

УДК 630.182:631.41

doi: 10.17223/19988591/40/12

В.А. Степанова¹, И.И. Волкова²

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

²Национальный исследовательский Томский
государственный университет, г. Томск, Россия

Особенности генезиса Николаевского рьяма в лесостепи Западной Сибири

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований (проект № 16-34-50008/мол_нр).

Исследовано строение торфяной залежи Николаевского рьяма (N 55°09', E 79°02') как представителя верховых болот лесостепи Западной Сибири. На основании полученных данных по ботаническому составу, степени разложения, а также физико-химических свойств и возраста торфов сделано описание вероятной динамики формирования болотного ландшафта. Показано, что отличительной особенностью развития этого болотного массива на ранних этапах могло являться преобладание березово-разнотравных и пушицево-сфагновых сообществ. Торфяная залежь Николаевского рьяма имеет большую мощность (около 4 м), на 80% сложенную верховыми торфами, и характеризуется более молодым возрастом по сравнению с аналогичными болотами в лесостепи Барабинской низменности (около 2,6 тыс. лет). Установлено, что динамика геохимических индикаторов условий осадконакопления в торфяной залежи (количественных соотношений микроэлементов B/Ga и Ce/Y) хорошо соответствует по времени изменениям климатических условий, произошедших в голоцене на территории современной лесостепи Западной Сибири. Было выявлено, что образование Николаевского рьяма произошло в более холодный и влажный климатический период. Отмечены изменения климата в сторону более теплого и сухого (около 2,0 тыс. лет назад), затем холодного и влажного (1,4–1,2 тыс. лет назад) и далее, в период малого климатического оптимума, – снова теплого и сухого (1,0–0,8 тыс. лет назад). Последние 500 лет до настоящего времени происходят потепление и аридизация климатических условий в районе расположения изучаемого объекта.

Ключевые слова: верховое болото; болотообразование; торфяная залежь; ботанический состав торфа; геохимические индикаторы.

Введение

Представления об эволюции экосистем необходимы для понимания современного состояния природной среды и прогнозирования ее изменений под воздействием естественных и антропогенных факторов. На текущее со-

стояние природных комплексов большое влияние оказали климатические изменения в голоцене [1–5]. Многочисленные исследования подтверждают, что на современном историческом этапе активное антропогенное воздействие оказывает решающее влияние на функционирование всех природных экосистем, часто вызывая существенные их изменения [6–8]. Мониторинг таких изменений и динамическая оценка последствий антропогенного воздействия являются важным ключом к сохранению природных экосистем.

Систематическое и углубленное исследование верховых сфагновых болот (рямов) в лесостепной зоне сильно тормозится ограниченностью сведений об эволюции и текущем состоянии выпуклых торфяников, находящихся на границе ареала их распространения. Экосистемы лесостепной зоны наиболее чувствительны к климатическим изменениям, которые могут быть хорошо идентифицированы [9–15]. Именно поэтому природные экосистемы лесостепной зоны являются перспективными и «легко откликающимися» объектами палеоклиматических и палеоэкологических реконструкций, включая расположенные здесь болота.

Несмотря на то, что верховые сфагновые болота распространены в разных ботанико-географических зонах Западной Сибири, наиболее уязвимыми к воздействию внешних климатических факторов они оказываются именно в лесостепной зоне [16]. Недостаточная осведомленность о функционировании верховых сфагновых болот лесостепи в прошлом и настоящем определяет необходимость проведения комплексного их исследования, без чего невозможны прогнозы развития в условиях воздействия на них естественных и антропогенных факторов.

Известно, что заболоченность Барабинской низменности Западной Сибири достигает 25% [16]. Основную часть этой области составляют низинные травяные болота. Верховые сфагновые болотные сообщества здесь весьма немногочисленны: сосново-кустарничково-сфагновые сообщества в рассматриваемом районе занимают не более 4–6% общей площади болот. В настоящее время такие «островки» представляют собой редкие реликтовые комплексы, находящиеся на границе ареала своего распространения [17]. Каждый подобный объект, с одной стороны, является реликтом, а с другой – на современном этапе своего развития характеризуется активным торфонакоплением [16]. На таких болотах обычно изменен характер растительности, вплоть до выпадения прежних и внедрения новых видов, не характерных для данных сообществ [18]. Считается, что их формирование на территории Барабинской низменности происходило преимущественно в более влажных и более холодных климатических условиях по сравнению с современными. Сейчас островные рьямы лесостепи развиваются в климатических условиях, характерных для зоны неустойчивого увлажнения [19–21]. В рамках данного климатического тренда и характерных для него условий экологическое состояние сфагновых болот лесостепной зоны будет напрямую зависеть от изменений видового состава растительных сообществ и их

торфяного профиля [18]. Поэтому изучение пространственно-временной динамики таких экосистем является обязательным условием для успешного прогнозирования их дальнейшего развития и сохранения.

Важным вспомогательным обстоятельством является то, что торфяная залежь скрывает в себе историю заболачивания и формирования растительного покрова региона на протяжении последних тысячелетий, становясь для исследователей уникальным объектом, который несет в себе информацию об условиях среды на протяжении всего времени существования этого объекта [22]. Основные характерные этапы формирования торфяника отражаются в специфическом напластовании слоев торфа разного ботанического состава. Стратиграфия торфяных отложений является неотъемлемым элементом описания и характеристики развития болот, так как позволяет выявлять региональные и подзональные особенности генезиса и эволюции болотных массивов. На основании детального изучения ботанических и некоторых геохимических характеристик торфяной залежи лесостепных сфагновых болот могут быть выявлены временные этапы их развития, проведена реконструкция растительных сообществ, произраставших на тот момент, определены особенности водного режима и торфонакопления как отклик на климатические изменения в голоцене [23–24].

Целью данной работы является изучение особенностей формирования торфяной залежи Николаевского рья – представителя верховых болот лесостепи Западной Сибири. Для этого необходимо исследовать особенности строения торфяной залежи рья, определить возможные этапы развития данного болота и описать изменения некоторых геохимических индикаторов торфонакопления, которые напрямую связаны с известными изменениями климатических условий, произошедших в голоцене. Для решения поставленных задач следует получить экспериментальные результаты по ботаническому составу, степени разложения, физико-химическим свойствам и возрасту торфов.

Материалы и методики исследования

Работы проведены в Барабинской лесостепи на болотном массиве возле поселка Николаевка 2-я (Убинский район Новосибирской области). Основные исследования выполнены в августе и сентябре 2008 и 2010 гг. Объект изучения – сосново-кустарничково-сфагновое болото, известное как Николаевский рям (N 55°09', E 79°02'). Это верховое болото, территориально приуроченное к Западно-Сибирской провинции тростниковых и крупноосоковых болот [16, 25] и находящееся в непосредственном контакте с сообществами «займищного» типа [16, 18, 26]. Согласно результатам более ранних наблюдений [18, 27–29] экологическое состояние этого объекта является наиболее благополучным по сравнению с большинством других верховых болот лесостепи. Несмотря на частые пожары, случающиеся на ряме, а так-

же частичное вытаптывание, здесь полностью сохранился моховой покров, в котором преобладают сфагновые мхи.

Площадь болотного массива составляет приблизительно 200 га. Для исследования ботанического состава выбрана торфяная колонка глубиной 430 см, отбуренная с помощью торфяного бура в предполагаемом генетическом центре болотного массива, в его центральной части. Отбор образцов для определения ботанического состава торфа производился последовательно послойно каждые 10 см до минерального горизонта.

Рядом с колонкой для определения ботанического состава отобраны образцы торфа из нескольких колонок для исследования физико-химических свойств и элементного состава торфа глубиной 400 см. Отбор образцов торфа производился послойно каждые 25 см до минерального горизонта.

Аналитические работы по определению физико-химических свойств (рН, зольность, объемный вес), степени разложения и ботанического состава торфа выполнялись стандартными методами [30–32]. Определение концентраций отдельных химических микроэлементов (В, Ga, Се, Y) после предварительного кислотного разложения сухого размолотого торфа проводили методом масс-спектрометрии (ICP–MS) с индуктивно связанной аргонной плазмой на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500сe (США) согласно известной методике [33]. На основании этих экспериментальных данных рассчитаны геохимические индикаторы условий осадконакопления В/Ga и Се/Y, предложенные ранее А.И. Сысо [34–35], и найдено их соответствие климатическим условиям формирования торфа [4, 36]. Содержание бора и отношение В/Ga являются индикаторами термических характеристик климата, а отношение Се/Y характеризует его влажность. Возраст торфяной толщи исследуемого болота был оценен исходя из мощности торфяника и средней скорости торфонакопления, установленной ранее на примере других лесостепных яров [16].

Результаты исследования и обсуждение

Растительный покров Николаевского яра представлен сосново-кустарничково-сфагновыми сообществами. Разреженный древесный ярус состоит из сосны *Pinus sylvestris* L. высотой до 10 м с примесью березы *Betula pubescens* Ehrh. Микрорельеф яра хорошо выражен: до 50% его площади занимают кочки, высота которых достигает 30–40 см, а диаметр – до 1,5 м. Среди кустарничковых видов массово представлены *Ledum palustre* L. (с проективным покрытием 40%), *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. (до 40%) и *Oxycoccus microcarpus* Turcz. ex Rupr. (5%). В травяном ярусе преобладает *Rubus chamaemorus* L., изредка встречается *Eriophorum vaginatum* L. Доминантами мохового покрова являются сфагновые мхи *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. и *Sphagnum capillifolium* (Ehrh) Hedw. (80% проективного покрытия). На периферии сосново-кустарничково-сфагновая яровая расти-

тельность граничит с тростниковыми и осоково-тростниковыми сообществами. Уровень болотных вод большую часть вегетационного периода колеблется в пределах 30–60 см ниже поверхности мохового покрова. По растительности Николаевский рям представляется довольно типичным для исследуемой территории лесостепной зоны Западной Сибири. Однако при сравнении растительности Николаевского рямя с другими известными рьями этой климатической зоны [18] нельзя не заметить, что на последних заметно увеличена доля зеленых мхов. Это явное различие отражает характерные регрессивные процессы, происходящие на других рьях и связанные в основном с деятельностью человека. Таким образом, для специалистов-исследователей Николаевский рям выгодно отличается от других территориально близких объектов, поскольку не затронут в заметной степени негативными антропогенными процессами.

Почвы исследуемого болотного массива представлены торфяными олиготрофными [37] или болотными верховыми на средних (1–2 м) и глубоких торфах (> 2 м) [38]. Максимальная мощность торфяной колонки составляет 430 см. Объемный вес торфа по глубине залежи изменяется слабо – от 0,04 до 0,08 г/см³. Средняя зольность торфов небольшая и составляет около 3,9% ($n = 15$) при высокой кислотности (рН – около 3) (рис. 1). По совокупности полученных нами физико-химических показателей торфяную залежь следует отнести к верховому типу [39]. Установлено, что торфяные отложения слабо обогащены минеральными включениями, попадающими на болото с атмосферными осадками. При этом основные минеральные частицы, обнаруженные в торфяной залежи, – это угли (обугленные растительные остатки и частицы сажи), образовавшиеся в результате пожаров естественного или антропогенного происхождения.

Микроскопическое изучение ботанического состава торфа показывает, что верхняя часть торфяной залежи Николаевского рямя (около 70% мощности всей залежи) сформирована в основном фускум-торфом низкой степени разложения (от 5 до 20%) (рис. 2). Здесь же в небольшом количестве присутствуют другие верховые торфы – ангустифолиум-торф, сфагновый и пушицево-сфагновый (около 12% мощности залежи), каждый со степенью разложения 10–20%. Интересно, что количественная составляющая толщи, приходящаяся на переходный и низинный торфы, довольно мала – около 19%. Из них на долю переходных торфов приходится 5%, представленных сфагновым торфом средней степени разложения (30–35%), а на долю низинных торфов – около 14%. Основание залежи сложено напластованием сфагнового (скваррозум торф), травяно-сфагнового, пушицево-сфагнового и древесно-травяного торфов, степень разложения которых изменяется от 25% в скваррозум-торфе до 55% в древесно-травяном торфе. Следовательно, торфяную залежь Николаевского рямя следует классифицировать как фускум-залежь, поскольку более 50% залежи сложено фускум-торфом [39]. Согласно полученным результатам при формировании залежи вклад торфов «эвтрофный–мезотрофный–олиготрофный» может быть определен в соотношении 3:1:18.

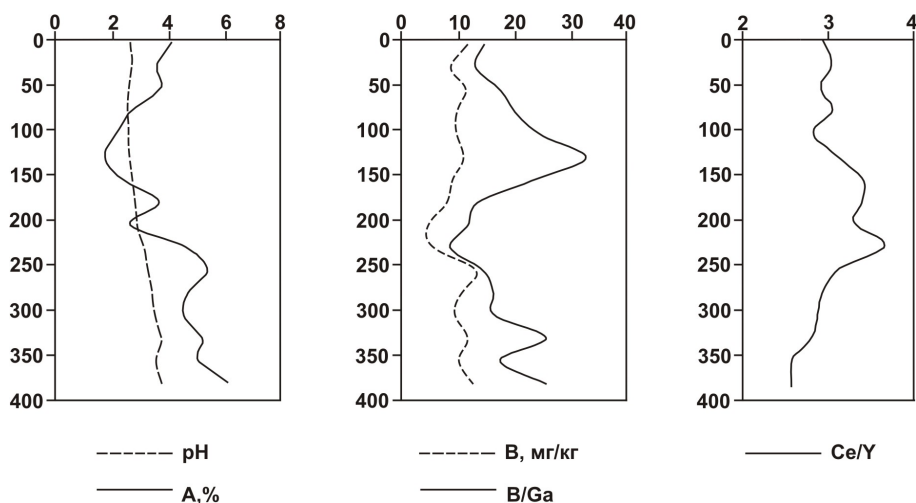


Рис. 1. Распределение зольности, кислотности и геохимических индикаторов осадконакопления в торфяной залежи Николаевского ряма.

По горизонтали: *A* – зольность, %; *B* – концентрация бора, мг/кг сухого веса торфа; по вертикали: мощность торфяной залежи, см

[Fig. 1. Distribution of ash content, acidity and some geochemical indicators of sedimentation conditions in the Nikolaevka ryam peat deposits. The X-axis: *A* - Ash content, %; *B* - Boron concentration, mg/kg of dry peat; the Y-axis - The depth of peat deposits, cm]

Преобладающий в залежи фускум-торф характеризуется высоким содержанием в нем остатков *Sphagnum fuscum* (от 40 до 70%, иногда до 100%), могут присутствовать остатки *S. magellanicum*, *S. angustifolium* (до 10–15%). В травянистых остатках встречается пушица, в древесных – остатки коры сосны и вересковых кустарничков. Ангустифолиум-торф характеризуется преобладанием остатков *S. angustifolium* (до 50–95%), наличием *S. fuscum* и *S. magellanicum*, из трав – пушица, из древесных – остатки сосны и вересковых кустарничков. Сфагновый торф представляет собой сборный вид, в растительном волокне которого приблизительно в равных соотношениях присутствуют *S. fuscum*, *S. magellanicum* и *S. angustifolium* с примесью пушицы и кустарничков. Пушицево-сфагновый торф сложен остатками пушицы и сфагновых мхов (*S. angustifolium*) с примесью кустарничков, сосны, осок.

Сфагновый переходный торф формируют остатки олиготрофных (*S. angustifolium*) и эвтрофных (*S. squarrosum*) мхов (от 45 до 90%). Присутствуют остатки осок и пушицы.

Сфагновый низинный торф состоит из остатков эвтрофных сфагновых мхов (в нашем исследовании – *S. squarrosum*, от 70 до 100%). В травянистых остатках отмечены осоки, вейник, вахта, в древесных – кустарнички. Травяно-сфагновый торф сложен остатками трав в различном их сочетании и сфагновых мхов с примесью гипновых мхов, среди древесных – остатки березы. Пушицево-сфагновый торф состоит из остатков пушицы (до 40%)

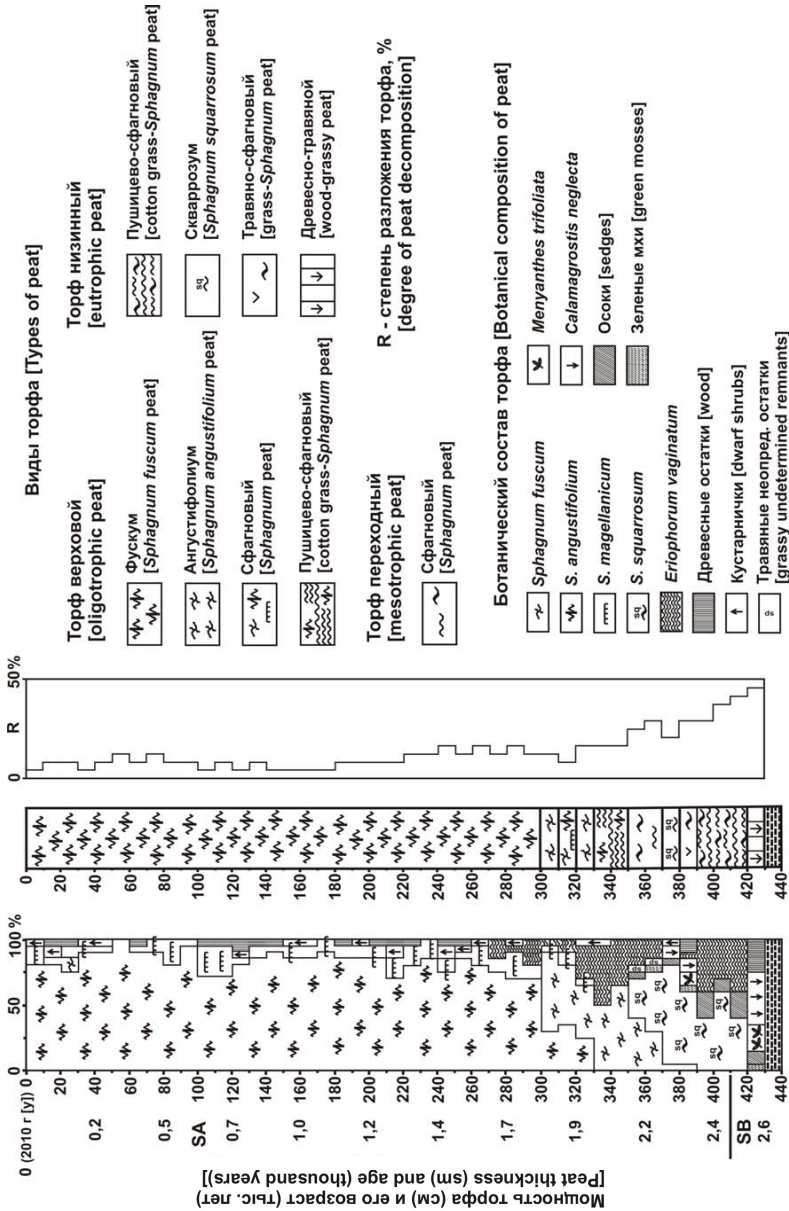


Рис. 2. Ботанический состав, степень разложения и возраст торфяных отложений Николаевского яма (первая диаграмма – ботанический состав и возраст торфов*, вторая – виды торфа, третья – степень разложения торфа). *Период: SB – суббореальный, SA – субатлантический [Fig. 2. The botanical composition and the age of the peat deposits* (Diagrams 1 and 2), and the degree of decomposition (Diagram 3) of the Nikolaevka ryam. *Period: SB - Subboreal, SA - Subatlantic]

и эвтрофных сфагновых мхов (*S. squarrosum*, 40–50%) с примесью осок. Древесно-травяной торф характеризуется содержанием древесных остатков сосны, березы и др. (от 15 до 35%) и большим количеством травянистых остатков – осок, вахты, вейника с примесью пушицы, хвоща, тростника, сальника. Ни один из травянистых остатков количественно не преобладает. В торфе встречаются остатки сфагновых и гипновых мхов.

Наши данные по ботаническому составу хорошо согласуются с литературными, касающимися болот лесостепи на территориях Новосибирской и Челябинской областей, где отмечается наличие мощных залежей верхового торфа (до 80–90%) в указанных болотных массивах (таблица).

Ботаническая характеристика торфяной залежи лесостепных рямов
[Botanical characteristics of peat deposits from forest-steppe ryams]

Название объекта [Object]	Местоположение [Location]	Типы торфа, % в торфяной колонке [Types of peat, % in peat column]				Мощность залежи, м [Depth of deposits, m]
		верховой [oligotrophic]	в том числе фускум [including fuscum peat]	переходный [mesotrophic]	низинный [eutrophic]	
Убинский рям ¹ [Ubinskiy ryam ¹]	Новосибирская обл. [Novosibirsk oblast]	57	57	7	36	3,5
Гуськовский рям ¹ [Gus'kovskiy ryam ¹]	Новосибирская обл. [Novosibirsk oblast]	92	92	3	5	9,3
Убинский рям ² [Ubinskiy ryam ²]	Новосибирская обл. [Novosibirsk oblast]	85	85	6	9	4,7
Беглян-ский рям ² [Beglyanskiy ryam ²]	Новосибирская обл. [Novosibirsk oblast]	83	50	0	16	3,6
Рям в окрестностях с. Саломатово ³ [Salomatovo ryam ³]	Челябинская обл. [Chelyabinsk oblast]	79	21	14	7	3,5
Николаевский рям [Nikolaevka ryam]	Новосибирская обл. [Novosibirsk oblast]	81	70	5	14	4,3

Примечание. ¹ – [16]; ² – [20]; ³ – [40].
[Note. ¹ – [16]; ² – [20]; ³ – [40]].

На низинный торф в них приходится от 5 до 36%; доля переходного торфа при этом изменяется от 0 до 7%. Исключением является рям в окрестностях с. Саломатово Челябинской области, для которого, как известно, несколько дольше длилась мезотрофная стадия торфообразования. Поэто-

му здесь наблюдается повышенное содержание переходного торфа (14%). Одновременно для этого ряма исследователи отмечают пониженную мощность фускум-торфа (до 21%) и доминирование магелланикум-торфа (до 50%). Для рямов Новосибирской области характерным обстоятельством является то, что во время олиготрофной стадии их развития был отложен в основном фускум-торф с небольшой примесью других торфов – ангустифолиум-торфа, сфагнового, пушицево-сфагнового (Николаевский и Беглян-ский рямы). Во время мезотрофной стадии развития лесостепных верховых болот отлагался преимущественно сфагновый переходный торф. Эвтрофная стадия развития этих болот характеризуется накоплением осокового, осоково-тростникового, тростниково-сфагнового, сфагнового и гипнового видов торфа. Николаевский рям является некоторым исключением, поскольку его начальное торфонакопление характеризуется древесно-травяным и пушицево-сфагновым видами торфа.

Представленные данные указывают на общую характерную особенность лесостепных верховых болот и изученного Николаевского ряма. Согласно стратиграфии их торфяной залежи, лесостепные рямы характеризуются преобладающей толщей верхового торфа (преимущественно фускум) и небольшими слоями переходного и низинного торфов, что, по-видимому, является прямым следствием определенной однородности климатических условий и в первую очередь экологических условий, в которых они формировались.

При сравнении рямов лесостепной и таежной зон Западной Сибири последние отличаются многообразием стратиграфии, которая различается в зависимости от региональной и геоморфологической приуроченности, обуславливающей специфику их развития. Рямы таежной зоны, располагающиеся в центральных частях болотных массивов, характеризуются фускум-либо комплексной торфяной залежью, реже – шейхцеригово-сфагновой, ангустифолиум, магелланикум, шейхцериговой, пушицовой, переходной или смешанной топяной залежью с преобладанием характерных торфов [5, 16, 24, 26]. Рямы Барабинской лесостепи характеризуются только фускум-залежью. В рямах таежной зоны может отсутствовать эвтрофная стадия, а торфонакопление начинается с мезотрофной и даже олиготрофной стадии, что зависит от условий водно-минерального питания растений и геоморфологических условий развития болота. Болотообразование в лесостепи начинается в условиях богатого минерального питания вследствие засоленности подстилающих грунтов и высокой минерализации грунтовых вод, поэтому начинается с эвтрофной стадии [16, 41].

Отличительная особенность торфяной залежи исследуемого болота от других лесостепных рямов выявлена для эвтрофной стадии торфонакопления на начальном этапе развития болота (см. рис. 2). Основание залежи сложено напластованием скваррозум-торфа, травяно-сфагнового, пушицево-сфагнового и древесно-травяного торфов, тогда как для других лесостепных рямов эвтрофная стадия характеризуется накоплением осокового,

осоково-тростникового, тростниково-сфагнового, сфагнового и гипнового видов торфа. Для исследуемого рьяма характерно преобладание в нижних горизонтах торфа пушицы (*E. vaginatum*), вейника (*Calamagrostis neglecta*), несолевыносливого вида мхов (*Sphagnum squarrosum* Crome).

Вероятный процесс болотообразования происходил следующим образом. В березовом колке, со временем подвергшемся заболачиванию, благодаря прогрессирующему опреснению поселяются влаголюбивые виды трав (вахта, вейник) и гипновых мхов. Они способствуют отложению древесно-травяного торфа в основание залежи. Вследствие сложившегося водного режима происходит вытеснение древесного яруса с одновременным увеличением доли травяного и мохового ярусов. В этот период развития накапливаются пушицево-сфагновый, травяно-сфагновый и сфагновый (*Sphagnum squarrosum* Crome) низинный торфы, а также создаются условия для перехода эвтрофной стадии развития болота в следующую – мезотрофную, и далее в олиготрофную. В других лесостепных рьямах, исследованных и описанных ранее, начало болотообразовательного процесса характеризовалось не поселением *Sphagnum squarrosum*, а появлением и расселением другого доминирующего вида торфа – *Sphagnum teres* (Schimp) Ångstr. – как более солевыносливого [16, 41]. Согласно литературным данным, на эвтрофной стадии болотообразования лесостепных рьямов преобладали тростниковые сообщества, сообщества корневищных и кочкарных осок [16, 20, 40], тогда как для Николаевского рьяма характерны березово-разнотравные и пушицево-сфагновые сообщества. Эти данные означают, что исследуемый рям не вписывается в полной мере в ставшую классической схему развития болот лесостепи, предложенную О.Л. Лисс и др. [16]. Для Николаевского рьяма вклад осок слабо отражен в торфяной залежи, зато здесь преобладает пушица. Это отличие в ботаническом составе торфа может быть связано с некоторыми особенностями локальных условий среды и климата, при которых формировалось исследуемое болото. Возможная схема развития Николаевского рьяма приведена на рис. 3.

Полученные нами расчетные датировки в сочетании с данными стратиграфии позволили детально реконструировать динамику растительности центральной части болота. Согласно нашим данным, ее формирование на этом участке началось на месте переувлажненного березового колка с эвтрофной стадии не позднее 2,6 тыс. лет назад и связано с существованием березово-разнотравного сообщества (I). Через 100 лет происходит выпадение древесного яруса и образование болота с пушицево-сфагновым (II), травяно-сфагновым (III) и сфагновым (IV) со *S. squarrosum*, а затем – сфагновым (V) со *S. squarrosum* + *S. angustifolium* сообществами, которые существовали и развивались далее на протяжении следующих 500 лет. Затем начинается переход от мочажинного растительного покрова к рьяму, произошедший около 2,1 тыс. лет назад через стадию пушицево-сфагновых сообществ (VI) с *S. angustifolium* (VI) и *S. angustifolium* + *S. fuscum* (VII) к сосново-кустарнич-

ково-пушицево-сфагновому (VIII) и сосново-кустарничково-сфагновому (IX) со *S. fuscum*, существующему и в настоящее время. По нашим оценкам, переход к растительному сообществу, характеризующему современный этап развития болота, произошел около 1,6 тыс. лет назад.

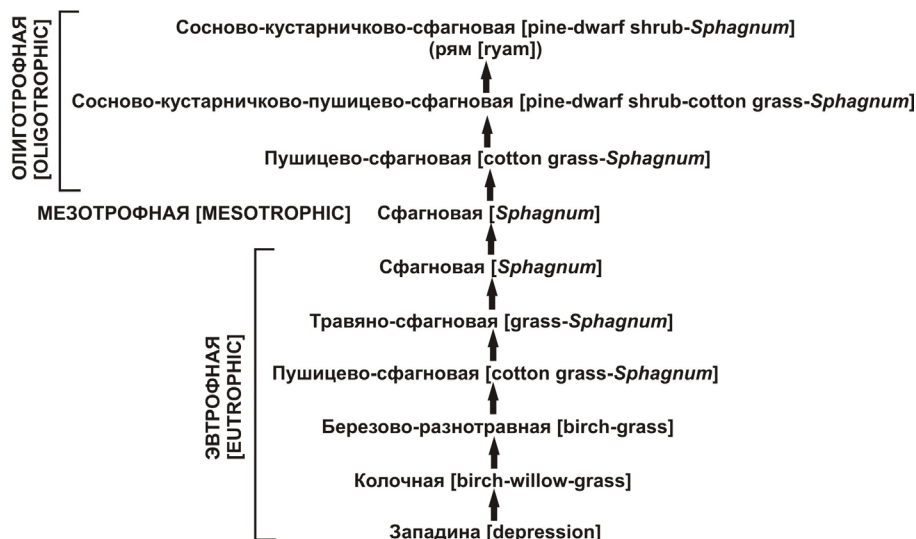


Рис. 3. Схема развития Николаевского рям
[Fig. 3. The scheme of the Nikolaevka ryam evolution]

Таким образом, Николаевский рям оказывается значительно моложе (около 2,6 тыс. лет) многих других описанных сосново-кустарничково-сфагновых болот лесостепи Барабинской низменности [16, 26]. Например, возраст Убинского рям оценивается исследователями как 4,4 тыс. лет, Гуськовского рям – 3,6 тыс. лет. В целом же следует отметить, что все перечисленные лесостепные рям являются намного более молодыми образованиями, чем сосново-кустарничково-сфагновые болота таежной зоны Западно-Сибирской равнины.

Климатические изменения, происходившие в голоцене на территории лесостепной зоны Барабинской низменности, не могли не найти своего отражения в развитии исследуемого торфяника. Для того чтобы выявить и проследить такое влияние, специалистами применяются разные подходы и методики. Например, можно провести детальный анализ геохимических индикаторов условий осадконакопления – количественных соотношений микроэлементов бор/галлий (В/Ga) и церий/иттрий (Ce/Y) [34, 35], характеризующих изменение воздушных потоков, приносящих аэрозоли разного химического состава на поверхность болотного массива. Проведенный нами анализ распределения по торфяной залежи значений этих геохимических индикаторов (см. рис. 1) показал существенное немонокотное варьирова-

ние значений индикаторов по всей торфяной толще с наличием выраженных минимумов и максимумов. Это означает, что на протяжении всего процесса формирования исследуемой залежи происходили многократные долговременные изменения направлений доминирующих воздушных потоков, что неизбежно влекло смену климата. Согласно оценкам возраста торфяных отложений, рассчитанных нами на основании известной величины средней скорости торфообразования (1,64 мм/год), образование изучаемого болотного массива происходило преимущественно во времена более холодного и более влажного периода – около 2,6 тыс. лет назад, т.е. в конце суббореального периода [4, 36].

Чтобы перепроверить эту оценку возраста и убедиться в ее адекватности, мы попытались выявить взаимосвязь указанных выше геохимических индикаторов осадконакопления с климатическими условиями торфообразования, характерными для указанного временного периода. Так, известное повышение температуры климата, наблюдаемое в Барабе около 2,0 тыс. лет назад, совпадает по временной шкале с увеличением содержания бора до 11,7 мг/кг и ростом количественного соотношения В/Ga до значения 25,6 в торфяной залежи Николаевского рьяма на глубине 330 см, т.е. соответствующее изменение климата было отражено в торфе и может быть легко идентифицировано. Происходившее одновременно с повышением температуры снижение общего количества осадков нашло отражение в уменьшении соотношения Се/Y в торфе до 2,6 на глубине 350 см. Более позднее похолодание климата на территории Западной Сибири и Барабы, случившееся примерно 1,4–1,2 тыс. лет назад, коррелирует с понижением содержания бора (до 4,4 мг/кг) и соотношения В/Ga (до 8,5) в торфе на глубине 200–230 см, а увеличение количества осадков – с возрастанием соотношения Се/Y (до 3,7) на глубине 230 см. Период малого климатического оптимума (1,3–0,6 тыс. лет назад), характеризующийся повышением температуры климата и уменьшением общего количества осадков, нашел отражение в той части торфяной залежи Николаевского рьяма, возраст которой нами определен как 1,0–0,8 тыс. лет (на глубине 100–150 см): здесь наблюдаются увеличение содержания бора (до 10,8 мг/кг), увеличение соотношения В/Ga до максимальной величины 32,8, а также минимизация соотношения Се/Y (2,8). Аридизация и увеличение температуры климата Западной Сибири, которые длятся последние 500 лет до настоящего времени [36], прослеживаются по изменению геохимических индикаторов в верхней части торфяного профиля исследуемого болота на глубине 0–30 см (см. рис. 1). Это означает, что полученные нами оценки возраста торфа хорошо согласуются с климатическими изменениями, произошедшими на территории юга Западной Сибири и конкретно в Барабе [9, 10, 12, 14, 15].

Подтверждается, что время возникновения исследуемого болота приходится на холодный и влажный период, который для Барабы определяется как «холодный период» 3,4–2,3 тыс. лет назад [10] и 3,0–2,5 тыс. лет назад [14]

или «холодный и влажный» период 5,0–2,0 тыс. лет назад [15]. Аналогичный «холодный и влажный» период для Кулунды датируется 3,8–2,0 тыс. лет назад [12]. Далее происходили повышение температуры и снижение количества осадков, отмеченные нами около 2 тыс. лет назад, и этот временной интервал соответствует описанным в литературе «сухому» периоду в Барабе 2,8–1,7 тыс. лет назад [10], «теплому и сухому» периоду на этой же территории 2,0–0,8 тыс. лет назад [15] или в Кулунде – 2,0–1,9 тыс. лет назад [12], а также просто «теплому и сухому» периоду 1,9–0,6 тыс. лет назад [14]. Более поздние похолодание и увеличение количества осадков, оцененные нами по возрасту 1,4–1,2 тыс. лет назад, находят литературные подтверждения в изменении климата на «более холодный и влажный» в Барабе 1,8–0,6 тыс. лет назад [10], «более холодный» в интервале 1,9–0,6 тыс. лет назад [14] и «более влажный» в Кулунде в период 1,9–0,2 тыс. лет назад [12]. Период 1,0–0,8 тыс. лет назад, охарактеризованный нами как период малого климатического оптимума, согласуется с данными по Барабе об увеличении температуры, длящемся с 1,5 тыс. лет назад по настоящее время [15]. Аридизация климата, происходящая последние 500 лет, была отмечена рядом исследователей [9, 10, 12, 14].

Таким образом, наблюдается хорошее соответствие между описанными ранее региональными климатическими изменениями во времени и динамикой значений геохимических индикаторов осадконакопления, выявленных для послойных отложений торфяной толщи. Незначительные отклонения в оценках могут быть связаны с особенностями методов, использованных разными исследователями, разной точностью и чувствительностью к исследуемым объектам. Могут оказывать влияние какие-то локальные экологические условия и устойчивость (или восприимчивость) конкретной экосистемы к внешним воздействиям. Применительно к нашему объекту следует сделать необходимое уточнение. Мы не допускаем, что в торфонакоплении наблюдался перерыв. При этом большая часть торфяной залежи образована верховым торфом, сформированным в условиях атмосферного питания растительности. При таких условиях геохимический метод оказался более чувствительным к изменению климатических характеристик в голоцене. Ботанический состав торфа, характеризующий развитие болота во времени, напротив, демонстрирует гомеостаз экосистемы под влиянием факторов окружающей среды.

Полученные результаты показывают, что исследованная торфяная залежь оказалась очень чувствительной к наблюдавшимся в голоцене изменениям климата. Но эта чувствительность проявилась не столько в изменениях ботанического состава торфа (который оказался достаточно «консервативным»), сколько в динамике накопления и депонирования некоторых микроэлементов. Имея количественные изменения содержания в торфе этих микроэлементов, можно рассчитать некоторые геохимические индикаторы, которые позволяют очень точно реконструировать изменяющиеся климатические

условия в голоцене. В конечном итоге исследование торфяной залежи способствует выявлению и изучению региональных и локальных изменений окружающей среды на протяжении тысячелетий – в течение всего периода активного торфообразования исследуемого болота.

Заключение

По результатам исследования можно констатировать, что Николаевский рям обладает рядом сходных черт с другими описанными рьямами, расположенными на территории лесостепи Западной Сибири. Прежде всего необходимо указать на их мощный слой верхового торфа, небольшой слой низинного и совсем малую прослойку переходного торфа. К тому же исследуемое болото характеризуется довольно большой мощностью торфяной залежи (около 4 м), хотя и является более молодым по возрасту (около 2,6 тыс. лет) по сравнению с аналогичными болотами лесостепи Барабинской низменности. Полученные результаты хорошо дополняют ранее опубликованные научные данные об образовании и развитии верховых болот лесостепи Западной Сибири и подчеркивают некую уникальность, единообразие в их формировании. Наличие мощного слоя верхового торфа, ботанический состав которого мало изменяется по всей глубине колонки, несмотря на существенные колебания климатических условий и других внешних воздействий, указывает на значительную устойчивость (невосприимчивость) экосистемы, находящейся на олиготрофной стадии развития.

Вместе с тем торфяная залежь Николаевского рьяма отличается от других лесостепных рьямов эвтрофной стадией торфонакопления, для которой характерно напластование древесно-травяного, пушицево-сфагнового, травяно-сфагнового и сфагнового (скваррозум) торфов, в формировании которых значительную роль играли такие виды, как *Eriophorum vaginatum*, *Calamagrostis neglecta* и *Sphagnum squarrosum* Crome, что может свидетельствовать о преобладании березово-разнотравных и пушицево-сфагновых сообществ на ранних этапах развития исследуемого болота.

Динамика изменения геохимических индикаторов (количественных соотношений микроэлементов В/Ga и Ce/Y в торфе), которые отражают условия осадконакопления на всем периоде формирования торфяной залежи, хорошо соответствует известным изменениям климатических условий на территории современной лесостепи Западной Сибири в голоцене. Таким образом, лесостепные рьямы Западной Сибири являются не просто «хрупкими и неустойчивыми реликтовыми ландшафтами», нуждающимися в бережной охране, а уникальными летописями событий прошлого, несущими в себе ценную информацию об изменчивости внешних климатических и других условий в голоцене на территории лесостепи.

Авторы благодарят сотрудников лабораторий биогеоценологии и биогеохимии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск): канд. биол. наук Н.П. Миронычеву-Токареву, Н.П. Косых, канд. биол. наук Н.Г. Коронатову, канд. биол. наук Е.К. Вишнякову, канд. биол. наук Ю.В. Ермолова и канд. биол. наук С.А. Худяева за помощь в проведении исследований. Авторы выражают благодарность канд. биол. наук Н.А. Черновой (лаборатория мониторинга лесных экосистем Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск) за помощь в определении ботанического состава и степени разложения образцов торфа. Авторы также признательны канд. геол.-минерал. наук О.С. Покровскому (University of Toulouse, GET CNRS, Франция) за предоставленную возможность выполнения аналитических масс-спектрометрических исследований.

Литература

1. Роде А.А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. М. : ОГИЗ, 1947. 140 с.
2. Соколов И.А., Торгульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент // Изучение и освоение природной среды. М. : Наука, 1976. С. 150–164.
3. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М. : Наука, 1977. 199 с.
4. Орлова Л.А., Волкова В.С. Голоцен Барабы: стратиграфия и радиоуглеродная хронология. Новосибирск : Наука, 1990. 125 с.
5. Прейс Ю.И. Детальная реконструкция функционального состояния болота как отклик на изменения континентального климата голоцена (средняя тайга Западной Сибири) // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326, № 2. С. 90–102.
6. Неронов В.В., Королева Е.Г. Биогеографическая уникальность и антропогенная трансформация экосистем верхового болота Целау (Калининградская область) // Известия Российской академии наук. Сер. географическая. 2013. № 3. С. 55–62.
7. Бузмаков С.А. Биоиндикация техногенной трансформации экосистем на территории нефтяных месторождений по состоянию микробного комплекса // Географический вестник. Экология и природопользование. 2014. № 2. С. 64–78.
8. Безель В.С., Жуйкова Т.В., Гордеева В.А. Геохимия травянистых биогеоценозов: биогенные циклы химических элементов при загрязнении природной среды тяжелыми металлами // Геохимия. 2015. № 3. С. 252–263.
9. Zakh V.A., Ryabogina N.E., Chlachula J. Climate and environmental dynamics of the mid-to-late Holocene settlement in the Tobol–Ishim forest-steppe region, West Siberia // Quaternary International. 2010. Vol. 220, № 1–2. PP. 95–101.
10. Krivonogov S.K., Takahara H., Yamamuro M., Preis Yu.I., Khazina I.V., Khazin L.B., Kuzmin Ya.V., Safonova I.Yu., Ignatova N.V. Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Beloye // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2012. Vol. 331–332. PP. 177–193.
11. Krivonogov S.K., Yamamuro M., Takahara H., Kazansky A.Y., Klimin M.A., Bobrov V.A., Safonova I.Y., Phedorin M.A., Bortnikova S.B. An abrupt ecosystem change in Lake Beloye, southern Western Siberia: Palaeoclimate versus local environment // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2012. Vol. 331–332. PP. 194–206.
12. Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D., Palagushkina O., Papin D., Frolova L. Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: vegetation, climate and humans // Quaternary Science Reviews. 2012. Vol. 48. PP. 32–42.

13. Жилич С.В., Рудая Н.А., Кривоногов С.К. Изменение растительности и климата в районе озера Малые Чаны в позднем голоцене // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2016. Т. 7, № 1 (13). С. 68–75.
14. Khazin L.B., Khazina I.V., Krivonogov S.K., Kuzmin Ya.V., Prokopenko A.A., Yi S., Burr G.S. Holocene climate changes in southern West Siberia based on ostracod analysis // Russian Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57, № 4. PP. 574–585.
15. Zhilich S., Rudaya N., Krivonogov S., Nazarova L., Pozdnyakov D. Environmental dynamics of the Baraba forest-steppe (Siberia) over the last 8000 years and their impact on the types of economic life of the population // Quaternary Science Reviews. 2017. Vol. 163. PP. 152–161.
16. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слука З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула : Гриф и К°, 2001. 584 с.
17. Мугако А.Л. Особо охраняемые природные территории Новосибирской области. Памятники природы: ярамы. Новосибирск : Наука, 2006. 12 с.
18. Наумов А.В., Косых Н.П., Паршина Е.К., Артымук С.Ю. Верховые болота лесостепной зоны, их состояние и мониторинг // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 16, № 2. С. 251–259.
19. Кац Н.Я., Кац С.В. Об эволюции ландшафта южной части Западной Сибири по данным изучения торфяников // Труды конференции по спорово-пыльцевому анализу. М. : Изд-во МГУ, 1950. С. 63–79.
20. Хотинский Н.А. О положении границы между лесом и степью в Западной Сибири в эпохи среднего и позднего голоцена // Лесоведение. 1970. № 6. С. 40–47.
21. Пологова Н.Н., Дюкарев А.Г. Островные ярамы на юге таежной зоны Западной Сибири // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее : материалы международного полевого симпозиума / под ред. А.А. Титляновой, М.И. Дергачевой. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2014. С. 96–98.
22. Бляхарчук Т.А. История растительности юго-востока Западной Сибири в голоцене по данным ботанического и спорово-пыльцевого анализа торфа // Сибирский экологический журнал. 2000. № 5. С. 659–668.
23. Прейс Ю.И., Бобров В.А., Сороковенко О.Р. Особенности современной аккумуляции минерального вещества на олиготрофных болотах юга лесной зоны Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 336. С. 204–210.
24. Лапшина Е.Д., Пологова Н.Н., Мульдияров Е.Я. Болота водораздельных равнин юга лесной зоны Западной Сибири // Krylovia. Сибирский ботанический журнал. 2000. Т. 1, № 2. С. 38–43.
25. Романова Е.А. Типы болотных массивов и закономерное распределение их на территории Западной Сибири // Типы болот СССР и принципы их классификации / под ред. Т.Г. Абрамовой, М.С. Боч, Е.А. Галкиной. Л. : Наука, 1974. С. 167–174.
26. Лисс О.Л., Березина Н.А. Болота Западно-Сибирской равнины. М. : Изд-во МГУ, 1981. 208 с.
27. Косых Н.П. Биологическая продуктивность болот лесостепной зоны // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2009. № 3 (81). С. 87–90.
28. Косых Н.П. Растительность болот лесостепной зоны Западной Сибири // Экосистемы Центральной Азии: исследования, сохранение, рациональное использование : материалы / под ред. С.С. Курбатской. Кызыл, 2012. С. 291–293.
29. Косых Н.П. Влияние пожаров на биоразнообразие и продуктивность болот лесостепи // Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование / под ред. В.А. Андроханова. Новосибирск, 2013. С. 301–303.

30. ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. Введ. 2015-01-01. М. : Стандартинформ, 2014. 5 с.
31. ГОСТ 28245-89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. М. : Изд-во стандартов, 1989. 6 с.
32. Большой практикум: физикохимия, биология и комплексная переработка торфа : учеб. пособие / под ред. Л.И. Инишевой. Томск : Изд-во Томск. гос. пед. ун-та, 2007. 120 с.
33. Krachler M., Mohl C., Emons H., Shotyk W. Analytical procedures for the determination of selected trace elements in peat and plant samples by inductively coupled plasma mass spectrometry // *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. 2002. Vol. 57. PP. 1277–1289.
34. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.
35. Syso A.I., Peregon A.M. The features of peat-accumulation process at the southern slope of the Great Vasyugan Bog // *Contemporary Problems of Ecology*. 2009. Vol. 2, № 2. PP. 124–127.
36. Архипов С.А., Волкова В.С. Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. Новосибирск : Изд-во НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1994. 106 с.
37. Классификация и диагностика почв России / под ред. Л.Л. Шишова, В.Д. Тонконогова, И.И. Лебедевой, М.И. Герасимовой. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
38. Классификация и диагностика почв СССР / под ред. В.В. Егорова, Е.Н. Ивановой, В.М. Фридланда. М. : Колос, 1977. 225 с.
39. Матухин Р.Г., Матухина В.Г., Васильев И.П. и др. Классификация торфов и торфяных залежей Западной Сибири / под ред. Н.Н. Уланова. Новосибирск : Изд-во НИЦ ОИГТМ СО РАН, 2000. 90 с.
40. Денисенков В.П., Ивченко Т.Г., Кузьмина Е.Ю. Болота северной лесостепи Западно-Сибирской низменности в пределах Челябинской области // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Сер. 7. Геология, география*. 2013. № 4. С. 131–141.
41. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск : Наука, 1986. 193 с.

*Поступила в редакцию 15.05.2017 г.; повторно 30.07.2017 г.; 20.10.2017 г.;
принята 09.11.2017 г.; опубликована 26.12.2017 г.*

Авторский коллектив:

Степанова Вера Андреевна – канд. биол. наук, м.н.с. лаборатории биогеоценологии Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Россия, 630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2).

E-mail: verastep1985@rambler.ru

Волкова Ирина Ивановна – канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники Биологического института, с.н.с. лаборатории биоразнообразия и экологии Научно-исследовательского института биологии и биофизики Национального исследовательского Томского государственного университета (Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 36).

E-mail: volkovhome@yandex.ru

For citation: Stepanova VA, Volkova II. Genesis features of the Nikolaevka ryam in the forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2017;40:202-223. doi: 10.17223/19988591/40/12 In Russian, English Summary

Vera A. Stepanova¹, Irina I. Volkova²¹ Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation² Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

Genesis features of the Nikolaevka ryam in the forest-steppe of Western Siberia

Native ecosystems of the forest-steppe zone are most sensitive to climate change, which determines their prospects as a *scientific* object of both paleoclimatic and paleoecological reconstructions. The forest-steppe raised bogs (ryams) are unique objects; their peat deposit contains information about the genesis and evolution of bogs, as well as environmental conditions throughout their lifetime. A lack of knowledge about forest-steppe bogs' life in the past and the present determines the necessity of the study for a possible forecasting of their evolution under the conditions of native and anthropogenic factors. The aim of this work was to study the peculiarities of the peat deposit formation of the Nikolaevka ryam which is a representative of raised bogs of the forest-steppe of Western Siberia.

This research was carried out in the bog area in the Baraba forest-steppe near Nikolaevka-2 village (Ubinskiy district, Novosibirsk oblast). The main studies were conducted in August-September, 2008 and 2010. The object of the study was a pine-dwarf shrub-*Sphagnum* bog known as Nikolaevka ryam (N 55°09', E 79°02'), whose area is approximately 200 hectares. We studied the botanical composition, the degree of peat decomposition, the physicochemical properties (ash content, acidity), the age of the peats, as well as the content of microelements (B, Ga, Ce, Y) in the peat deposit. On the basis of quantitative assessment of microelement content, we calculated geochemical indicators of sedimentation - B/Ga and Ce/Y. The boron content and the B/Ga ratio are an indicator of the climate temperature change, while the Ce/Y ratio characterizes the moisture condition. We estimated the age of the peat deposit of the bog based on both the thickness of the bog peat and the average peat accumulation rate established earlier for other forest-steppe ryams.

According to the obtained results, the Nikolaevka ryam is characterized by a large capacity of peat deposit (about 4 m), although it is younger in age (no more than 2.6 thousand years) as compared with similar bogs of the forest-steppe of the Baraba lowland. As for peat deposits of forest-steppe ryams, a thick layer of the oligotrophic peat, a thin layer of the eutrophic peat and a very small interlayer of the mesotrophic peat one are typical. The peat contribution to the formation of the Nikolayevka ryam deposit is determined as 3:1:18 for "eutrophic-mesotrophic-oligotrophic" peats (See Fig. 2). The genesis of the bog and other forest-steppe ryams differs by the eutrophic stage of peat accumulation, which is characterized by the bedding wood-grassy, cotton grass *Sphagnum*, grass-*Sphagnum* and *Sphagnum* (*S. squarrosum*) peats. It may indicate the predominance of birch-grassy and cotton grass-*Sphagnum* communities in the early stages of evolution of the studied bog. The dynamics of the change in geochemical indicators, which is connected with the sedimentation conditions during the all-time peat deposit formation, is in good agreement with the known changes in climate conditions on the territory of the modern forest-steppe of Western Siberia in the Holocene. It was revealed that the formation of the Nikolaevka ryam occurred in a colder and wetter climate period. As noted, the climate changed from warmer and drier (about 2.0 thousand years ago) to colder and wetter (1.4-1.2 thousand years ago), and again, in the period of a small climate optimum, to a warm and dry climate (1.0-0.8 thousand years ago). Warming and aridization of climate conditions in the area of the bog occurs from 500 years to the present time. The obtained results highlight the

uniformity of the formation and evolution of raised bogs of the forest-steppe of Western Siberia. The weak variability of the botanical composition throughout the depth of the column, despite the significant changes in climate conditions and other external impacts, indicates a significant stability of the ecosystem at the oligotrophic stage of evolution. Thus, forest-steppe ryams of Western Siberia are unique chronicles of the events in the past, bearing in themselves valuable information on the variability of climate changes and other external conditions in the Holocene.

The article contains 3 Figures, 1 Table and 41 References.

Key words: ryam; bog formation; peat deposit; botanical composition of peat; geochemical indicators.

Funding: This work was partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No 16-34-50008/mol-nr).

Acknowledgment: The authors thank our colleagues from the Laboratory of Biogeocenology and Biogeochemistry of the Institute of Soil Science and Agrochemistry (Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk) - NP Myronycheva-Tokareva, Cand. Sci. (Biol.), NP Kosykh, Cand. Sci. (Biol.), NG Koronotova, Cand. Sci. (Biol.), EK Vishnyakova, Cand. Sci. (Biol.), YuV Ermolov, Cand. Sci. (Biol.), and SA Khudyaev, Cand. Sci. (Biol.), for help with the study. The authors are also grateful to NA Chernova, Cand. Sci. (Biol.) (Laboratory for Monitoring Forest Ecosystems, Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, Tomsk) for help in determining both the botanical composition and the decomposition degree of peat samples. Special thanks go to Dr. Oleg S. Pokrovsky (University of Toulouse, GET CNRS, France) for the possibility to use analytical mass spectrometry.

References

1. Rode AA. Pochvoobrazovatel'nyy protsess i evolyutsiya pochv [Soil formation process and soil evolution]. Moscow: OGIZ Publ.; 1947. 140 p. In Russian
2. Sokolov IA, Torgulyan VO. Vzaimodeystvie pochvy i sredy: pochva-pamyat' i pochva-moment [Soil and environment interaction: Soil-memory and soil-moment]. In: *Izucheniye i osvoeniye prirodnoy sredy* [Environment study and development]. Neyshtadt MI, editor. Moscow: Nauka Publ.; 1976. pp. 150-164. In Russian
3. Khotinskiy NA. Golotsen Severnoy Evrazii [The Holocene of northern Eurasia]. Moscow: Nauka Publ.; 1977. 199 p. In Russian
4. Orlova LA, Volkova VS. Golotsen Baraby: stratigrafiya i radiouglerodnaya khronologiya [The Holocene of the Baraba region: Stratigraphy and radiocarbon chronology]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1990. 125 p. In Russian
5. Preis YuI. Detailed reconstruction of bog functional state as a response to continental climate changes in Holocene (the middle taiga of Western Siberia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2015;326(2):90-102. In Russian, English Summary
6. Neronov VV, Koroleva EG. Biogeographical Uniqueness and Anthropogenic Transformation of the Tselau Upland Swamp Ecosystems (Kaliningrad oblast). *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2013;3:55-62. doi: [10.15356/0373-2444-2013-3-55-62](https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-3-55-62) In Russian
7. Buzmakov SA. Bioindication industrial transformation ecosystem in the oil fields as microbial complex. *Geograficheskii vestnik = Geographical Bulletin*. 2014;2:64-78. In Russian
8. Bezel VS, Zhuikova TV, Gordeeva VA. Geochemistry of grass biocenoses: Biogenic cycles of chemical elements at contamination of the environment with heavy metals. *Geochemistry International*. 2015;53(3):241-252. doi: [10.1134/S0016702915030039](https://doi.org/10.1134/S0016702915030039)

9. Zakh VA, Ryabogina NE, Chlachula J. Climate and environmental dynamics of the mid-to-late Holocene settlement in the Tobol-Ishim forest-steppe region, West Siberia. *Quaternary International*. 2010;220(1-2):95-101. doi: [10.1016/j.quaint.2009.09.010](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.09.010)
10. Krivonogov SK, Takahara H, Yamamuro M, Preis YuI, Khazina IV, Khazin LB, Kuzmin YaV, Safonova IYu, Ignatova NV. Regional to local environmental changes in southern Western Siberia: evidence from biotic records of mid to late Holocene sediments of Lake Beloye. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012;331-332:177-193. doi: [10.1016/j.palaeo.2011.09.013](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.09.013)
11. Krivonogov SK, Yamamuro M, Takahara H, Kazansky AY, Klimin MA, Bobrov VA, Safonova IY, Phedorin MA, Bortnikova SB. An abrupt ecosystem change in Lake Beloye, southern Western Siberia: Palaeoclimate versus local environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2012;331-332:194-206. doi: [10.1016/j.palaeo.2012.02.030](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.02.030)
12. Rudaya N, Nazarova L, Nourgaliev D, Palagushkina O, Papin D, Frolova L. Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: Vegetation, climate and humans. *Quaternary Science Reviews*. 2012;48:32-42. doi: [10.1016/j.quascirev.2012.06.002](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.06.002)
13. Zhilich SV, Rudaya NA, Krivonogov SK. Late Holocene climate and vegetation changes around lake Malye Chany. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*. 2016;7(1):68-75. Available at: <http://journals.eco-vector.com/EDGCC/article/view/6338> (accessed 10.09.2017). In Russian
14. Khazin LB, Khazina IV, Krivonogov SK, Kuzmin YaV, Prokopenko AA, Yi S, Burr GS. Holocene climate changes in southern West Siberia based on ostracod analysis. *Russian Geology and Geophysics*. 2016;57(4):574-585. doi: [10.1016/j.rgg.2015.05.012](https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.05.012)
15. Zhilich S, Rudaya N, Krivonogov S, Nazarova L, Pozdnyakov D. Environmental dynamics of the Baraba forest-steppe (Siberia) over the last 8000 years and their impact on the types of economic life of the population. *Quaternary Science Reviews*. 2017;163:152-161. doi: [10.1016/j.quascirev.2017.03.022](https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.03.022)
16. Liss OL, Abramova LI, Avetov NA, Berezina NA, Inisheva LI, Kurnishkova TV, Sluka ZA, Tolpysheva TYu, Shvedchikova NK. Bolotnye sistemy Zapadnoy Sibiri i ikh prirodookhrannoe znachenie [Bog systems of Western Siberia and their environmental meaning]. Tula: Grif and K° Publ.; 2001. 584 p. In Russian
17. Mugako AL. Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Novosibirskoy oblasti. Pamyatniki prirody: Ryamy [Protected natural areas of Novosibirsk oblast. Natural monuments: Ryams]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 2006. 12 p. In Russian
18. Naumov AV, Kosykh NP, Parshina EK, Artymuk SYu. Forest-steppe raised bogs, their condition and monitoring. *Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal = Siberian Ecological Journal*. 2009;16(2):251-259. In Russian
19. Katz NYa, Katz SV. Ob evolyusii landshafta yuzhnoy chasti Zapadnoy Sibiri po dannym izucheniya torfyanikov [On the landscape evolution of the southern Western Siberia according to peatland studies]. In: *Trudy konferentsii po sporovo-pyl'tsevomu analizu* [Proceedings of the conference on spore-pollen analysis]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1950. pp. 63-79. In Russian
20. Khotinskiy NA. O polozenii granitsy mezhdu lesom i step'yu v Zapadnoy Sibiri v epokhi srednego i pozdnego golozena [The boundary position between forest and steppe of Western Siberia during the Middle and Late Holocene]. *Lesovedenie = Russian Journal of Forest Science*. 1970;6:40-47. In Russian
21. Pologova NN, Dyukarev AG. Ostrovnye ryamy na yuge taezhnoy zony Zapadnoy Sibiri [Island ryams in southern taiga of Western Siberia]. In: *West Siberian Peatlands and Carbon Cycle: Past and present. Proceedings of the Fourth International Field Symposium*. Titlyanova AA, Dergacheva MI, editors. Tomsk: Tomsk State University Publ.; 2014. pp. 96-98. In Russian

22. Blyakharchuk TA. Istoriya rastitel'nosti yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri v golotsene po dannym botanicheskogo i sporovo-pyl'tsevogo analiza torfa [History of vegetation in the South-East of West Siberia in the Holocene by the data of botanic and spore-pollen analysis of peat]. *Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal = Siberian Ecological Journal*. 2000;5:659-668. In Russian
23. Preys YuI, Bobrov VA, Sorokovenko OR Features of recent mineral substance accumulation in oligotrophic bogs of the south of the forest zone of Western Siberia. *Tomsk State University Journal*. 2010;336:204-210. In Russian
24. Lapshina ED, Pologova NN, Mouldiyarov EYa. The watershed plain wetlands in south of forest zone of West Siberia. *Krylovia. Sibirskiy botanicheskii zhurnal*. 2000;1(2):38-43. In Russian
25. Romanova EA. Tipy bolotnykh massivov i zakonomernoe raspredelenie ikh na territorii Zapadnoy Sibiri [Types of bog massifs and their regular distribution in Western Siberia]. In: *Tipy bolot SSSR i printsipy ikh klassifikatsii* [Bog types of the USSR and principles of their classification]. Abramova TG, Botch MS, Galkina EA, editors. Leningrad: Nauka Publ.; 1974. pp. 167-174. In Russian
26. Liss OL, Berezina NA. Bolota Zapadno-Sibirskoy ravniny [Bogs of the West-Siberian plain]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1981. 208 p. In Russian
27. Kosykh NP. Biology productivity of bogs in forest-steppe. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta = Tomsk State Pedagogical University Bulletin*. 2009;3:87-90. In Russian
28. Kosykh NP. Rastitel'nost' bolot lesostepnoy zony Zapadnoy Sibiri [Bog vegetation of Western Siberia forest-steppe] In: *Ecosystems of Central Asia: Research, conservation, and rational utilization*. Proceedings of the XI Ubsunur International Symposium. Kurbatskaya SS, editor. Kyzyl: Tuva State University, Publ.; 2012. pp. 291-293. In Russian
29. Kosykh NP. Vliyanie pozharov na bioraznoobrazie i produktivnost' bolot lesostepi [Influence of fires on biodiversity and productivity of bogs in forest-steppe]. In: *Prirodno-tekhnogennyye komplekсы: rekultivatsiya i ustoychivoe funktsionirovanie* [Natural and technogenic complexes: reclamation and sustainable functioning. Proceedings]. Androkhanova VA, editor. Novosibirsk: Siberian Branch of the RAS Publ.; 2013. pp. 301-303. In Russian
30. *State Standard GOST 11306-2013*. Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya zol'nosti [Peat and peat products. Ash determination methods]. Introd. 01-01-2015. Moscow: Standartinform Publ., 2014. 5 p. In Russian
31. *State Standard GOST 28245-89*. Torf. Metody opredeleniya botanicheskogo sostava i stepeni razlozheniya [Peat. Methods for determining the botanical composition and decomposition degree]. Moscow: Standartinform Publ., 1989. 6 p. In Russian
32. *A Large Workshop: Physical chemistry, biology and complex peat processing*. Textbook. Inisheva LI, editor. Tomsk: TGPU Publ.; 2007. 120 p.
33. Krachler M, Mohl C, Emons H, Shotyk W. Analytical procedures for the determination of selected trace elements in peat and plant samples by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. 2002;57:1277-1289. doi: [10.1016/S0584-8547\(02\)00068-X](https://doi.org/10.1016/S0584-8547(02)00068-X)
34. Syso AI. Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoy Sibiri [Regularities of distribution of chemical elements in soil-formations rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk: Siberian Branch of the RAS Publ.; 2007. 277 p. In Russian
35. Syso AI, Peregon AM. The features of peat-accumulation process at the southern slope of the Great Vasyugan Bog. *Contemporary Problems of Ecology*. 2009;2(2):124-127. doi: [10.1134/S1995425509020064](https://doi.org/10.1134/S1995425509020064)
36. Arkhipov SA, Volkova VS. Geologicheskaya istoriya, landshafty i klimaty pleystotsena Zapadnoy

- Sibiri [Geological history, landscapes and climates of the Pleistocene in Western Siberia]. Novosibirsk: NITs OIGM, Siberian Branch of the RAS Publ.; 1994. 106 p. In Russian
37. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI, editors. Smolensk: Oykumena Publ.; 2004. 342 p. In Russian
38. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils in the USSR]. Egorova VV, Ivanova EN, Fridlanda VM, editors. Moscow: Kolos Publ.; 1977. 225 p. In Russian
39. Matukhin RG, Matukhina VG, Vasiliev IP. *Klassifikatsiya torfov i torfyanykh zalezhey Zapadnoy Sibiri* [Classification of peat and peat deposits in Western Siberia]. Ulanov NN, editor. Novosibirsk: NITs OIGM, Siberian Branch of the RAS Publ.; 2000. 90 p. In Russian
40. Denisenkov VP, Ivchenko TG, Kuzmina EYu. Bolota severnoy lesostepi Zapadno-Sibirskoy nizmennosti v predelakh Chelyabinskoy oblasti [Mires of northern forest-steppe of Western Siberia in Chelyabinsk oblast]. *Vestnik Saint-Petersburg University. Series 7*. 2013;4:131-141. In Russian, English Summary
41. Bakhnov VK. Biogeokhimicheskie aspekty bolotoobrazovatel'nogo protsessa [Biogeochemical aspects of bog formation]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1986. 193 p. In Russian

Received 15 May 2017; Revised 30 July 2017; 20 October 2017;

Accepted 09 November 2017; Published 26 December 2017

Author info:

Stepanova Vera A, Cand. Sci. (Biol.), Junior Researcher, Laboratory of Biogeocenology, Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 8/2 Akademika Lavrent'eva Pr., Novosibirsk 630090, Russian Federation.

E-mail: verastep1985@rambler.ru

Volkova Irina I, Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Department of Botany, Institute of Biology, Tomsk State University; Senior Researcher, Laboratory of Biodiversity and Ecology, Research Institute of Biology and Biophysics, Tomsk State University, 36 Lenin Ave., Tomsk 634050, Russian Federation.

E-mail: volkovhome@yandex.ru