементами минерального питания и азотом.

По физиономическому облику все многообразие болотных ландшафтов можно объединить в четыре основных типа (категории) (Warner, Rubec, 1997; Lapshina, 2004): 1 – высокопродуктивные травяные (тростниково-крупноосоковые) пойменные болота (marshes), 2 – лесные болота или согры (swamps), 3 – низкопродуктивные осоково-моховые топяные болота (fens), 4 – выпуклые (сосново)-кустарничково-сфагновые болота (bogs).

Каждая из этих категорий может использоваться на различных уровнях пространственной организации болотных экосистем от уровня болотной фации (болотного микроландшафта) до болотного массива (болотного мезоландшафта) и системы болотных массивов (болотного макроландшафта). На высоких уровнях пространственной организации принадлежность к тому или иному физиономическому типу определяется преобладанием соответствующего физиономического типа растительности в пределах болотного массива или системы.

Высокопродуктивные травяные пойменные болота (marshes). Маршами называются водно-болотные угодья (wetlands), которые связаны с мелководьями, где уровень воды изменяется в разные сезоны года и по годам вследствие затопления полыми или тальми снеговыми водами и испарения. Марши в материковой части Северной Евразии ассоциируются главным образом с обширными поймами рек и их крупных притоков. В лесостепной и степной зонах Западной Сибири к ним относятся займища и прибрежные заросли на мелководьях замкнутых озер. В русскоязычной литературе маршам соответствует и чаще используются термины «болотистые и торфянистые луга», «низинные травяные болота».

Марши характеризуются относительно высоким плодородием, которое обеспечивается частичной минерализацией органического вещества, в том числе илистой фракции, приносимой полыми водами. Сравнительно высокое плодородие местообитаний выражается в более высокой продуктивности растительного покрова по сравнению с другими типами болотных ландшафтов. Растительность маршей характеризуются высокотравными крупноосоковыми и тростниковыми сообществами, развивающимися в застойных условиях высокого увлажнения.

По характеру растительного покрова высокопродуктивные травяные пойменные болота (marshes), развивающиеся на органно-минеральных и торфяных отложениях, соответствуют преимущественно классу *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 и близким к нему

синтаксонам союза *Salicypentandrae-Betulionpubescentis* Clausnitzerin Dengler et al. 2004 класса *Alnetea-glutinosae* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff et al. 1946 эколого-флористической классификации.

Лесные болота – черноольшаники осогры (swamps). Отличительной особенностью лесных болот является развитие хорошо выраженного древостоя (нередко лесного облика) высотой от 8-10 до 22 (25) м с общим проективным покрытием крон более 30%. Они откладывают древесный или богатый древесными остатками торф. Лесные болота характеризуются хорошо выраженным микрорельефом, образованным приствольными повышениями, корневыми системами деревьев и осоковыми кочками. Микроповышения обычно на 20-50 см превышают уровень глубоких топких понижений. Средний уровень болотных вод в летний период располагается у поверхности межкочий или на 5-10 см превышает ее. В зависимости от обеспеченности местообитаний лесных болот растворенными основаниями и азотом выделяются эвтрофные (nutrient rich), мезотрофные богатые основаниями (base-rich, sub-neutral) и мезотрофные бедные основаниями (base-poor) лесные болота. Первые большей частью ассоциируются с черноольховыми болотами европейской части России. Лесные болота бореального облика (согры) с участием в древесном ярусе ели, кедра сибирского, березы, лиственницы распространены в Сибири.

Все лесные болота европейской части России и южной части лесной зоны Западной Сибири, как особый физиономический тип болотных ландшафтов, целиком соответствуют классу *Alnetea glutinosae*, несмотря на всю широту диапазона экологических условий и большое разнообразие растительных сообществ, представленных в пределах данного типа.

Топяные осоково-моховые болота (fens). Осоково-моховые топи (fens) представляют собой открытые, реже слабо залесенные, преимущественно минеротрофные болота или их отдельные участки (болотные фации). Многочисленные обводненные сфагновые мочажины в пределах омбротрофных болотных комплексов исключительно атмосферного питания также могут быть отнесены к этому физиономическому типу болот.

В целом осоково-моховые топи (fens) характеризуются растительностью с доминированием крупных (*Carex rostrata*, *C. lasiocarpa*) или низкорослых осок и других низких трав (*Eriophorum*, *Rhynchospora*, *Scheuchzeria*) с хорошо выраженным моховым покровом или без него. Кустарниковые березки (0.5–1.5 м высотой), реже деревья (3–6 м высотой), могут также играть заметную роль в топиях с высоким уровнем стояния болотных вод, вследствие развития микрорельефа в виде мягких моховых кочек. Видовой состав растительных сообществ в топиях может сильно различаться в зависимости от степени их проточности и химического состава болотных вод.

Топяные участки болот с кислыми условиями среды и особо низким содержанием в воде минеральных веществ относятся к экстремально бедным топиям (extremely poor fens). Топи с менее кислым субстратом (преимущественно проточные) и более или менее бедные основаниями относятся к бедным и умеренно богатым топиям (poor and moderate poor fens). Первые отличаются развитием сплошного ковра сфагновых мхов, вторые характеризуются участием в моховом покрове, как сфагновых, так и гипновых мхов и мезотрофных видов осок и болотнотравья. Топи с условиями среды близкими к нейтральным и более высокой концентрацией растворенных минеральных веществ составляют группу топей богатых основаниями (base rich), где доминируют осок, кальцефильные травы и гипновые мхи (*Bryum pseudotriquetrum*, *Drepanocladus* spp., *Hamatocaulis vernicosus*, *Tomentypnum nitens*).

Осоково-моховые топи (fens), как особый физиономический тип болотных ландшафтов, по комплексу экологических условий и растительному покрову полностью отвечает разным союзам класса *Scheuchzeriopalustris-Cariceteanigrae* Tx. 1937 эколого-флористической классификации.

Выпуклые (сосново)-кустарничково сфагновые болота (bogs). Сосново-кустарничково сфагновое болото как физиономический тип (соответствует английскому термину «bog»), применительно к отдельному болотному массиву или крупной болотной системе представляет собой торфяное болото верхового типа. Такие болота характеризуются сравнительно высокой скоростью аккумуляции торфа, выпуклой формой поверхности и уровня болотных вод, развитием разнообразных комплексов с грядами, мочажинами и вторичными озерами, доминированием сфагновых мхов, главным образом *Sphagnum fuscum*, *S. angustifolium*, *S. divinum* и эрикоидными (ксероморфными) кустарничками в растительном покрове; развитым низкорослым древесным ярусом из сосны, реже без него. Верховые (сосново)-кустарничково сфагновые болота возвышаются над окружающими участками топей, лесных болот и суходолов на 3-5 (8) метров.

В лесной зоне Западной Сибири такие выпуклые кустарничково-сфагновые участки болот всегда покрыты более или менее ясно выраженным ярусом сосны, но высота деревьев различается от 0.4-1(1.5) до 8-10 м в зависимости от уровня болотных вод, который располагается на глубине от 20

до 60-70 см ниже поверхности. Единственным источником водного питания сосново-кустарничково-сфагновых болот являются бедные растворенными минеральными веществами атмосферные осадки.

Выпуклое сосново-кустарничково-сфагновое болото (bog), как физиономический тип растительности болотных ландшафтов, полностью соответствует в широком смысле классу *Oxycocco-Sphagnetea* Br.-Bl. et Tx. ex Westhoff et al. 1946 эколого-флористической классификации болотной растительности.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ИЗУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА

Ранее нами была предложена классификационная схема торфяных болот лесной зоны Западной Сибири с целью обобщения и экстраполяции результатов инструментальных измерений основных составляющих углеродного баланса (первичной продукции, эмиссии углекислого газа и метана), а также оценки динамики накопления углерода в торфяных залежах, полученных на модельных объектах в пределах ключевых участков на территории лесной зоны Западной Сибири (Lapshina, 2004). Она включала пять типов болот и заболоченные леса.

Все разнообразие преобладающих типов собственно болотных экосистем на территории всей Западной Сибири по особенностям их структуры и функционирования может быть сведено к семи основным единицам (типам болот и болотных участков): 1 – кустарничково-дикрановые, кустарничково-сфагновые и кустарничково-лишайниковые мерзлые торфяные бугры; 2 – рямы (выпуклые сосново-кустарничково-сфагновые болота); 3 – омбротрофные сфагновые топи и мочажины; 4 – бедные (мезоолиготрофные и мезотрофные) осоково-моховые топи атмосферного и смешанного питания; 5 – богатые гипновые топи грунтового питания; 6 – лесные болота (согры); 7 – мезоэвтрофные травяные (крупноосоковые, тростниковые) пойменные болота и займища. Два типа болотных экосистем – рямы и бедные осоково-моховые топи – разделяются на подтипы (Табл. 2).

Таблица 2. Обобщенные типы болотных экосистем и их распространение в Западной Сибири

Обобщенные типы болот и болотных участков	Т	СТ/ЛТ	СрТ	ЮТ	ЛС/С
1. Мерзлые торфяные бугры и валики					
2. Рямы (сосново-кустарничково-сфагновые)					
2.1. Рослые рямы		Сев. рям			
2.2. Типичные рямы и рямовые гряды					+
3. Омбротрофные мочажины и сфагновые топи					
4. Бедные осоково-моховые топи:					
4.1. МО осоково-сфагновые топи					
4.2. М осоково-болотнотравно-сфагновые топи					
4.3. М Осоково-гипновые топи					
5. Богатые гипновые топи			+		
6. Лесные болота (согры)		+			+
7. Травяные пойменные болота и займища	+	+	+	+	

Примечание. Биоклиматические зоны и соответствующие им болотные зоны, выделенные по преобладающим типам болот: Т – тундра (зона полигональных болот), СТ/ЛТ – северная тайга и лесотундра (зона бугристых болот), СрТ – средняя тайга (зона сфагновых выпуклых болот), ЮТ – южная тайга, включая зону подтайги или березово-осиновых лесов (зона плоских гипновых и лесных болот), ЛС/С – лесостепь и степь (зона вогнутых травяных болот).

МО – мезоолиготрофные, М – мезотрофные. Сев. рям – слабо залесенные сосной с участием кедра сибирского олиготрофные кустарничково-(лишайниково)-сфагновые болота, замещающие в северной тайге рослый и типичный рям, которые распространены в подзонах южной и средней тайги.

Так на карте болот лесной зоны Западной Сибири, где торфяные болота покрывают около 50 % территории (Terentiev et al., 2016), рямы (сосново-кустарничково-сфагновые биогеоценозы) и рямовые гряды (bogs) занимают в северной, средней и южной тайге 24, 46 и 42% от всей площади болот в этих подзонах. На олиготрофные (омбротрофные) топи и мочажины (extremely poor fens) верховых болот приходится 43, 37 и 20 % соответственно. Бедные, умеренно богатые и богатые элементами минерального питания осоково-сфагновые и осоково-гипновые топи (fens) переходных и

низинных болот особенно заметны на юге лесной зоны, где они занимают до 35 % площади болот, в том время как в средней и северной тайге всего 8 и 7 %. Таким образом изучением углеродного баланса болотных экосистем Западной Сибири с большей или меньшей повторностью достаточно охватить 15-20 основных типов биогеоценозов, организовав определение запасов и мониторинг потоков парниковых газов и растворенного углерода на 5-6 стационарных полигонах, где будут представлены репрезентативные типы болот.

Предложенная классификация болот базируется на общих характеристиках ландшафтной структуры, растительности, условиях водно-минерального питания, что отражается в физиономическом облике болот. Кроме того, оказалось, что выделенные типы болот хорошо соотносятся и соответствуют основным флороценотическим комплексам болотных ландшафтов, установленных независимо по результатам статистической обработки описаний болотной растительности (Lapshina, 2003).

Мерзлые торфяные бугры, рямы и омбротрофные сфагновые топи связаны в своем развитии исключительно с атмосферными осадками крайне бедными элементами минерального питания. При этом они резко различаются по условиям увлажнения: от насыщенных водой топких сфагновых ковров и сплавин до относительно сухих условий рямов, бугров и гряд, где глубина залегания воды (мерзлоты) варьирует от 20 до 70 см.

Бедные осоково-моховые топи характеризуются смешанным питанием атмосферными и поверхностно-сточными водами с большим или меньшим участием грунтовых вод. Даже в случаях, где питание на верховых болотах осуществляется преимущественно атмосферными водами (мезоолиготрофные осоково-сфагновые топи), их слабая проточность обеспечивает более благоприятные условия минерального питания растений, что сказывается на продуктивности растительных сообществ и общем облике ландшафтов. В зависимости от доли участия в питании болот различных по богатству грунтовых вод выделяются осоково-болотнотравно-сфагновые и осоково-гипновые топи, хорошо отграниченные друг от друга и предыдущей группы по флористическому составу и набору растительных сообществ, но сходные по продуктивности.

Богатые осоково-гипновые топи получают дополнительное минеральное питание за счет выклинивания грунтовых вод нередко напорного характера, богатых карбонатами и другими обменными основаниями. Богатые гипновые топи резко выделяются среди всех других топей своим флористическим составом и локализацией в пределах речных долин.

Не все типы и подтипы торфяных болот представлены во всех биоклиматических зонах. В одних случаях это определяется исключительно климатическими факторами. Например, мерзлые торфяные бугры (*palsas*) в составе плоскобугристых комплексов являются характерной (неотъемлемой) чертой междуречных равнин и речных террас в южных тундрах и лесотундре. Они далеко проникают на север лесной зоны Западной Сибири, но полностью отсутствуют в средней и южной тайге. Наличие мерзлых бугров и мерзлых гряд является одним из наглядных дополнительных отличий между подзонами средней и северной тайги.

В других случаях отсутствие каких-либо типов болот в той или иной зоне (подзоне) объясняется главным образом геолого-литологическими причинами и историей развития территории и природы в голоцене и лишь косвенно обусловлено климатом преимущественно былых эпох. Так, например, в Западной Сибири развитие и распространение богатых осоково-гипновых топей в долинах рек и менее богатых осоково-гипновых топей на водоразделах в пределах южной тайги и подтайги обусловлено широким распространением в южной части Западно-Сибирской равнины карбонатных суглинков, перекрывающих обширные поверхности междуречных пространств и древних речных террас. Содержание карбонатов в почвообразующих породах уменьшается к северу по мере увеличения количества осадков. Соответственно осоково-гипновые болота практически полностью исчезают в средней и северной тайге и вновь появляются в виде умеренно богатых осоково-гипновых топей на болотах тундровой зоны как результат меньшей выщелоченности грунтов.

Типичные согры также развиваются в сравнительно богатых условиях минерального питания, как правило, безнапорными грунтовыми водами. Они наиболее характерны для южной тайги и подтайги, регулярно встречаются в средней тайге и постепенно исчезают в северной тайге.

Некоторые типы торфяных болот в направлении с юга на север замещаются иными близкими типами. Так, рослый рям и рям в их типичном виде характерны и широко распространены в подзонах южной и средней тайги. На севере в соответствующих условиях развиваются слабозалесенные сосной с участием кедра сибирского олиготрофные кустарничково-(лишайниково)-сфагновые болота,

получившие название северного рьяма. Они сходны по флористическому составу (если не считать более заметное участие напочвенных лишайников) с рослым рьямом в более южных подзонах тайги, но физиономически из-за низкорослого древостоя напоминающие среднетаежные рьямы.

В данной классификационной схеме не рассматриваются некоторые типы торфяных болот, занимающие везде крайне незначительные площади, например, ключевые болота. Такие типы болот не представляется возможным выявлять на обзорных космических снимках среднего масштаба, используя стандартные приемы дешифрирования, в силу их ограниченной площади.

Эта классификационная схема не включает также некоторые типы торфяных болот, занимающие сравнительно небольшие в Западной Сибири площади, например, безлесные олиготрофные кустарничково-сфагновые верховые болота (bogs) и мезоолиготрофные кустарничково-сфагновые и кустарничково-осоково-сфагновые гряды и ковры аапа болот, которые сочетаются с осоковыми и вахтово-осоковыми обводненными мочажинами со слабо развитым или отсутствующим моховым покровом.

Между тем аапа болота широко распространены в подзоне северной тайги, а кустарничково-сфагновые болота безлесные или с редким ярусом сосны – по всей лесной зоне европейской части России. Свои особенности имеют и болота Средней и Восточной Сибири и Дальнего Востока. Это связано с тем, что природные условия и набор биоклиматических зон меняется по мере изменения континентальности климата при продвижении с запада на восток (Shumilova, 1962; Ogureeva, 1991; Yurkovskaya, 2010), соответственно меняется физиономический облик болот, исчезают одни и появляются новые их типы. Для выявления основных типологических единиц болотных ландшафтов в масштабе всей страны необходимо составление классификационных схем обобщенных типов болот во всех других меридиональных секторах территории России: восточноевропейском, восточносибирском и дальневосточном.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации» № 123030300031-6 при финансовой поддержке гранта Правительства Тюменской области программы Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня (национальный проект «Наука»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Aleksandrova V.D. 1962. Aboveground and underground mass of plants in communities of different subzones of the Arctic. In: *Biological foundations of the use of nature of the North*, pp. 13-19, . Syktyvkar (in Russian). [Александрова В. Д. 1962. Надземная и подземная масса растений в сообществах разных подзон Арктики // Биологические основы использования природы Севера. Сыктывкар. С. 13-19.].

Aleksandrova V.D. 1971. Presentation of the draft unification of terms in the doctrine of the biosphere and biogeocenosis. In: *The next tasks of biogeocenology and the results of the work of biogeocenological field stations*, pp. 44-57, Part I, Leningrad (in Russian). [Александрова В.Д. 1971. Представление проекта унификации терминов в учении о биосфере и биогеоценозе // Очередные задачи биогеоценологии и итоги работ биогеоценологических стационаров. Ч. I, - Л.: Наука. С. 44-57.].

Bellen S. van, Larivière V. 2020. The ecosystem of peatland research: a bibliometric analysis. *Mires and peat*, 26 (15), 30. <https://doi.org/10.19189/MaP.2020.RSC.StA.1977>.

Berg L.S. 1945. Facies, geographical aspects and geographical zones. *News of the All-union Geographical Society*, 77(3): 162-164 (in Russian). [Берг Л.С. 1945. Фации, географические аспекты и географические зоны // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. Т. 77. Вып. 3. С. 162-164].

Boch M.S., Smagin V.A. 1993. *Flora and vegetation of the mire of the North-West of Russia and the principles of their protection*. Hydrometeoizdat, St. Petersburg. 225 pp. (in Russian). [Боч М.С., Смагин В.А. 1993. Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны. СПб: Гидрометеоиздат. 225 с.].

Bogdanovskaja-Guihéneuf I.D. 1969. The patterns of oligotrophic peat bogs formation illustrated by the Polistovo-Lovatsk massif. *Nauka, Leningrad*. 186 pp. (in Russian). [Богдановская-Гиенэф И.Д. 1969. Закономерности формирования сфагновых болот верхового типа на примере Полистово-Ловатского массива. Л.: Наука. 186 с.].

- Bogdanowskaya-Guihéneuf I.D. 1946. About some basic issues of mire science. *Botanicheskiy zhurnal*, 31(2): 33-44 (in Russian). [Богдановская-Гиенэф И.Д. 1946. О некоторых основных вопросах болотоведения // Ботан. журн. Т. 31. № 2. С. 33-44.].
- Bolshoe Vasyuganskoe boloto (Big Vasyugan mire): Current state and development processes. 2002. (M.V. Kabanov ed.). *Publishing House of the Institute of Atmospheric Optics SB RAS*, Tomsk. 230 pp. (in Russian). [Большое Васюганское болото: Современное состояние и процессы развития. 2002. / Под общ.ред. М. В. Кабанова. Томск: Изд-во Института оптики атмосферы СОРАН. 230 с.].
- Botch M.S., Mazing V.V. 1979. *Ecosystems of USSR mires*. Nauka, Leningrad, 187 pp. (in Russian). [Боч М.С., Мазинг В.В. 1979. Экосистемы болот СССР. Л.: Наука. 187 с.].
- Carbon regulation in the Russian Federation. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. 2023. 20 pp. (in Russian). [Углеродное регулирование в Российской Федерации. Министерство экономического развития РФ. 2023. 20 с.].
- Dreux Ph. 1976. *Ecology*. Atomizdat, Moscow. 168 pp. (in Russian). [Дрѐ Ф. Экология. 1976. Пер. с французского В.В. Алпатов. М.: Атомиздат, 165 с.].
- Duvigneaud P., Tanghe M. 1973. *Ecosystems et biosphere*. Progress, Moscow. 268 pp. (in Russian). [Дювиньо П., Танг М. 1973. Биосфера и место в ней человека: (Экологические системы и биосфера). Пер. с фр. П. М. Рафеса; Под ред. А. Н. Формозова; Послесл. Ю. К. Ефремова. - Москва: Прогресс, 268 с.].
- Dylis N.V. 1969. *Forest biogeocenosis structure*. (Komarov Readings, XXI). Nauka, Moscow, 56 pp. (in Russian). [Дылис Н.В. 1969. Структура лесного биогеоценоза. (Комаровские чтения, XXI). М.: Наука. 56 с.].
- Dyukarev E., Zarov E., Alekseychik P., Nijp J., Filippova N., Mammarella I., Lapshina E. 2021. The multiscale monitoring of peatland ecosystem carbon cycling in the middle taiga zone of Western Siberia: The Mukhrino bog case study. *Land*, 10(8), 824. <https://doi.org/10.3390/land10080824>
- Elina G.A. 1968. *Vegetation, bog facies and development history of the southeastern Pribelomorje mires*. Abstract dis. cand. biol. sciences. Petrozavodsk. 25 pp. (in Russian). [Елина Г.А. 1968. Растительность, болотные фации и история развития болот юго-восточного Прибеломорья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск. 25 с.].
- Elina G.A. 1974. Types of mire massifs of Northern Karelia. In: *Types of mires of the USSR and the principles of their classification*, pp. 69-77, Nauka, Leningrad (in Russian). [Елина Г.А. 1974. Типы болотных массивов Северной Карелии // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука, С.69-77.].
- Eurola S., Hicks S., Kaakinen E. 1984. Key to Finnish mire types. In: *European mires*, pp. 11-117. London, 1.
- Galanina O.V. 2004. *Sphagnum bog vegetation and its mapping in the southwest taiga region*. Abstract dis. cand. biol. sciences. St. Petersburg. 26 pp. (in Russian). [Галанина О.В. 2004. Растительность сфагновых болот и ее картографирование на юго-западе таежной области: Автореф. дис.... канд. биол. наук. СПб. 26 с.].
- Galkina E.A. 1946. Mire landscapes and the principles of their classification. In: *Paper collection of the BIN of the USSR Academy of Sciences, performed in Leningrad for three years of World War II (1941-1943)*, pp. 139-156, Moscow; Leningrad (in Russian). [Галкина Е.А. Болотные ландшафты и принципы их классификации // Сборник работ БИН АН СССР, выполненных в Ленинграде за три года Великой Отечественной войны (1941-1943). М.: Л., 1946. С. 139-156].
- Galkina E.A. 1955. Mire landscapes of the forest area. *Geograficheskiy sbornik*, 7:75-84 (in Russian). [Галкина Е.А. 1955. Болотные ландшафты лесной зоны. Географический сборник. № 7. С. 75-84].
- Galkina E.A. 1959. Mire landscapes of Karelia and principles of their classification. In: *Torfyanые болота Karelii. Peatlands of Karelia*, pp. 3-48, Gosizdat Karelskoy ASSR, Petrozavodsk (in Russian). [Галкина Е.А. 1959. Болотные ландшафты Карелии и принципы их классификации // Торфяные болота Карелии. Петрозаводск: Госиздат Карельской АССР. С. 3-48.].
- Galkina E.A. 1962. Features of mapping the vegetation covers of mires massifs. (Using aerial photography materials). Moscow-Leningrad. In: *Principles and methods of geobotanical mapping*, pp. 121-130, Moscow-Leningrad (in Russian). [Галкина Е.А. 1962. Особенности картирования растительного покрова болотных массивов. (С применением материалов аэрофотосъемки) // Принципы и методы геоботанического картографирования. Москва-Ленинград. С. 121-130].
- Galkina E.A. 1964. Methods of using aerial photographs for typing and mapping mire areas. In: *Mires and wetlands of Karelia*, pp. 5-24, Petrozavodsk (in Russian). [Галкина Е.А. Методы использования аэрофотоснимков для типизации и картирования болотных массивов // Болота и заболоченные земли Карелии. Петрозаводск. С. 5-24].
- Galkina E.A. 1966. Significance of aerial photography for the establishment of mire stratigraphic units. *Doklady komissii aeros'yomki i fotogrammetrii*, 2. Leningrad, Geograficheskoe obshchestvo SSSR, pp. 87-96. (in Russian). [Галкина Е.А. 1966. Значение аэрофотосъемки для установления болотных стратиграфических единиц // Доклады комиссии аэросъемки и фотограмметрии. Вып. 2. Л.: Географическое общество СССР. С. 87-96].
- Galkina E.A. 1984. Territorial units of peatlands and the approach to their classification. *Materials of the VII All-Union Workshop of Mire Science*. Kalinin, pp. 11-18. (in Russian). [Галкина Е.А. 1984. Территориальные единицы торфяников и подход к их классификации // Материалы VII Всесоюз. совещ. по болотоведению. Калинин. С. 11-18].
- Galkina E.A., Abramova T.G., Kiryushkin V.P. 1974. Principles of typology of mire massifs. In: *Types of mire of the USSR and the principles of their classification*, pp. 28-35, Nauka, Leningrad (in Russian). [Галкина Е.А., Абрамова Т.Г., Кирюшкин В.П. 1974. Принципы типологии болотных массивов // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука. С. 28-35].
- Glebov F.Z. 1969. *Mire and swampy forests in the forest zone of the Yenisei left bank*. Nauka, Moscow, 132 pp. (in Russian). [Глебов Ф.З. 1969. Болота и заболоченные леса лесной зоны Енисейского левобережья. М.: Наука. 132 с.].
- Glebov F.Z., Gorozhankina S.M., Kireev D.M., Karpenko L.V. 1978. Experience in studying the structure and genesis of forest-swamp complexes. In: *Features of forest-swamp ecosystems in Western Siberia*. Krasnoyarsk, pp. 14-95 (in Russian). [Глебов Ф.З., Горожанкина С.М., Киреев Д.М., Карпенко Л.В. 1978. Опыт изучения структуры и генезиса лесоболотных комплексов // Особенности лесоболотных экосистем Западной Сибири. Красноярск. С. 14-95].

- Goldin D.I. 1976. Development of drainage work in the Tomsk region. In: *Theory and practice of forest mire science and hydroforestry*, pp. 113-119, Krasnoyarsk (in Russian). [Гольдин Д.И. 1976. Развитие осушительных работ в Томской области // Теория и практика лесного болотоведения и гидроресомелиорации. Красноярск. С. 113–119].
- Golovatskaya E.A., Veretennikova E.E., Dyukarev E.A. 2024. Greenhouse gas fluxes and carbon sequestration in the oligotrophic peat soils of southern taiga in Western Siberia. *Eurasian Soil Science*, 57(2): 210-219. <https://doi.org/10.1134/S1064229323602871>
- Gounand I., Little C.J., Harvey E., Altermatt F. 2018. Cross-ecosystem carbon flows connecting ecosystems worldwide. *Nature Communications* 9(1): 4825. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07238-2>
- Ivanov I.K. (ed.) 1976. *Bogs of Western Siberia, their structure and hydrological regime*. Hydrometeoizdat, Leningrad. 447 pp.
- Ivchenko T.G. 2019. *Mire vegetation of the Southern Ural region (within the Chelyabinsk Province)*. Diss.... Dr. Biol. Sciences. St. Petersburg. 476 pp. (in Russian). [Ивченко Т. Г. 2019. Растительность болот Южно-Уральского региона (в пределах Челябинской области): Дисс. ... д-ра биол. наук. Санкт-Петербург. 476 с.].
- Kats N.Ya. 1941. *Mires and peatlands*. Uchpedgiz, Moscow, 400 pp. (in Russian). [Кац Н.Я. 1941. Болота и торфяники. М.: Учпедгиз. 399 с.].
- Kats N.Ya. 1948. *Mire types of the USSR and Western Europe and their geographical distribution*. Geographics, Moscow, 319 pp. (in Russian). [Кац Н.Я. 1948. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М.: Географгиз. 319 с.].
- Kats N.Ya. 1971. *Mires of the world*. Nauka, Moscow, 295 pp. (in Russian). [Кац Н.Я. 1971. Болота земного шара. М.: Наука. 295 с.].
- Kaule G. 1976. Voraussetzungen und Massnahmen zur Erhaltung geschützter und schützenswerter Moore. *Telma* 6: 211-217.
- Korchagin A.A. 1976. Structure of plant communities. In: *Field geobotany. Issue 5*, pp. 7-320. Nauka, Leningrad (in Russian). [Корчагин А.А. 1976. Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. Л. Т. 5. С. 7-320].
- Kudeyarov V.N. 2015. The current state of the carbon balance and the ultimate ability of soils to absorb carbon in Russia. *Soil science*, 9: 1049-1049 (in Russian). [Кудеяров В.Н. 2015. Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // Почвоведение. № 9. С. 1049-1049]. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15090087>
- Kuznetsov O.L. 2023. Main directions and results of research by the Karelian school of mire science. *Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 3: 47-75. (in Russian). [Кузнецов О.Л. 2023. Основные направления и результаты исследований карельской научной школы болотоведения // Труды Карельского научного центра РАН. № 3. С. 47-75]. <https://doi.org/10.17076/eco1771>
- L'vov Yu.A. 1974. Methodical materials for the typology and classification of the Tomsk Province mires. In: *Mire types of the USSR and principles their classification*, pp. 188-194, Nauka, Leningrad (in Russian). [Львов Ю.А. 1974. Методические материалы к типологии и классификации болот Томской области // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука. С. 188-194].
- L'vov Yu.A. 1977. Peat bog as a system of bog facies. *Doklady vysshey shkoly. Biologicheskije nauki*, 9: 97-103 (in Russian). [Львов Ю.А. 1977. Торфяное болото как система болотных фаций // Докл. высш. школы. Биол. науки. № 9. С. 97-102].
- L'vov Yu.A. 1979. Biogeocenology. In: *Ecology, biogeocenology and nature protection* (B.G. Joganzen ed.). Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, Tomsk, pp. 96-172 (in Russian). [Львов Ю.А. 1979. Биогеоценология // Экология, биогеоценология и охрана природы / под ред. Б.Г. Иоганзена. Томск: Изд-во Том. ун-та. С. 96-172].
- L'vov Yu.A. 1995. Theoretical and methodological prerequisites for landscape environmental research. In: *Readings in memory of Yu.A. L'vov*, pp. 96-106, Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, Tomsk (in Russian). [Львов Ю.А. 1995. Теоретические и методологические предпосылки ландшафтно-экологических исследований // Чтения памяти Ю.А. Львова. Томск: Изд-во Том. ун-та. С. 96-106.].
- Lapshina E.D. 1987. *The structure and dynamics of the floodplain mires of the Ob River (in the south of the Tomsk Province)*: Dis. cand. biol. sciences. Tomsk, 282 pp. (in Russian). [Лапшина Е.Д. 1987. Структура и динамика болот поймы реки Оби (на юге Томской области): Дис. ... канд. биол. наук. Томск. 282 с.].
- Lapshina E.D. 2000. Biogeocenotic and landscape-ecological studies of the mire cover of the forest zone of Western Siberia. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 5: 599-606. (in Russian). [Лапшина Е.Д. Биогеоценологические и ландшафтно-экологические исследования болотного покрова лесной зоны Западной Сибири // Сиб. экол. журн. 2000. № 5. С. 599–606].
- Lapshina E.D. 2003. *Flora of mire in the southeast of Western Siberia*. Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, Tomsk, pp. 294 (in Russian). [Лапшина Е.Д. 2003. Флора болот юго-востока Западной Сибири. Томск: Изд-во Том. ун-та. 294 с.].
- Lapshina E.D. 2004. *Peatlands of the southeast of Western Siberia (botanical diversity, history of development and dynamics of carbon accumulation in the Holocene)*: Dis. ... dr. biol. sciences. Tomsk, 436 pp. (in Russian). [Лапшина Е.Д. 2004. Болота юго-востока Западной Сибири (ботаническое разнообразие, история развития и динамика накопления углерода в голоцене): Дис. ... д-ра биол. наук. Томск. 436 с.].
- Lapshina E.D. 2010. *Vegetation of mire in the southeast of Western Siberia*. Izdatel'stvo Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta, Novosibirsk, 186 pp. (in Russian). [Лапшина Е.Д. 2010. Растительность болот юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во НГУ. 186 с.].
- Lavrenko E.M. 1959 Plant community (phytocenosis) and plant relationships in it. In: *Field geobotany*, Issue 1, pp. 16-75. *Publishing House of the USSR Academy of Sciences*, Moscow (in Russian). [Лавренко Е. М. 1959. Растительное сообщество (фитоценоз) и взаимоотношения растений в нем // Полевая геоботаника. М.: Изд-во АН СССР. Т. 1. С. 16-75].
- Lindsay R. 2016. *Peatland Classification*. In: Finlayson, C., et al. *The Wetland Book*. Springer, Dordrecht. pp. 1515-1528.

Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Yu., Shvedchikova N.K. 2001. *Bog systems of Western Siberia and their nature conservation value* (V.B. Kuvaev, ed.), Grif i K°, Tula, 584 pp. (in Russian). [Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слукa З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. 2001. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / под ред. В.Б. Куваева. Тула: Гриф и К°. 584 с.]

Liss O.L., Berezina N.A. 1981. *Mires of the West Siberian plain*. Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, Moscow, 204 pp. (in Russian). [Лисс О.Л., Березина Н.А. 1981. Болота Западной Сибири. М.: Изд-во Моск. ун-та. 204 с.]

Loisel J., Gallego-Sala A.V., Amesbury M.J., Magnan G., Anshari G., Beilman D.W., Wu J. 2021. Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature climate change*, 11(1): 70-77. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00944-0>

Lopatin V.D. 1949. Outline of the vegetation of the Gladkoe mire. *Uchenye zapiski Leningradskogo universiteta. Seriya geograficheskikh nauk*, 5 (104): 152-174. (in Russian). [Лопатин В.Д. 1949. Очерк растительности Гладкого болота // Учен. зап. ЛГУ. Сер. геогр. Наук. Вып. 5. № 104. С. 152-174].

Lopatin V.D. 1954. "Gladkoe" mire (peat deposit and bog facies). *Uchenye zapiski Leningradskogo universiteta. Seriya geograficheskikh nauk*, 9: 95-181. (in Russian). [Лопатин В.Д. 1954. «Гладкое» болото (торфяная залежь и болотные фации) // Уч. зап. Лен. ун-та. Сер. геогр. наук. № 9. С. 95-181].

Lopatin V.D. 1958. Microcomplexity of vegetation cover. *Message Sakhalin complex scientific-research Institute. Sib. dep. USSR Academy of Sciences*, Issue 6, Yuzhno-Sakhalinsk, 16 pp. (in Russian). [Лопатин В. Д. 1958. О микрокомплексообразности растительного покрова. Сообщ. Сахалинск. комплексн. научн.-иссл. инст. Сиб. отд. АН СССР. Вып. 6, Южно-Сахалинск. 16 с.]

Lourence M., Fitchett J.M., Woodborne S. 2023. Peat definitions: A critical review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 47(4): 506-520. <https://doi.org/10.1177/03091333221118353>

Mahdavi S., Salehi B., Granger J., Amani M., Brisco B., Huang W. 2018. Remote sensing for wetland classification: A comprehensive review. *GIScience & remote sensing*, 55(5): 623-658. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1419602>

Masing V.V. 1969. *Theoretical and methodological issues in studying vegetation structure*. A report on published works submitted for defense instead of a dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences, Tartu, 96 pp. (in Russian). [Мазинг В.В. 1969. Теоретические и методические проблемы изучения структуры растительности. Доклад по опубликованным работам, представляемым к защите вместо дис. на соиск. учен. степ. доктора биол. наук. Тарту, 96 с.]

Masing V.V. 1974. Actual problems of classification and terminology in mire science. In: *Types of mire of the USSR and the principles of their classification*, pp. 6-12, Nauka, Leningrad (in Russian). [Мазинг В.В. 1974. Актуальные проблемы классификации и терминологии в болотоведении // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука. С. 6–12.]

Masing V.V. 1988. Structural levels of vegetation cover. *Uchenye zapiski Tartuskogo Universiteta*, 812: 122-141 (in Russian). [Мазинг В.В. 1988. Структурные уровни растительного покрова // Уч. зап. Тартуск. ун-та. Вып. 812. С. 122-141].

Masing V.V. 1993. Diversity of objects and multiple classifications of vegetation in mire science. In: *Issues of classification of mire vegetation*, pp. 13-19, Nauka, St. Petersburg (in Russian). [Мазинг В.В. 1993. Разнокачественность объектов и множественность классификаций растительности в болотоведении // Вопросы классификации болотной растительности. СПб.: Наука. С. 13-19.]

Masing V.V. 1994. Structural organization of mires. *Chteniya pamyati V.N. Sukachyova: XI. Biogeotsenoticheskiye osobennosti bolot i ikh ratsional'noye ispol'zovaniye*. Nauka, Moscow, pp. 38–60 (in Russian) [Мазинг В.В. Структурная организация болот // Биогеоценоотические особенности болот и их рациональное использование. Чтения памяти академика В.Н. Сукачева. М.: Наука, 1994. С. 38-60].

Minasny B., Berglund Ö., Connolly J., Hedley C., de Vries F., Gimona A., Kempen B., Kidd D., Lilja H., Malone B., McBratney A., Roudier P., O'Rourke Sh., Rudiyanto, Padarian J., Poggio L., Caten ten A., Thompson D., Tuve C., Widyatmanti W. 2019. Digital mapping of peatlands. A critical review. *Earth-Science Reviews*, 196, pp. 102870. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.05.014>

Minayeva T.Yu., Sirin A.A. 2012. Peatland Biodiversity and Climate Change. *Biology Bulletin Reviews*, 2(2): 164-175 (in Russian). [Минаева, Сирин. Биоразнообразие болот и изменение климата // Успехи современной биологии. 2011. Т.131. № 4. С. 393-406].

Mires and peatlands of Europe. Status, distribution and conservation. 2017. Ed.: Joosten H., Tanneberger F., Moen A. 780 pp.

Nitsenko A.A. 1967. On the terminology of the basic concepts of mire science. *Botanicheskii Zhurnal*, 52(11): 1692-1696 (in Russian). [Ниценко А.А. 1967. О терминологии основных понятий болотоведения // Ботан. журн. Т. 52. № 11. С. 1692-1696.]

Ogureeva G.N. 1991. *Botanical and geographical zoning of the USSR*. Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, Moscow, 80 pp. (in Russian). [Огуреева Г.Н. 1991. Ботанико-географическое районирование СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та. 80 с.]

P'yavchenko N.I. 1958. *Peatlands of the Russian forest-steppe*. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 191 pp. (in Russian). [Пьявченко Н.И. 1958. Торфяники русской лесостепи. М.: Изд-во АН СССР. 191 с.]

P'yavchenko N.I. 1963. *Forest mire science*. Izdatel'stvo AN SSSR Moscow, 192 pp. (in Russian). [Пьявченко Н.И. 1963. Лесное болотоведение. М.: АН СССР. 192 с.]

P'yavchenko N.I. 1972. On the study of mire biogeocenoses. In: *Main principles of mire biogeocenoses study*, pp. 5-13, Nauka, Leningrad (in Russian). [Пьявченко Н.И. 1972. Об изучении болотных биогеоценозов // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. Л.: Наука. С. 5-13.]

- P'yavchenko N.I. 1985. Peat bogs, their natural and economic importance. Nauka, Moscow, 152 pp. (in Russian). [Пьявченко Н.И. 1985. Торфяные болота их природное и хозяйственное значение. М.: Наука. 152 с.]
- Prozorgov Yu.S. 1974. Mire of the Lower Amur lowlands. Nauka, Novosibirsk, 209 pp. (in Russian). [Прозоров Ю.С. 1974. Болота нижнеамурских низменностей. Новосибирск: Наука. 209 с.]
- Qiu C., Zhu D., Ciais P., Guenet B., Peng S. 2020. The role of northern peatlands in the global carbon cycle for the 21st century. *Global Ecology and Biogeography*, 29(5): 956-973. <https://doi.org/10.1111/geb.13081>
- Ramenskiy L.G., Czaczenkin I.A., Chizhikov O.N., Antipov N.A. 1956. Ecological assessment of forage land by vegetation cover. Selkhozgiz, Moscow, 472 pp. (in Russian). [Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипов Н.А. 1956. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз. 472 с.]
- Razvedka torfyanyh mestorozhdenij (Peat Exploration). 1953. Moscow, 705 pp. (in Russian). [Разведка торфяных месторождений. 1953. М. 705 с.]
- Romanova E.A. 1964. Types of mire microlandscapes as indicators of peat types in the upper layers of peat deposits of minerotrophic fens. *Trudy Gosudarstvennogo gidrologicheskogo instituta*, 112: 54-81 (in Russian). [Романова Е.А. 1964. Типы болотных микроландшафтов как показатели видов торфа в верхних слоях торфяной залежи низинных болот // Тр. гос. гидр. ин-та. Вып. 112. С. 54-81].
- Romanova E.A. 1974. Types of mire massifs and patterns of their distribution in Western Siberia. In: *Mire types of the USSR and the principles of their classification*, pp. 167-174, Nauka, Leningrad (in Russian). [Романова Е.А. 1974. Типы болотных массивов и закономерности распределения их на территории Западной Сибири // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука. С. 167-174.]
- Romanova E.A. 1976. Common characteristics of bog landscapes. In: *Bogs of Western Siberia, their structure and hydrological regime*, pp. 19-39, Hydrometeoizdat, Leningrad (in Russian). [Романова Е.А. 1976. Общая характеристика болотных ландшафтов // Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. Л.: Гидрометеоздат. С. 19-39].
- Rubtsov N.I. 1974. Landscape classifications of mire based on terrain features. In: *Mire types of the USSR and the principles of their classification*, pp. 44-50, Nauka, Leningrad (in Russian). [Рубцов Н.И. 1974. Ландшафтные классификации болот на основе признаков рельефа // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука. С. 44-50].
- Semenova N.M., Lapshina E.D. 2001. Description of the West Siberian Plain. In: *Carbon Storage and Atmospheric Exchange by West Siberian Peatlands*, (W. Bleuten, E. Lapshina, eds.), pp. 10-22, Utrecht, Tomsk.
- Shennikov A.P. 1964. *Introduction to geobotany*. Izdatel'stvo Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta, Leningrad, 447 pp. (in Russian). [Шенников А.П. 1964. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ. 447 с.]
- Shirov A.A. 2023. Creation of a system for monitoring and forecasting emissions of climatically active substances in the interests of modernization and development of the Russian economy. *Prediction Problems*, 6: 11-24 (in Russian). [Широв А.А. 2023. Создание системы мониторинга и прогнозирования выбросов климатически активных веществ в интересах модернизации и развития экономики России. Проблемы прогнозирования. № 6. С. 11-24]. <https://doi.org/10.47711/0868-6351-201-11-24>
- Shumilova L.V. 1962. *Botanical geography of Siberia*. Izdatel'stvo Tomskogo Universiteta, Tomsk, 440 pp. (in Russian). [Шумилова Л.В. 1962. Ботаническая география Сибири. Томск: Изд-во Том. ун-та. 440 с.]
- Shvarts S.S. 1973. Evolution and biosphere. In: *Problems of biogeocenology*, pp. 213-228, Nauka, Moscow (in Russian). [Шварц С.С. 1973. Эволюция и биосфера // Проблемы биогеоценологии. М.: Наука. С. 213-228.]
- Sjörs H. 1950. Regional studies in North Swedish mire vegetation. *Bot. Notiser* 1950: 173-222.
- Solntsev N.A. 1949. About the morphology of the natural geographical landscape. *Voprosy geografii*, 16: 61-86 (in Russian). [Солнцев Н.А. 1949. О морфологии природного географического ландшафта // Вопросы географии. Вып. 16. С. 61-86].
- Sukachev V.N. 1964. Basic concepts of forest biocenology. Fundamentals of forest biocenology. Nauka, Moscow, 573 pp. (in Russian). [Сукачев В. Н. 1964. Основные понятия лесной биоценологии. Основы лесной биоценологии. М.: Наука. 573 с.]
- Sukachev V.N. 1972. *Fundamentals of forest typology and biogeocenology*, Selected works. Issue 1, 418 pp, Nauka, Leningrad (in Russian). [Сукачев В.Н. Избранные труды. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. Т. 1. 418 с.]
- Sukachev V.N. 1973. Mire, their formation, development and properties. Selected works. Issue 2. Problems of mire science, paleobotany and paleogeography. Nauka, Leningrad, 97-188 pp. (in Russian). [Сукачев В.Н. 1973. Болота, их образование, развитие и свойства // Избранные труды. Т. 2. Проблемы болотоведения, палеоботаники и палеогеографии. Л.: Наука. С. 97-188].
- Sukachev V.N. 1975. Problems of phytocenology. Selected works. Issues 3 (E.M. Lavrenko, ed.), 543 pp. (in Russian). [Сукачев В.Н. 1975. Избранные труды в трёх томах / под ред. Е.М. Лавренко. Т. 3. Проблемы фитоценологии. 543 с.]
- Tanneberger F., Moen A., Barthelmes A., Lewis E., Miles L., Sirin A., Tegetmeyer C., Joosten H. 2021. Mires in Europe. Regional diversity, condition and protection. *Diversity*, 13(8): 381 <https://doi.org/10.3390/d13080381>
- Terentieva I.E., Glagolev M.V., Lapshina E.D., Sabrekov A.F., Maksyutov S. 2016. Mapping of West Siberian taiga wetland complexes using Landsat imagery: implications for methane emissions. *Biogeosciences*, 13(16): 4615-4626. <https://doi.org/10.5194/bg-13-4615-2016>
- The Water Code of the Russian Federation №. 74-FZ dated June 3, 2006 (as amended on 25.12.2023), Moscow, Kremlin, 42 p. (in Russian). [Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. N 74-ФЗ (ред. от 25.12.2023), Москва, Кремль, 42 с.]
- Titlyanova A.A. 1976. The concept of biogeocenotic processes. In: *Structure, functioning and evolution of biosystems of Baraba geocenoses*, pp. 449-467, Nauka, Novosibirsk (in Russian). [Титлянова А.А. 1976. Понятие биогеоценологических

процессов. В сб.: Структура, функционирование и эволюция систем биогеоценозов Барабы. Новосибирск: Наука. С. 449-467].

Tsinzerling Yu. D. 1938. Mire vegetation. In: *Vegetation in the USSR*. Vol. 1. Izdatel'stvo AN SSSR Moscow-Leningrad, 355-428 pp. (in Russian). [Цинзерлинг Ю.Д. 1938. Растительность болот СССР // Растительность СССР. М.; Л., Т. 1. С. 355-428].

Tyuremnov S.N. 1957. Vegetation cover. In: *Peat deposits of West Siberia*, pp. 30-39, Nedra, Moscow (in Russian). [Тюремнов С.Н. 1957. Растительный покров // Торфяные месторождения Западной Сибири. М.: Недра. С. 30-39].

Usova L.I. 2009. *A practical guide to landscape decoding of aerial photographs of various mire types in Western Siberia*, Nestor-Istoria, St. Petersburg, 80 pp. (in Russian). [Усова Л.И. 2009. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири. СПб.: Нестор-История. 80 с.].

Vinogradova E.A. 1957. Geomorphological types of peat deposits. In: *Peat deposits of Western Siberia*. Nedra, Moscow, 97-114 pp. (in Russian). [Виноградова Е.А. 1957. Геоморфологические типы торфяных месторождений // Торфяные месторождения Западной Сибири. М.: Недра. С.97-114].

Vitt D. H., Short P. 2020. Peatlands. In: *Wetlands and Habitats*, pp. 27-36, CRC Press.

Volkova E.M. 2018. *Mire of the Central Russian Upland: genesis, structural and functional features and environmental significance*: Dis. Dr. biol. sciences. Tula. 453 pp. (in Russian). [Волкова Е.М. 2018. Болота Среднерусской возвышенности: генезис, структурно-функциональные особенности и природоохранное значение: Дис. ... д-ра биол. наук. Тула. 453 с.].

Vompersky S.E., Sirin A.A., Sal'nikov A.A., Tsyganova O.P., Valyaeva N.A. 2011. Estimation of forest cover extent over peatlands and paludified shallow-peat lands in Russia. *Contemporary Problems of Ecology*, 4: 734-741. <https://doi.org/10.1134/S1995425511070058>

Warner B.G., Rubec C.D.A. (eds.). 1997. *The Canadian Wetland Classification System*, 2nd Edition. National Wetlands Working Group, Wetlands Research Centre, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canada. 68 pp.

Wells DE, Zoltai S. 1985. Canadian system of wetland classification and its application to circumboreal wetlands. *Aquil. Ser. Bot.* 21: 45-52. <https://doi.org/10.1007/BF00045195>

Wetlands in Russia. 2000. 2. Important peatlands. In: *Wetlands International Global* (Botch M.S., ed.), Issues 2, Moscow. 91 pp.

Yang H., Chae J., Yang A.R., Suwignyo R.A., Choi E. 2023. Trends of Peatland Research Based on Topic Modeling: Toward Sustainable Management under Climate Change. *Forests*, 14(9): 1818. <https://doi.org/10.3390/f14091818>

Yaroshenko P.D. 1961. Geobotany. Basic concepts, directions and methods. Nauka, Moscow, Leningrad, 474 pp. (in Russian). [Ярошенко П.Д. 1961. Геоботаника. Основные понятия, направления и методы. М.; Л.: Наука., 474 с.].

Yu Z., Loisel J., Brosseau D.P., Beilman D.W., Hunt S.J. 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophys. Res. Lett.*, 37: L13402. <https://doi.org/10.1029/2010GL043584>

Yurkovskaya T.K. 1969. On undulating-plain mire systems in northern Karelia. *Botanicheskii Zhurnal*, 54(5): 706-711. (in Russian). [Юрковская Т. К. 1969. О болотных системах волнистых равнин северной Карелии // Ботанический журнал. 1969. Т. 54, № 5. С. 706-711].

Yurkovskaya T.K. 1974. Types of mire areas on the overview map of the vegetation cover of the forest zone of the European part of the USSR. In: *Mire types of the USSR and the principles of their classification*, pp. 57-62, Nauka, Leningrad (in Russian). [Юрковская Т.К. 1974. Типы болотных массивов на обзорной карте растительного покрова лесной зоны европейской части СССР // Типы болот СССР и принципы их классификации. Л.: Наука. С. 57-62].

Yurkovskaya T.K. 1975. Geography of vegetation cover of types of mire massifs of the European part of the USSR. *Botanicheskii Zhurnal*, 60(9): 1251-1264 (in Russian). [Юрковская Т.К. 1975. География растительного покрова типов болотных массивов европейской части СССР // Ботан. журн. Т. 60. № 9. С. 1251-1264].

Yurkovskaya T.K. 1988. Vegetation mapping of mire systems. *Geobotanical mapping*. Nauka, Leningrad. pp. 13-28. [Юрковская Т.К. 1988. Картографирование растительности болотных систем // Геоботаническое картографирование. Ленинград, Наука. С. 13-28].

Yurkovskaya T.K. 1992. *Geography and cartography of mire vegetation in European Russia and adjacent territories*. BIN RAN, St. Petersburg: 256 pp. (in Russian). [Юрковская Т.К. 1992. География и картография растительности болот Европейской России и сопредельных территорий. СПб.: БИНРАН. 256 с.].

Yurkovskaya T.K. 2010. Meridional zoning and latitudinal differentiation of mire vegetation. In: *Russia's mires research directions in modern mires science of Russia*, pp. 165-178, St. Petersburg (in Russian). [Меридиональная зональность и широтная дифференциация растительности болот России // Направления исследований в современном болотоведении России. Санкт-Петербург. С. 165-178].

Приложение. ТИПОЛОГИЯ БОЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Таблица П1. Сравнительная характеристика болотных зон Западной Сибири (по Е.А. Романовой, 1976 с дополнениями).

Болотные зоны	Зональные типы болот и их растительность	Общая площадь болот (%)	Мощность торфа (м) <u>типично</u> <u>редко</u>	Гидрологическая зона Осадки/ поверхностный сток /испарение (мм год ⁻¹)	Минеральные грунты
Полигональных болот	Полигонально-валиковые комплексы с осоково-пушицевыми полигонами и кустарничковыми группировками на валиках	40–50	<u>0,1–0,5</u> 1,0–1,5 (3,0)	Избыточного увлажнения 480/250/230	мерзлые
Бугристых болот (северная часть)	Плоскобугристые болота с кустарничково-лишайниково-сфагновыми сообществами на буграх и осоково-гипново-сфагновыми в мочажинах	50	<u>0,25–0,30</u> (на буграх) <u>1,5–2,5</u> (в мочажинах) 2,5–4,0	Избыточного увлажнения 550/260/290	преимущественно мерзлые
Бугристых болот (южная часть)	Крупнобугристые болота с кустарничково-лишайниково-сфагновыми буграми и осоково-пушицево-сфагновыми топиями и мочажинами	>50	<u>1,0–2,5</u> 4,0–5,0	Избыточного увлажнения 600/280/320	локально мерзлые
Выпуклых олиготрофных (сфагновых) болот	Грядово-озерковые и грядово-мочажинные комплексы с сосново-кустарничково-сфагновыми грядами и осоково-сфагновыми мочажинами	40–60 и более	<u>3,5–4,0</u> 6,0–7,0 (10,0)	Избыточного увлажнения 590/200/390	Талые
Плоских ев- и мезотрофных (осоково-гипновых и лесных) болот	Осоково-гипновые и лесные топи в сочетании с олиготрофными сосново-кустарничково-сфагновыми и переходными болотами	20	<u>2,0–3,0</u> 5,0–7,0 в рямах	Переменного увлажнения 510/190/420	Талые
Вогнутых евтрофных (осоково-тростниковых) и засоленных (травяных) болот	Осоково-тростниковые «займища» с островами сосново-кустарничково-сфагновых рямов	5 (до 25 в северной части)	1,0–1,5	Недостаточного увлажнения 390/<10/380	Засоленные

Таблица П2. Ландшафтно-гидрологические типы болот лесной зоны Западной Сибири.

<p>ТОПОГЕННЫЕ БОЛОТА (TOPOGENOUS PEATLANDS) Болотные ландшафты, в которых высокий уровень вод поддерживается вследствие затрудненного дренажа поступающих в болото вод. Источником водного питания могут служить атмосферные осадки, поверхностно-сточные воды, полые воды реки и грунтовые воды. Затрудненный дренаж вызывается, как правило, топографическими причинами (расположением болотного массива в депрессиях рельефа), но может также быть обусловлен высоким уровнем стояния воды в реке или на прилегающих суходолах, вследствие высокого уровня грунтовых вод (непроницаемость почв, отсутствие стока, превышение осадков над испарением).</p>	
<p>БОЛОТАРЕЧНОГО ПИТАНИЯ</p>	
<p>БОЛОТА АЛЛЮВИАЛЬНО-РЕЧНОГО ПИТАНИЯ (ALLUVIAL PEATLANDS) – обеспечиваются влагой за счет более или менее регулярного заливания полыми водами. В типичном виде они представлены только в пределах центральных частей пойм крупных рек, полностью изолированных от склонов террас протоками и минеральными гривами. Нередко они развиваются в виде более или менее широкой полосы, окаймляя по периферии со стороны реки притеррасные болота высокой поймы (древних меандр) или залегают в притеррасной пойме в условиях регулярного заливания аллювиальными водами речных проток.</p>	
<p><i>Торфянистые луга</i></p>	<p>Высоко продуктивные осоково-вейниково-тростниковые гидроморфные луга в обширных плоских депрессиях низких уровней пойм крупных рек с постоянно высоким уровнем воды у поверхности почвы или несколько выше; поверхность более или менее ровная.</p>
<p><i>Аллювиальные кочкарноосочники</i></p>	<p>Занимают низкие уровни пойм с резко выраженной сезонной флуктуацией уровня воды. Полые воды застаиваются здесь длительное время, не имея стока, снижаясь до уровня межкочий лишь к концу вегетационного сезона; поверхность резко кочковатая.</p>
<p><i>Подпорно-аллювиально-болотные согры</i></p>	<p>Развиваются по обращенной к реке периферии крупных притеррасных болот; подвергаются более или менее регулярному воздействию полых вод реки при мощном влиянии влаги, стекающей с поверхности всего болотного массива.</p>
<p><i>Слабо аллювиальные пойменные согры</i></p>	<p>Развиваются более или менее широкими полосами вдоль русел малых рек и ручьев, стекающих с заболоченных водосборов и несущих сравнительно небольшое количество взвешенного аллювия. Питаются грунтовыми, речными и поверхностно-сточными водами.</p>
<p><i>Вторично-прирусловые согры</i></p>	<p>Бывшие лесные болота – согры, сформировавшиеся в притеррасных понижениях на сравнительно глубоком древесном торфе. В результате смещения русла вторично оказавшиеся в зоне прямого влияния реки; регулярно заливаются, но на короткий срок полыми водами.</p>
<p>БОЛОТАГРУНТОВОГОПИТАНИЯ</p>	
<p>БОЛОТА ПРОТОЧНО-ГРУНТОВОГО ПИТАНИЯ (PERCOLATING PEATLANDS) – болота со слегка выраженным уклоном поверхности в сторону реки, питаемые грунтовыми водами, выклинивающимися из-под минерального берега непосредственно в торфяную залежь; широко распространены в пределах древних меандр под крутыми склонами высоких террас и глубоко врезанных долинах малых рек.</p>	
<p><i>Притеррасные лесные болота (притеррасные согры)</i></p>	<p>Болота лесного облика на более или менее плотном торфе, питаются напорными и безнапорными грунтовыми водами, выклинивающимися из-под террас; движение воды ограничено верхним слоем торфяной залежи.</p>
<p><i>Открытые и слабо залесенные притеррасные топи</i></p>	<p>Преимущественно открытые или слабо залесенные болота с насыщенной водой рыхлой торфяной залежью, нередко сплавинного типа; питаются грунтовыми, напорными водами; движение воды осуществляется через большую часть залежи.</p>
<p><i>Притеррасный веретьевый комплекс в вершинах меандр</i></p>	<p>Располагаются на едва заметных склонах притеррасных болот; выделяются ясно выраженным рисунком из низких параллельных или пересекающихся гряд («веретий»), ориентированных в общих чертах поперек уклона поверхности болота.</p>

<p>БОЛОТА ЗАСТОЙНО-ГРУНТОВОГО ПИТАНИЯ (SUMP PEATLANDS) – болота с плоской или слегка вогнутой поверхностью, залегающие обычно в разнообразных по форме и размерам депрессиях рельефа (плоских западинах и более глубоких котловинах), где высокий уровень застойных болотных вод поддерживается в течение всего года или только в первую половину вегетационного сезона. Основным источниками водного питания являются грунтовые воды. В первую половину лета заметную роль играют талые снеговые поверхностно-сточные воды.</p>	
Сезонно застойно-топяные	Преимущественно мелко контурные болота, залегающие в плоских депрессиях рельефа (суффозионных западинах); характеризуются резко переменным режимом увлажнения, за счет застоя талых снеговых и почвенно-грунтовых вод; к концу лета и в сухие годы подсыхают.
Длительно застойно-топяные	Топяные болота на относительно плотном торфе и слабой вертикальной подвижностью поверхности, характеризуется значительными флуктуациями уровня воды и бедностью бриофитами.
Сплавинно застойно-топяные	Топяные болота с рыхлой насыщенной водой или сплавинного типа торфяной залежью с высокой вертикальной мобильностью поверхности; характеризуется постоянством уровня воды в течение вегетационного сезона и хорошо развитым моховым ярусом.
<p>БОЛОТА СМЕШАННОГО ПИТАНИЯ</p>	
<p>БОЛОТА ТОРФЯНО-ПОВЕРХНОСТНО-СТОЧНОГО ПИТАНИЯ (RUN-OFF PEATLANDS) – нередко обширные по площади болота, питающиеся преимущественно торфяно-болотными и поверхностно-сточными водами, стекающими с болот, расположенных на более высоких уровнях рельефа.</p>	
Неограниченные мелкозалежные болота	Более или менее обширные полосы (стадия) современного заболачивания зональных лесов по границе между верховыми водораздельными болотами и суходольными лесами склонов междуречных пространств с мощностью торфяной залежи менее 1 м; обычно слабо отграничены от сезонно переувлажненных и заболоченных лесов на минеральных почвах.
Лесные болота (согры) по окраинам выпуклых болот	Лесные болота (согры) простираются более или менее широкими полосами по окраинам верховых и переходных болот водораздельных равнин.
Периферийные (краевые) топи выпуклых болот (laggs)	Обводненные топи, развивающиеся по периферии крупных или более мелких выпуклых верховых болот на контакте их с примыкающим склоном минерального берега; питаются за счет поверхностно-сточных вод стекающих с болота и суходола; по ним осуществляется сброс болотных вод, нередко сток слабо выражен или отсутствует.
Топи выклинивания	Обширные низинные топи в окружении олиготрофных верховых массивов, связанные с выклиниванием грунтовых вод в торфяную залежь или первичные болотные озера в пределах крупных болотных систем.
Веретьевые комплексы склонов водораздельных болот	Обширные низинные топи комплексного строения. Наиболее обычны для южного макросклона междуречья Оби и Иртыша на юге лесной зоны Западной Сибири; характеризуется узкими, низкими грядами (веретьями), ориентированными поперек уклона поверхности либо образующие кольцевидные структуры в виде ячеек сети.
Анап комплексы	Участки крупных болотных систем со слабо вогнутой поверхностью и латеральным движением болотных вод; ассоциируются с едва наклонными, вытянутыми понижениями поверхности болот, где вторичные озера и мочажины чередуются с узкими грядами, ориентированными поперек основного направления стока болотных вод.
Водосборные топи	Располагаются в нижней части первичных водосборов в пределах крупных болотных систем; питаются главным образом торфяно-болотными и поверхностно-сточными водами, поступающими с прилегающих участков болот; характеризуются слабо проточным режимом увлажнения и сопряжены с истоками вытекающих из болот ручьев.
Транзитные топи	Внутриболотные водотоки (soak ways), по которым осуществляется сброс избыточных болотных вод с поверхности болотных массивов в речную сеть.

СОЛИГЕННЫЕ БОЛОТА (SOLIGENOUS PEATLANDS) – сравнительно редкий тип торфяных болот; встречается в основании относительно крутых склонов древних террас Томи и Оби, а также вдоль склонов глубоко врезуемых долин малых рек и ручьев в пределах предгорных полого-наклонных равнин вдоль юго-восточной окраины Западной Сибири, где постоянно выклинивающиеся грунтовые воды создают переувлажнение поверхности. Эти болота имеют, как правило, маломощный пласт торфа; грунтовые воды выклиниваются непосредственно в торфяную залежь либо стекают по поверхности.	
БОЛОТА КЛЮЧЕВОГО ПИТАНИЯ (SPRING-FED PEATLANDS)– солигенные болота, орошаемые главным образом за счет выклинивания грунтовых вод в виде ключей либо просачивания на поверхность или непосредственно в торфяную залежь.	
Открытые ключевые болота	Поверхность наклонная, нередко слабо вогнутая, примыкающая к основанию склонов; обычно наблюдаются выходы ключей и дренирующие ручейки на поверхности.
Ключевые болота лесного облика	Ключевые болота лесного облика развиваются в местах активного просачивания грунтовых вод; поверхность слегка наклонная, ассоциируются по днищам глубоких логов, истоками и верхними частями глубоко врезуемых долин ручьев.

ОМБРОГЕННЫЕ БОЛОТА (OMBROGENOUS PEATLANDS) – болотные массивы или их части, поверхность которых сохраняется во влажном состоянии, прежде всего за счет поступления достаточно большого количества осадков наряду с исключительно высокой водоудерживающей способностью. Болота этого типа имеют более или менее выпуклую форму поверхности; уровень воды стоит на поверхности или ниже нее и возвышается над окружающими суходолами и минеротрофными топиями.	
Рослый рям	Верховое болото лесного облика (h древостоя <i>Pinus sylvestris</i> f. <i>uliginosa</i> – 6-12 м) с плоской или слегка выпуклой формой поверхности, образованной сплошным ковром <i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>S. divinum</i> ; питается атмосферными осадками, развиваясь, как правило, на неглубокой (до 1,5 м) торфяной залежи, периодически обсыхающей в сухие периоды лет.
Рям	Характерный и широко распространенный тип омбротрофных болот. Отличается округлыми очертаниями, выпуклой формой сравнительно хорошо дренированной поверхности, образованной <i>Sphagnum fuscum</i> и гомогенным растительным покровом (h древостоя (0.5)3-4 м); встречается в виде отдельных массивов в различного рода депрессиях рельефа или в пределах обширных болотных систем в сочетании с другими типами омбротрофных болот.
Рямово-мочажинный комплекс	Омбротрофный комплекс с мелкими или средних размеров мочажинами в окружении ряма, определяющего внешний облик ландшафта; мочажины не ориентированы либо создают характерную «лучевую» структуру ряма, располагаясь по линиям стекания.
Рямово-озерковый комплекс	Омбротрофный комплекс с многочисленными вторичными более или менее крупными озерами, окруженными топкими сфагновыми сплавидами; элементы комплекса не ориентированы; наиболее часто развивается в центральной плоской части водораздельных болот.
Грядово-мочажинный комплекс	Омбротрофный комплекс сосново-кустарничково-сфагновых (рямовых) гряд и топких сфагновых мочажин, ориентированных под прямым углом к направлению стока; конфигурация и размеры гряд и мочажин варьируют в широких пределах в зависимости от уклона поверхности болота. Различают грядово-мелко-, средне- и крупно-мочажинный варианты комплекса.
Грядово-мочажинно-озерковый комплекс	Омброгенный комплекс, характеризующийся развитием в обширных мочажинах более или менее крупных вторичных озерков; нередко могут присутствовать сравнительно большие и глубокие (до 3-4 м) озера; элементы комплекса ориентированы поперек уклона поверхности; обычно отмечается полосами в центральной части крупных водораздельных болот вдоль линий стекания.
Грядово-сплавинно-топяной комплекс	Топяной вариант омбротрофных комплексов. Обычно занимает обширные площади в центральной плоской части водораздельных болот; характеризуется рыхлой, насыщенной водой или сплавинного типа торфяной залежью; гряды на более плотном торфе занимают не более 10-15% площади комплекса.

Таблица ПЗ. Разнообразие основных типов болотных микроландшафтов (болотных фаций), выявленных на торфяных болотах лесной зоны Западной Сибири.

Физиономический облик	Марши	Лесные болота (согры)			Открытые и слабо залесенные осоково-моховые топи			С-куст-сфагн.
Богатство основаниями	Богатые	Богатые	Умерен. бедные	Богатые	Умерен. бедные	Бедные	Экстремально бедные	
Ступени богатства*	10-13	7-9	4-6	7-9	4-6	3-4	1-3	
Кислотность	Нейтральные	Суб-нейтр./основн.	Слабо-кислые	Суб-нейтр./основн.	Слабо-кислые	Кислые	Экстремально кислые	
Трофность	эвтрофные	мезотрофные			олиготрофные			
Ландшафтно-гидрологические элементы:								
ТОПОГЕННЫЕ БОЛОТА								
Речного питания:								
Торфянистые луга	+							
Аллювиальные кочкарники	+	+						
Вторично-прирусловые		+	+					
Подпорно-болотные согры		+	+					
Слабо аллювиальные согры		+	+					
Грунтового питания:								
Проточно-грунтового питания:								
Притеррасные согры			+					
Открытые притеррасные				+				
Веретьевые комплексы				+				
Застойно-грунтового питания:								
Диффузно мелкозалежные		+	+	+			+	
Сезонно застойные		+	+	+				
Длительно застойные	+				+	+	+	
Сплавинно топяные:					+	+	+	
Смешанного питания:								
Болота торфяно-поверхностно-сточного питания:								
Склоновые согры			+	+				
Топи выклинивания					+	+		
Веретьевые комплексы						+		
Аапа комплексы						+	+	
Водосборные топи («галыи»)						+	+	
Периферийные топи (Lagg)						+	+	
Транзитные топи						+	+	
Болота проточно-поверхностно-сточного питания:								
Подтопляемая кайма			+	+				
Сплавинно-проточные топи						+	+	
СОЛИГЕННЫЕ БОЛОТА								
Болота ключевого питания:								
Согры ключевого питания			+					
Открытые ключевые топи	+				+			
ОМБРОГЕННЫЕ БОЛОТА								
Гомогенного строения:								
Рослый рям							+	
Рям							+	
Комплексы:								
Рямово-мочажинный							+	
Рямово-озерково-топяной							+	
Грядово-мочажинный(ГМК)							+	
Грядово-мочажинно-озерков							+	
Сплавинно-топяной							+	

Примечание. * - Ступени богатства даны в соответствии со шкалами Л.Г.Раменского (Ramenskiyetal., 1956).

Поступила в редакцию: 16.05.2024
Переработанный вариант: 28.05.2024