

ВОЗРАСТ БОЛОТ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

© 2020 г. Е. М. Волкова^а, *, Е. Ю. Новенко^б, Т. К. Юрковская^с

^аТульский государственный университет, Тула, Россия

^бМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^сБотанический институт им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: convallaria@mail.ru

Поступила в редакцию 09.11.2018 г.

После доработки 18.03.2020 г.

Принята к публикации 06.04.2020 г.

В статье обсуждаются результаты радиоуглеродного датирования придонных образцов торфяных залежей 40 болот, расположенных в разных регионах Среднерусской возвышенности. Полученные данные показали, что наиболее “древними” являются болота, сформированные в локальных депрессиях на дне речных долин и склонах водоразделов, в основном, на западном скате возвышенности. Такие болота начали формироваться в пребореальном и бореальном периодах голоцена (10.7–8.8 тыс. кал. л.н.) в поймах рек, а также на песчаных террасах и склонах водоразделов. В атлантический период (8.8–5.7 тыс. кал. л.н.) образовалась значительная часть болот на разных элементах рельефа и в разных регионах изучаемой территории. В субатлантический период (2.5 тыс. кал. л.н.—наст. время) возникли болота в карстово-суффозионных понижениях на водоразделах. При этом, болотообразовательный процесс начался в западной части возвышенности, характеризующейся распространением хвойно-широколиственных лесов, а затем распространился на юг и юго-восток Среднерусской возвышенности, в зону широколиственных лесов и лесостепные регионы. По этой причине, наиболее “молодыми” являются водораздельные болота в лесостепной зоне.

Ключевые слова: болота, торфяные залежи, радиоуглеродное датирование, возраст болот, голоцен, Среднерусская возвышенность

DOI: 10.31857/S2587556620040135

ВВЕДЕНИЕ

Среднерусская возвышенность располагается на границе широколиственно-лесной и лесостепной природных зон. Комплекс физико-географических особенностей данной территории является причиной ее низкой заболоченности [6, 12, 17, 21, 25–27]. Доля болот составляет, в среднем, 0.5% площади [5, 27]. Несмотря на столь низкий показатель, заболоченность на севере и северо-западе, а также в восточной части возвышенности составляет 0.4–0.6%. На западе исследуемой территории доля площади болот увеличивается до 0.8–1.5%. Южная окраина Среднерусской возвышенности характеризуется крайне низкой заболоченностью – 0.2–0.4%, а минимальный показатель (0.01%) отмечен в ее центральной части. Такие отличия обусловлены особенностями рельефа и типом подстилающих пород, что определяет характер растительности болот, мощность и свойства торфяных отложений.

По западным и северо-западным окраинам (долина р. Ока), а также вдоль восточных склонов возвышенности (долина р. Воронеж), характеризующихся распространением песчаных отложе-

ний, сформированы террасные и водораздельные сосново-сфагновые болота, имеющие торфяные залежи мощностью не более 3–4 м. В центральной части возвышенности наиболее распространенными являются водораздельные болота, сформированные в карстово-суффозионных депрессиях глубиной до 10 и более метров, которые подстилаются глинистыми и/или суглинистыми озерными и делювиальными отложениями. Растительность здесь представлена березово-сфагновыми, очеретниково (*Rhynchospora alba*)- и осоково (*Carex lasiocarpa*)-сфагновыми сообществами. Торфяные отложения болот могут быть как целостными, так и сплавинными или разорванными. Их мощность варьирует от 0.5 до 10 м. На юге Среднерусской возвышенности доминируют пойменные болота, доля террасных и водораздельных болот незначительна. Растительный покров пойменных болот представлен различными травяными (рогозовые, тростниковые, др.) сообществами. Мощность торфяных отложений составляет, в среднем, 1–2, иногда – 4–5 м. Как видно, несмотря на низкую заболоченность,

Среднерусская возвышенность характеризуется разнообразием болотных экосистем.

Относительно времени возникновения болот на данной территории существуют противоречивые сведения. Наличие во флоре многих бореальных видов (*Andromeda polifolia*, *Chamaedaphne calyculata*, *Oxycoccus palustris*, *Eriophorum vaginatum*, *Carex limosa*, *Drosera rotundifolia*, сфагновые мхи, др.) позволило ряду ученых [1, 18] рассматривать сфагновые болота степной и лесостепной зон в качестве реликтов ледниковой эпохи. Однако в дальнейшем, на основе стратиграфии торфяных залежей, были представлены неоспоримые доказательства того, что "...группировки сфагновых болот в пределах песчаных террас рек не только не являются непосредственными приемниками соответствующих группировок гляциального времени, но и наоборот, являются одними из самых молодых растительных группировок степной зоны" [9]. Это обусловлено тем, что сфагновые болота располагаются в песчаных понижениях террас, где растения, характерные для северных болот, являются компонентом растительности мокрых лугов, осоковых болот, ольшаников. Идея геологической "молодости" таких болот поддержана и другими исследователями [9, 19].

Наиболее "древними" для исследуемой территории являются пойменные болота. А.В. Панин с соавт. обнаружили пойменные болота эпохи позднеледникова на месте бывших старичных озер в больших палеорусле в долинах среднего течения Сейма и его притоков [16, 37]. Как показывают радиоуглеродные датировки заполнения палеорусел, образование торфа в них сменило накопление озерных илов уже в раннем голоцене. Возраст образцов на нижней границе торфяных отложений пойменного болота в долине р. Свапы, правого притока р. Сейм относится к пребореальному периоду голоцена: 10300 ± 140 кал. л.н. (9120 ± 70 ^{14}C л.н., Ki-6995) и 10500 ± 250 кал. л.н. (9300 ± 120 ^{14}C л.н., GIN-11951; [32]). Пребореальный возраст имеет и пойменное болото в долине р. Тулица (правый приток р. Упы), на что указывает Т.А. Серебрянная [22] – 10520 ± 200 кал. л.н. (9320 ± 80 ^{14}C л.н., Tln-21). К.Ф. Хмелев [27] приводит сведения о болоте Двуречка-Есаулова, расположенном в пойме р. Воронеж и образовавшемся в пребореальный период, поскольку радиоуглеродный возраст придонного образца торфа на глубине 575–635 см составляет 10780 ± 250 кал. лет (9480 ± 190 ^{14}C лет). Бореальный возраст имеет пойменное Лупишкинское болото (бассейн верхнего Дона) – наиболее ранняя радиоуглеродная дата, приведенная Е.А. Спиридоновой [23] для этого болота 9730 ± 70 кал. л.н. (8750 ± 40 ^{14}C л.н., ГИН 1093).

При этом, водораздельные болота развиваются активно и являются "молодыми". Так, анализируя возникновение Зоринских болот (Курская

область), Н.И. Пьявченко [18] считает, что такие болота могли возникнуть 400–450 л.н. Н.С. Камышев [7] также отмечал активный рост болот, указывая, что сплавина толщиной 50 см может возникнуть за 70–75 лет. По мнению Н.В. Аничкиной [2], сплавинное болото на террасе р. Матыра имеет возраст сплавины 150–200 лет.

Диапазон варьирования данных о возрасте болот Среднерусской возвышенности широк. Болота могут быть как раннеголоценовыми образованиями, так и относительно "молодыми" экосистемами. Разрешить проблему возраста этих болот можно, получив радиоуглеродные датировки придонных образцов торфов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами данного исследования явились 40 болот (в том числе – 3 погребенных торфяника) (рис. 1), которые приурочены к депрессиям на разных геоморфологических уровнях, что влияет на характер подстилающих пород и гидрологический режим. От этих показателей зависит направление сукцессионного развития болот и скорость их вертикального роста. В соответствии с положением в рельефе, исследуемые болота были разделены на 3 группы: 1 – пойменные и балочные, 2 – террасные и склоновые водораздельные (на песчаных отложениях), 3 – водораздельные.

На болотах было проведено бурение (торфяной бур конструкции Инсторфа) с целью изучения структуры и мощности торфяных отложений. В максимально глубокой точке, являющейся "генетическим" центром болота, были отобраны образцы торфа для радиоуглеродного датирования. Образцы анализировали в Центре коллективного пользования "Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии" Института географии РАН (Москва), а также в Германии, в Центре изучения окружающей среды (Helmholtz Centre for Environmental Research, в дальнейшем, – UFZ) (табл. 1). Полученные результаты по C^{14} калибровали в программе Calib 7.1 с использованием калибровочной кривой IntCal13 [38].

В данной статье проведен анализ результатов датирования придонных торфов, что позволило охарактеризовать время и условия возникновения болот Среднерусской возвышенности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На водоразделах Среднерусской возвышенности болота формируются в депрессиях карстово-суффозионного происхождения. Заблачивание таких форм рельефа происходит разными путями, что зависит от их глубины и степени обводнения. Слабообводненные и неглубокие пониже-

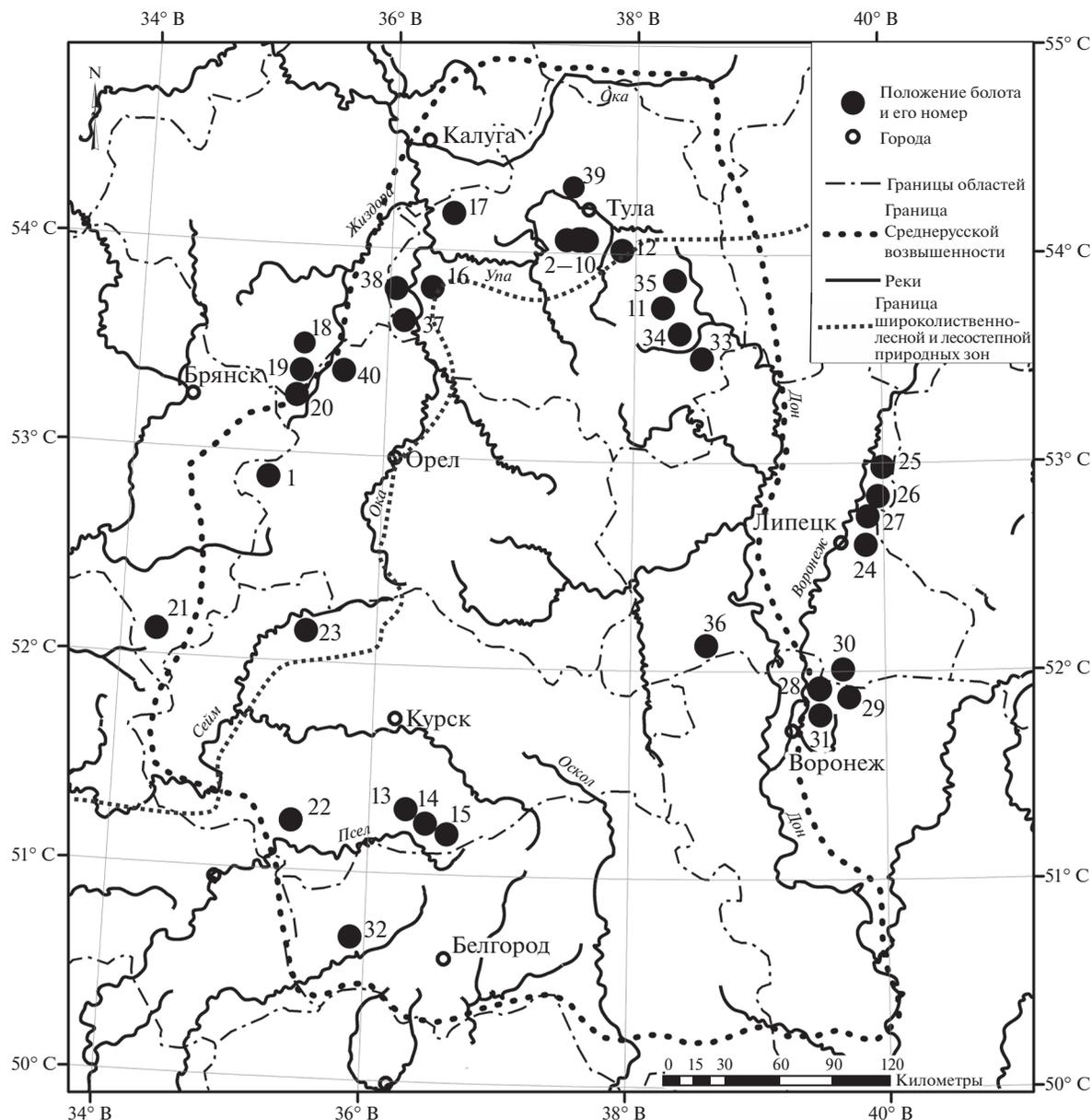


Рис. 1. Расположение модельных болот на территории Среднерусской возвышенности (номера болот – см. табл.).

ния заболачиваются “суходольным” путем, что сопровождается формированием древесно-травяных и травяных ценозов. Умеренное увлажнение на дне понижения обеспечивает формирование сообществ гипновых мхов. Сильнообводненные провалы характеризуются “сплавинным” зарастанием [4] (рис. 2).

Выделяется два периода в возникновении водораздельных карстово-суффузионных болот: атлантический и субатлантический. К атлантическому периоду относится образование болот в депрессиях со слабым и умеренным увлажнением. Это способствует вертикальному приросту торфяных отложений и формированию целостных зале-

жей (см. рис. 2а). Примерами болот являются: Источек – 6550 ± 90 кал. л.н., Индовище – 6860 ± 110 кал. л.н., расположенные в лесной части Среднерусской возвышенности. Реже такие болота образовывались в суффузионных депрессиях лесостепной зоны (болото Бахметьево – 8110 ± 80 кал. л.н.) (табл. 1).

В субатлантический период началось образование болот в понижениях не только со слабым и умеренным, но и с обильным увлажнением. Глубина провалов и интенсивность их обводнения определили образование торфяных отложений разной структуры.

Таблица 1. Результаты радиоуглеродного анализа придонных образцов торфа болот Среднерусской возвышенности

Лаб. № ИГ РАН/UFZ	Материал	Глубина, см	Радиоуглеродный возраст, ^{14}C л.н.	Калиброванный возраст (1σ)/кал. л.н.	Вероят- ность
<i>А. Водораздельные болота</i>					
		1. Болото Индовище (Орловская обл.)			
4664	Торф	520–530	6010 ± 80	6860 ± 110	1.00
		2. Болото Источек (Тульская обл.)			
3485	Торф	450–465	5760 ± 90	6550 ± 90	0.98
		3. Болото Бахметьево (Тульская обл.)			
4659	Торф	83–100	7300 ± 80	8110 ± 80	1.00
		4. Болото Лобынское-1 (Тульская обл.)			
4524	Торф	320–330	2650 ± 50	2770 ± 25	0.91
		5. Болото Лобынское-2 (Тульская обл.)			
4523	Торф	270–275	2720 ± 160	2880 ± 180	0.95
		6. Болото Быковка (Тульская обл.)			
4512	Торф	630–640	2230 ± 70	2230 ± 60	0.77
		7. Болото Кочки-1 (Тульская обл.)			
4487	Торф	290–300*	610 ± 70	615 ± 35	0.77
4515	Торф	640–650	1300 ± 80	1235 ± 65	0.92
		8. Болото Кочки-2 (Тульская обл.)			
4516	Торф	140–150*	820 ± 70	735 ± 55	1.00
		9. Болото Кочки-4 (Тульская обл.)			
4517	Торф	130–140*	1220 ± 70	1125 ± 60	0.74
		10. Болото Главное (Озерный-1) (Тульская обл.)			
UFZ-rus1	Торф	190–200*	945 ± 65	850 ± 35	1.00
UFZ-rus2	Торф	460–470	2375 ± 110	2450 ± 90	0.72
		11. Болото Любимое (Тульская обл.)			
UFZ-rus3	Торф	190–200*	901 ± 70	820 ± 100	1.00
UFZ-rus4	Торф	530–550	1212 ± 60	1140 ± 45	0.83
		12. Болото Телиптерисовое (Озерный-4) (Тульская обл.)			
UFZ-rus5	Торф	90–100*	123 ± 60	130 ± 60	0.51
UFZ-rus6	Торф	950–970	874 ± 60	790 ± 60	0.60
		13. Болото Зорино-27 (доп.) (Курская обл.)			
5247	Торф	290–300	2740 ± 50	2875 ± 50	1.00
		14. Болото Зорино-33 (Курская обл.)			
4831	Торф	150–160	810 ± 60	725 ± 45	0.95
		15. Болото Зорино-29 (Курская обл.)			
4828	Торф	300–320	2420 ± 70	2425 ± 45	0.68
<i>Б. Террасные и склоновые водораздельные болота</i>					
		16. Болото Клюква (Тульская обл.)			
4069	Торф	265–270	8350 ± 100	9370 ± 100	1.00
		17. Болото Варушицы (Тульская обл.)			
UFZ-rus7	Торф	50–55	1860 ± 75	1790 ± 80	1.00
		18. Болото Грушина Омшара (Орловская обл.)			
4666	Торф	120–127	6380 ± 80	7300 ± 40	0.57
		19. Болото во 2-м квартале Льговского лесничества (Орловская обл.)			
4668	Торф	245–250	7390 ± 80	8250 ± 75	0.95

Таблица 1. Окончание

Лаб. № ИГ РАН/UFZ	Материал	Глубина, см	Радиоуглеродный возраст, ¹⁴ C л.н.	Калиброванный возраст (1σ)/кал. л.н.	Вероят- ность
20. Болото у п. Жудерский (Орловская обл.)					
4385	Торф	95–100	3600 ± 80	3900 ± 80	0.81
21. Болото Клюквенное (д. Хинель, Брянская обл.)					
4671	Торф	170–180	7190 ± 80	8010 ± 60	0.80
22. Болото Клюквенное (Курская обл.)					
5249	Торф	350–360	6940 ± 80	7760 ± 80	1.00
23. Болото Моховое (д. Жидеево, Курская обл.)					
5251	Торф	60–65	3430 ± 70	3660 ± 70	0.75
24. Болото Островок (Липецкая обл.)					
5019	Торф	280–300	6800 ± 80	7635 ± 60	1.00
25. Болото Сосновка (Липецкая обл.)					
5020	Торф	300–310	3500 ± 70	3745 ± 85	0.97
26. Болото Осинское (Липецкая обл.)					
5022	Торф	220–230	2840 ± 70	2950 ± 90	0.95
27. Болото Лебяжье (Липецкая обл.)					
5017	Торф	180–200	1680 ± 60	1580 ± 50	0.78
28. Ступинское болото (Воронежский гос. заповедник)					
5788	Торф	160–169	4130 ± 70	4640 ± 70	0.66
29. Болото в квартале 1468 (Воронежский гос. заповедник)					
5783	Торф	115–125	2050 ± 70	2010 ± 55	0.85
30. Болото Клюквенное (Воронежский гос. заповедник)					
5784	Торф	100–110	1290 ± 60	1230 ± 50	1.00
31. Болото Лебяжье (Воронежский гос. заповедник)					
5786	Торф	100–110	1350 ± 60	1276 ± 40	0.82
32. Болото Дубино (Белгородская обл.)					
5246	Торф	215–225	3750 ± 60	4100 ± 45	0.55
В. пойменные и балочные болота					
33. Большеберезовское болото (Тульская обл.)					
3854	Торф	200–205	6310 ± 80	7245 ± 85	0.95
34. Болото Подкосьмово (Тульская обл.)					
UFZ-rus8	Торф	110–120	4405 ± 85	5025 ± 100	0.80
35. Лупишкинское болото (Тульская обл.)					
4383	Торф	420–430	2230 ± 100	2220 ± 100	0.85
36. Болото Яковлево (Липецкая обл.)					
5023	Торф	435–450	2830 ± 60	2950 ± 90	0.95
37. Болото Холм (Тульская обл.)					
UFZ-rus9	Торф	270–280	1336 ± 75	1250 ± 65	1.00
38. Погребенный торфяник Ретюнь (Тульская обл.)					
4521	Торф	1030–1040**	5490 ± 80	6300 ± 45	0.58
39. Погребенный торфяник Яковлевское (Тульская обл.)					
5036	Торф	115–120	2540 ± 70	2545 ± 50	0.51
40. Погребенный торфяник у с. Селихово (Орловская обл.)					
4313	Торф	209–211	5980 ± 80	6830 ± 100	1.00

* Нижняя часть сплавины; ** торфяная залежь перекрыта 10-метровой толщей аллювиальных и делювиальных отложений.

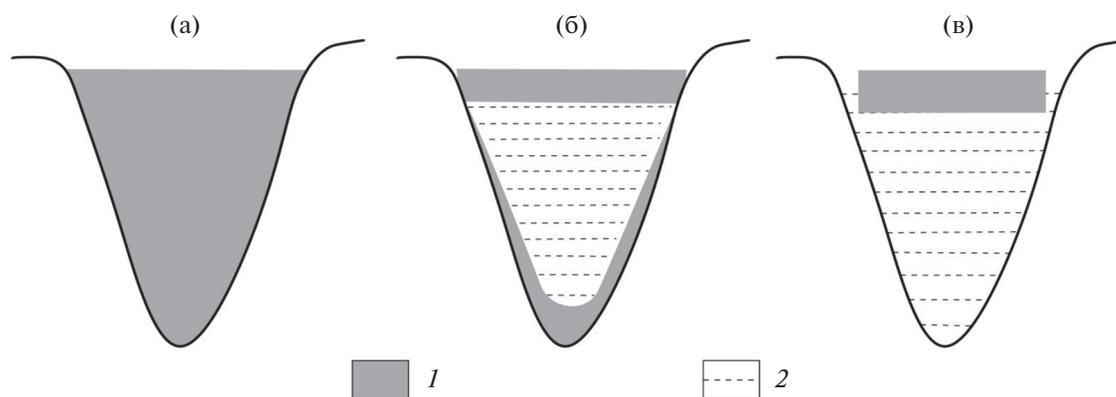


Рис. 2. Структура торфяных залежей болот: (а) – целостная, (б) – разорванная, (в) – сплавинная. Условные знаки: 1 – торфяные отложения, 2 – вода.

Заболачивание “со дна” (“*bottom up*”) [31] характерно для разных по глубине депрессий (от 1–1.5 до 10 м) со слабым и умеренным увлажнением, в результате чего формируются торфяные отложения целостной структуры (см. рис. 2а). Придонные слои таких отложений подтверждают образование болот в конце суббореального – начале субатлантического периодов: болото Зорино-27 – 2875 ± 50 кал. л.н., Лобынское-1 – 2770 ± 25 кал. л.н., Быковка – 2230 ± 60 кал. л.н. Умеренное увлажнение понижений грунтовыми водами обеспечило их активное заболачивание и в более позднее время. Так, образование болота Зорино-33 началось 725 ± 45 кал. л.н.

Изменение водного режима в процессе развития болот, сопровождающееся резким обводнением торфяных отложений на дне понижения с последующим их отрывом и всплыванием (путь возникновения “*bottom up*” [31]), способствовало образованию разорванных залежей, состоящих из придонной и сплавинной частей [4] (см. рис. 2б). Однако по времени возникновения такие болота сходны с описанными выше, что подтверждают результаты датирования придонных образцов торфа: болото Лобынское-2 – 2880 ± 180 кал. л.н., Зорино-29 – 2425 ± 45 кал. л.н. Некоторые болота с разорванной залежью образовались позже, в середине субатлантического периода: болота Кочки-1 – 1235 ± 65 кал. л.н., Любимое – 1140 ± 645 кал. л.н., Телиптерисовое – 790 ± 60 кал. л.н. Наличие на дне таких депрессий мощных слоев озерных глин (до 0.5–1 м), подстилающих торфяные отложения, свидетельствует о продолжительной “озерной” стадии в их генезисе. Важно отметить, что болота с указанной структурой торфяных отложений характеризуются наличием сплавин, имеющей разное происхождение [4]. Датирование нижних горизонтов сплавин показало, что, несмотря на мощность (до 2–3 м), они являются весьма “молодыми” и характеризуются активным вертикальным приростом [4, 5]: Кочки-1 –

615 ± 35 кал. л.н., Главное (Озерный-1) – 850 ± 35 кал. л.н., Любимое – 820 ± 100 кал. л.н., Телиптерисовое – 130 ± 60 кал. л.н. Полученные значения свидетельствуют об увеличении обводнения депрессий в указанные временные периоды, что могло привести как к затоплению придонных торфов и формированию сплавин на поверхности воды, так и к отрыву и всплыванию верхних слоев залежей.

Достаточно “молодыми” являются и “собственно сплавинные” болота (см. рис. 2в). Их образование связано с зарастанием поверхности карстовых озер торфяными плавнями. В процессе развития таких болот происходит увеличение толщины сплавин. При этом ее нижние части отделяются от основного “тела” и опускаются на дно или висят в толще воды [4]. Такой путь заболачивания называется “*top down*” [31]. Датирование нижних горизонтов сплавин показало, что их возраст также соответствует второй половине субатлантического периода: болото Кочки-4 – 1125 ± 60 кал. л.н., болото Кочки-2 – 735 ± 55 кал. л.н. Высокое обводнение сплавин обеспечивает слабое разложение растительных остатков и интенсивный прирост торфа. Следует отметить, что такие болота образуются в наиболее глубоких депрессиях (до 10–20 м) [4].

Таким образом, водораздельные болота Среднерусской возвышенности имеют разный возраст. Они формировались в условиях разного увлажнения, преимущественно, в атлантический и субатлантический периоды.

Редкие для региона олиготрофные болота, состав растительности которых стал основанием для разработки “реликтовой” гипотезы их происхождения, приурочены к песчаным отложениям речных террас и склонов водоразделов. Специфичными для таких геоморфологических условий являются сосново-, березово-, кустарничково-сфагновые и осоковые (*Carex elata*) болота.

Они развиваются в условиях слабого или умеренного увлажнения и характеризуются целостными залежами (см. рис. 2а).

Возникновение многих болот относится к концу бореального — началу атлантического периодов (7–9 тыс. кал. лет назад) (табл. 1). Наиболее “древними” являются болота, расположенные в долине р. Ока: болото Клюква — 9370 ± 100 кал. л.н., болота Орловского Полесья (болото во 2 квартале Льговского лесничества — 8250 ± 75 кал. л.н.), а также болото Клоквенное Брянской области (8010 ± 60 кал. л.н.) в долине р. Сев (приток р. Нерусса, западный скат Среднерусской возвышенности).

В течение атлантического периода продолжается заболачивание депрессий в долине р. Ока (болото Грушина Омшара — 7300 ± 40 кал. л.н.), образуются болота в долинах р. Псел (болото Клоквенное, Курская обл. — 7760 ± 80 кал. л.н.) и р. Матыра (болото Островок — 7635 ± 60 кал. л.н.).

Вторая “волна” активного заболачивания на исследованной возвышенности приходится на суббореальный период. К этому периоду относится образование болот на террасах рек Воронеж (болота Ступинское — 4640 ± 70 кал. л.н., Сосновка — 3745 ± 85 кал. л.н., Осинское — 2950 ± 90 кал. л.н.), Свапа (болото Моховое — 3660 ± 70 кал. л.н.), Ворскла (болото Дубино — 4100 ± 45 кал. л.н.), а также по склонам водоразделов долины р. Ока (болото у п. Жудерский — 3900 ± 80 кал. л.н.) [14].

Наиболее “молодыми” среди болот рассматриваемой группы являются экосистемы, возникшие в субатлантический период на террасах рр. Ока (болото Варушицы — 1790 ± 80 кал. л.н.), Воронеж (болото Лебяжье, в Липецкой области — 1580 ± 50 кал. л.н.; болото Лебяжье, Воронежский заповедник — 1275 ± 50 кал. л.н.) и Усмани (болото Клоквенное, Воронежский заповедник — 1230 ± 50 кал. л.н.; болото в квартале 1468, Воронежский заповедник — 2010 ± 55 кал. л.н.).

Таким образом, болотообразовательный процесс на песчаных отложениях речных террас и склонов водоразделов протекал в течение всего голоцена. Наиболее активно образование болот началось по западным и северо-западным границам Среднерусской возвышенности в бореальный и атлантический периоды. На восточных склонах возвышенности, на границе с Окско-Донской низменностью формирование болот началось позднее. Важно отметить, что болота этой группы формировались и в субатлантический период, особенно — в юго-восточной части возвышенности (Липецкая и Воронежская области).

Наиболее распространенными на Среднерусской возвышенности являются пойменные болота — их доля составляет не менее 85% от общей площади болот. Периодическое увлажнение аллювиальными водами обеспечило вертикальный

прирост торфа и формирование целостных торфяных залежей (см. рис. 2а). Несмотря на обширные площади, пойменные болота подверглись интенсивному антропогенному воздействию, поэтому торфяные отложения большинства болот разработаны, а датировки, отражающие время образования торфов на разных глубинах, малочисленны. Полученные нами материалы показали, что возникновение пойменных болот на исследуемой территории также приурочено, в основном, к атлантическому и субатлантическому периодам голоцена.

К атлантическому периоду относится образование Большеберезовского болота — 7240 ± 80 кал. л.н. (пойма р. Непрядва, приток р. Дон), погребенных торфяников у д. Ретюнь (пойма р. Вырка, приток р. Ока) — 6300 ± 45 кал. л.н. (табл. 1 В) и Гришин пруд у с. Селихово (пойма р. Моховица, приток р. Неполодь, бассейн р. Ока) — 6830 ± 100 кал. л.н. [16, 35, 36]. Позднее, в суббореальном периоде образовалось болото Подкосьюмово — 5025 ± 100 кал. л.н. (пойма р. Непрядва).

В субатлантическом периоде началось образование ныне погребенного торфяника Яковлевское (пойма р. Упа, приток р. Ока) — 2545 ± 50 кал. л.н. и Лупишкинского болота (пойма р. Дон, Тульская область) — 2220 ± 100 кал. л.н.

Однако, сравнение полученных нами данных с имеющимися в литературе [23, 27, 29, 33, 37] свидетельствует о начале образования болот в поймах рек в раннем голоцене, что позволяет рассматривать некоторые из них как наиболее “древние” экосистемы Среднерусской возвышенности. Активное заболачивание пойм продолжалось в течение всего голоцена. По этой причине пойменные болота являются наиболее распространенными.

С долинами рек связаны балки, поскольку их устья обычно впадают в пойму. Балочные болота являются “молодыми”, несмотря на значительную мощность торфяных отложений. Болото у с. Яковлево (долина р. Кобылья Снова) имеет мощность залежи 5 м, при этом на глубине 450 см возраст торфа — 2950 ± 90 кал. лет. Придонный образец торфа болота у д. Холм (долина р. Ока) на глубине 280 см имеет возраст 1250 ± 65 лет. Мощность торфяных отложений обусловлена интенсивным привносом минеральной составляющей, что обеспечивает вертикальный прирост залежи.

Проведенное обобщение имеющихся материалов и сравнение генезиса болот на разных элементах рельефа позволяет констатировать их отличия по времени возникновения.

Наиболее “древними” являются болота, возникшие в поймах рек, а также в понижениях на песчаных речных террасах и склонах водоразделов. Их развитие началось в пребореальном и бореальном периодах (10.7–8.8 кал. л.н.). В это же время отмечено начало болотообразовательного

процесса в таежной зоне [8, 10, 11, 13, 15, 30, 32, 34]. При этом, на Среднерусской возвышенности этот процесс наиболее активно протекал в долинах рек (как в поймах, так и на террасах), приуроченных к западным скатам возвышенности. Основная часть Среднерусской возвышенности оставалась практически незаболоченной. В других лесостепных регионах, включая Западную Сибирь и Красноярский край [11, 20, 24], доля болот в этот период была также крайне низка, поскольку болотообразовательный процесс протекал только на приподнятых и защищенных от эрозии участках. В конце бореального периода образовались наиболее древние болота центральной части Приволжской возвышенности [3].

В атлантический период голоцена (8.8–5.7 тыс. кал. л.н.) происходило активное заболачивание депрессий в поймах рек, на террасах и водоразделах. В течение термического максимума голоцена образовалась значительная часть болот не только исследуемого региона, но и Евразии в целом [28, 30]. В частности, следует отметить возникновение большинства болот в это время на юге лесной зоны Западной Сибири, включая болота полосы подтайги [10, 11]. В южной Финляндии начало накопления торфяных залежей большого количества болот относится к периоду 8.0–7.3 тыс. кал. л.н. [32]. Следует отметить, что именно в этот период начинается заболачивание слабо- и умеренно-увлажненных карстово-суффозионных депрессий на водоразделах Среднерусской возвышенности. При этом, значительная часть таких понижений в это время представляла собой озера.

Изменение климатических условий в суббореальном периоде голоцена (5.7–2.6 тыс. кал. л.н.) способствовало постепенному обмелению карстовых озер, что привело к их последующему заболачиванию в субатлантическом периоде. Образование в этот период водораздельных болот подтверждает идею их “молодости” [4, 5]. При этом, гидрологический режим таких болот был различен, что обеспечило возникновение торфяных залежей различной структуры.

Пойменные, балочные и террасные болота также возникали в субатлантический период. Важно, что именно в суббореальном–субатлантическом периодах началось формирование многих болот в Канской лесостепи, а также островных “рямов” и займищ в лесостепи Западной Сибири [11, 24].

Сравнение времени возникновения болот на Среднерусской возвышенности с другими регионами свидетельствует о сохранении общей тенденции болотообразовательного процесса в голоцене: возникновение болот началось в таежной зоне, а затем распространилось в зону широколиственных лесов и лесостепные регионы. По

этой причине болота в лесостепи являются более “молодыми”. При этом, спецификой Среднерусской возвышенности являются водораздельные карстово-суффозионные болота, возникшие в конце субатлантического периода и характеризующиеся активным вертикальным приростом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение времени возникновения болот на Среднерусской возвышенности показало, что болотообразовательный процесс начался в пребореальный и бореальный периоды голоцена в речных долинах, поэтому наиболее “древними” являются пойменные болота, а также болота песчаных террас и склонов водоразделов. В атлантический период образование болот продолжилось в карстово-суффозионных депрессиях на водоразделах. Избыточное увлажнение таких депрессий способствовало их последующему заболачиванию в субатлантический период. По этой причине самыми “молодыми” на рассматриваемой территории являются водораздельные болота.

Таким образом, несмотря на низкую заболаченность, болота на Среднерусской возвышенности формировались на разных элементах рельефа и в разные периоды голоцена. Это является основанием для мониторинга за состоянием болотных экосистем региона.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при частичной поддержке проекта РФФИ № 19-44-710001. Обработка радиоуглеродных датировок выполнена Е.Ю. Новенко в рамках темы Государственного задания № 0148-2019-0005.

FUNDING

This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 19-44-710001). Processing and analysis of radiocarbon dating was fulfilled by E.Yu. Novenko within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS, no. 0148-2019-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алехин В.В.* Зональная и экстразональная растительность Курской губернии в связи с разделением губернии на естественные районы (по результатам экспедиции 1919 г.) // Почвоведение. 1924. № 1–2. С. 98–130.
2. *Аничкина Н.В.* Болотные экосистемы лесостепных территорий на стыке Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 127–131.
3. *Благовещенская Н.В.* Опыт сопоставления возраста болот и голоценовой истории растительности Ульяновского Предволжья и сопредельных территорий // Бот. журн. 1985. Т. 70. № 11. С. 1452–1464.

4. Волкова Е.М. Редкие болота северо-востока Среднерусской возвышенности: растительность и генезис // Бот. журн. 2011. Т. 96. № 12. С. 1575–1590.
5. Волкова Е.М., Новенко Е.Ю., Носова М.Б., Зацаринная Д.В. Динамика развития водораздельных болот на южной границе леса в Европейской России // Бюлл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. Биол. 2017. Т. 122. Вып. 1. С. 47–59.
6. Дымов В.С., Сычев А.И., Гуркин В.В. Недра Тульской области. Тула, 2000. 124 с.
7. Камышев Н.С. Водораздельные сфагновые болота Окско-Донской низменности. Бюлл. об-ва исп. природы. 1967. С. 66–75.
8. Кузнецов О.Л. Структура и динамика растительного покрова болотных экосистем Карелии: Дис. ... д-ра биол.наук. Петрозаводск, 2006. 322 с.
9. Лавренко Е.М. О генезисе сфагновых болот в пределах степной зоны в бассейнах рр. Буга, Днепра и Дона // Советская ботаника. 1936. № 3. С. 25–42.
10. Лапшина Е.Д. Болота юго-востока Западной Сибири: Дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2004. 512 с.
11. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К, 2001. 584 с.
12. Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А. Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть. Кавказ. М.: Изд-во “Мысль”, 1976. 448 с.
13. Нейштадт М.И. Возникновение и скорость развития процесса заболачивания / Научные предпосылки освоения болот Западной Сибири. М.: Наука, 1977. С. 39–47.
14. Новенко Е.Ю., Руденко О.В., Волкова Е.М., Зюганова И.С. Динамика растительности национального парка “Орловское полесье” в позднем голоцене // Уч. зап. Орлов. гос. ун-та. Сер.: Естественные, технические и медицинские науки. 2014. Т. 3. № 59. С. 302–310.
15. Новенко Е.Ю., Цыганов А.Н., Волкова Е.М., Бабешко К.В., Лаврентьев Н.В., Мазей Ю.А. Изменения растительности и климата на северо-западе Среднерусской возвышенности в голоцене // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 1. С. 103–114.
16. Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Баслеров С.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н., Шеремецкая Е.Д. Основные этапы истории речных долин Центра Русской равнины в позднем валдае и голоцене: результаты исследований в среднем течении р. Сейм // Геоморфология. 2001. № 2. С. 19–34.
17. Пачоский И.К. Основные черты флоры юго-западной России. Херсон, 1910. 430 с.
18. Пьявченко Н.И. Зоринские болота Курской области // Тр. Ин-та леса АН СССР. 1953. Т. XIII. С. 158–175.
19. Пьявченко Н.И. Торфяники Русской лесостепи. М., 1958. 191 с.
20. Родионова А.Б., Гренадёрва А.В. Торфяные почвы Канской лесостепи (генезис и классификация) // Вестн. КрасГАУ. 2016. № 4. С. 65–72.
21. Сафронова И.Н., Юрковская Т.К. Зональные закономерности растительного покрова равнин Европейской России и их отображение на карте // Бот. журн. 2015. Т. 100. № 11. С. 1121–1141.
22. Серебрянная Т.А. Влияние человека на растительность Среднерусской возвышенности (по палинологическим данным) / Антропогенные факторы в истории развития современных экосистем. М.: Наука, 1981. С. 52–60.
23. Спиридонова Е.А. Эволюция растительного покрова бассейна Дона в верхнем плейстоцене–голоцене. М.: Наука, 1991. 221 с.
24. Степанова В.В., Волкова И.И. Особенности формирования верховых болот в лесостепи Западной Сибири: Материалы Пятого международного полевого симпозиума “Западно-сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее”. Томск: Национальный исследовательский Томский гос. ун-т, 2017. С. 118–120.
25. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации / под ред. А.А. Сирина и Т.Ю. Минаевой. М.: ГЕОС, 2001. 190 с.
26. Чикишев А.Г. Карст Русской равнины. М., 1978. 304 с.
27. Хмелев К.Ф. Закономерности развития болотных экосистем Центрального Черноземья. Воронеж: изд-во Воронеж. ун-та, 1985. 168 с.
28. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
29. Borisova O., Sidorchuk A., Panin A. Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data // Catena. 2006. № 66. P. 53–73.
30. Elina G.A., Lukashov A.D., Yurkovskaya T.K. Late glacial and Holocene palaeovegetation and palaeogeography of Eastern Fennoscandia. Helsinki: Finnish Env. Inst., 2010. V. 4. 300 p.
31. Gaudig G., Couwenberg J., Joosten H. Peat accumulation in kettle holes: bottom up or top down? Mires and Peat. 2006. V. 1. Art. 6.
32. Korhola A. Holocene climatic variations in southern Finland reconstructed from peat-initiation data // Holocene. 1995. V. 5. № 1. P. 43–57.
33. MacDonald G.M., Beilman D.W., Kremenetski K.V., Sheng Y.W., Velichko A.A. Rapid early development of circumarctic peatlands and atmospheric CH₄ and CO₂ variations // Science. 2006. № 5797. P. 285–288.
34. Novenko E., Tsyganov A., Rudenko O., Volkova E., Zuyganova I., Babeshko K., Olchev A., Losbenev I., Payne R., Mazei Yu. Mid- and Late-Holocene vegetation history, climate and human impact in the western Mid-Russian Upland: new data and a regional synthesis // Biodiversity and Conservation. 2016. V. 25. № 12. P. 2453–2472.
<https://doi.org/10.1007/s10531-016-1051-8>
35. Novenko E., Volkova E. The Middle and Late Holocene Vegetation and Climate History of the Forest-steppe Ecotone Area in the Central Part of European Russia // Special Issue on “Environment Evolution and Human Activity in the Late Quaternary: Geographical Pat-

- tern". Geographical Review of Japan. Ser. B. 2015. V. 87. № 2. P. 91–98.
36. Novenko E.Yu., Volkova E.M., Glasko M.P., Zuganova I.S. Paleoeological evidence for the middle and late Holocene vegetation, climate and land use in the upper Don River basin (Russia) // *Veget. Hist. Archaeobot.* 2012. V. 21. P. 337–352.
37. Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., Matlakhova E., Moska P., Novenko E. Two Late Pleistocene climate-driven incision/aggradation rhythms in the Middle Dnieper River basin, West-Central Russian Plain // *Quar. Sci. Rev.* 2017. V. 166. P. 266–288.
38. Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafliðason H., Hajdas I., Hatte C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., Van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP // *Radiocarbon.* 2013. V. 55. № 4. P. 1869–1887.

The Age of Mires of the Central Russian Upland

E. M. Volkova¹ *, E. Yu. Novenko², and T. K. Yurkovskaya³

¹Tula State University, Tula, Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Komarov Botanical Institute, Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russia

*e-mail: convallaria@mail.ru

The article presents results of radiocarbon dating which were done for bottom samples of peat deposits of 40 mires from different regions of the Central Russian Upland. The results showed that the most “ancient” mires were formed on the bottom of river valley depressions and slopes of watersheds, confined mainly to the western slopes of the upland. Such mires began to form in the preboreal and boreal periods of the Holocene (10.7–8.8 ka BP) in floodplains, on sandy terraces and slopes of watersheds. In the Atlantic period (8.8–5.7 ka BP) a significant part of the mires on different terrain elements and in different regions was formed. In the Subatlantic period (2.5 ka BP–present time) the mires in karst-suffusion depressions on watersheds was formed. The process of mire formation began in the western part of the upland, which is characterized by the distribution of coniferous and broad-leaved forests. Later the process was spread to the south and south-east of the Central Russian Upland, to deciduous forests zone and forest-steppe areas. For this reason, the “youngest” mires are formed on the watersheds in the forest-steppe zone.

Keywords: mires, peat deposits, radiocarbon dating, age of mires, Holocene, Central Russian Upland

REFERENCES

- Alekhin V.V. Zonal and extrazonal vegetation of Kursk province in connection with the division of the province into natural areas (based on the results of the expedition in 1919). *Pochvovedenie*, 1924, nos. 1–2, pp. 98–130. (In Russ.).
- Anichkina N.V. Mire ecosystems of forest-steppe territories at the junction of the Central Russian Upland and the Oka-Don Lowland. *Usp. Sovremennogo Estestvoznaniya*, 2016, no. 3, pp. 127–131. (In Russ.).
- Blagoveshchenskaya N.V. The experience of comparison of age of mires and Holocene history of vegetation of the Ulyanovsk-Volga region and adjacent territories. *Botan. Zh.*, 1985, vol. 70, no. 11, pp. 1452–1464. (In Russ.).
- Volkova E.M. The rare mires of the north-eastern Central Russian Upland: vegetation and genesis. *Botan. Zh.*, 2011, vol. 96, no. 12, pp. 1575–1590. (In Russ.).
- Volkova E.M., Novenko E.Yu. Nosova M.B. Zatsarinaya D.V. The dynamics of development of watershed bogs on the southern border of the forest in European Russia. *Byull. Mosk. O–va Ispytatelei Prirody, Ser. Biol.*, 2017, vol. 122, no. 1, pp. 47–59. (In Russ.).
- Dimov V.S., Sychev A.I., Gurkin V.V. *Geologiya Tul'skoi oblasti* [The Geology of Tula Oblast]. Tula: Priok. Publ., 2000. 124 p.
- Kamyshev N.S. The watershed sphagnum mires of the Oka-Don Lowland. *Byull. Mosk. O–va Ispytatelei Prirody*, 1967, vol. 72, no. 2, pp. 66–75. (In Russ.).
- Kuznetsov O.L. The structure and dynamics of vegetation of mire ecosystems of Karelia. *Doctoral (Biol.) Dissertation*. Petrozavodsk: Inst. Biol., Russ. Acad. Sci., 2006. 322 p.
- Lavrenko E.M. About genesis of sphagnum mires in area of the steppe zone in the basins of Bug, Dnieper and Don. *Sovetskaya Botanika*, 1936, no. 3, pp. 25–42. (In Russ.).
- Lapshina E.D. The mires of the south-east of Western Siberia. *Doctoral (Biol.) Dissertation*. Tomsk: Tomsk. State Univ., 2004. 512 p.
- Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A. *Bolotnye sistemy Zapadnoi Sibiri i ikh prirodookhrannoe znachenie* [The Mire Systems of Western Siberia and Their Environmental Significance]. Tula: Grif Publ., 2001. 584 p.
- Mil'kov F.N., Gvozdet'skii N.A. *Fizicheskaya geografiya SSSR. Obshchii obzor. Evropeiskaya chast'. Kavkaz* [Physical Geography of the USSR. General Overview.

- European Part. Caucasus]. Moscow: Mysl' Publ., 1976. 448 p.
13. Neishtadt M.I. The origin and development of paludification processes. In *Nauch. predposylki osvoeniya bolot Zaanadnoi Sibiri* [Scientific Prerequisites for the Development of the Mires Areas in Western Siberia]. Moscow: Nauka Publ., 1977, pp. 39–47. (In Russ.).
 14. Novenko E.Yu., Rudenko E.Yu., Volkova E.M., Zuganova I.S. The dynamics of vegetation of the national Park "Orlovskoe Polesie" in the late Holocene. *Uch. Zap. Orlov. Gos. Univ., Ser. Estestv., Tekh. Med. Nauki*, 2014, vol. 3, no. 59, pp. 302–310. (In Russ.).
 15. Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., Volkova E.M., Babeshko K.V., Lavrent'ev N.V., Mazei Yu.A. Changes of vegetation and climate in the North-West of the Central Russian Upland in the Holocene. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2016, no. 1, pp. 103–114. (In Russ.).
 16. Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Baslerov S.V., Borisova O.K., Kovalyukh N.N., Sheremetskaya E.D. The main stages of river valley development during late Valdai and Holocene (the middle Seim River basin as an example). *Geomorfologiya*, 2001, no. 2, pp. 19–34. (In Russ.).
 17. Pachoskii I.K. *Osnovnye cherty flory yugo-zapadnoi Rossii* [The Main Features of the Flora of South-Western Russia]. Kherson, 1910. 430 p.
 18. P'yavchenko N.I. Zorinsky mires of Kursk oblast. *Tr. Inst. Lesa*, 1953, vol. 13, pp. 158–175. (In Russ.).
 19. P'yavchenko N.I. *Torfyaniki Russkoi lesostepi* [The Peat Bogs of Russian Forest-Steppe]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1958. 191 p.
 20. Rodionova A.B., Grenaderova A.V. The peat soils of Kansk forest-steppe (genesis and classification). *Vestn. Krasnoyarsk. Gos. Agrarn. Univ.*, 2016, no. 4, pp. 65–72. (In Russ.).
 21. Safronova I.N., Yurkovskaya T.K. Zonal regularities of vegetation cover of the plains of European Russia and their display on the map. *Botan. Zh.*, 2015, vol. 100, no. 11, pp. 1121–1141. (In Russ.).
 22. Serebryannaya T.A. The human impact on vegetation of Central Russian Upland (by palynological data). In *Antropogennyye faktory v istorii razvitiya sovremennykh ekosistem* [Anthropogenic Factors in the History of the Development of Modern Ecosystems]. Moscow: Nauka Publ., 1981, pp. 52–60. (In Russ.).
 23. Spiridonova E.A. *Evolutsiya rastitel'nogo pokrova basseina Dona v verkhnem pleistotsene–golotsene* [Evolution of Vegetation Cover of Upper Don in Early Pleistocene–Holocene]. Moscow: Nauka Publ., 1991. 221 p.
 24. Stepanova V.V., Volkova I.I. The features of formation of bogs in the forest-steppe of Western Siberia. In *Mater. pyatogo mezdnar. polevogo simp. "Zapadno-sibirskie torfyaniki i tsikl ugleroda"* [Proc. Fifth Int. Field Symp. "Western Siberian Peatlands and the Carbon Cycle: Past and Present"]. Tomsk: Tomsk. Gos. Univ., 2017, pp. 118–120. (In Russ.).
 25. *Torfyanye bolota Rossii; k analizu otraslevoi informatsii* [Peatlands of Russia: Towards the Analysis of Sectoral Information]. Sirin A.A., Minaeva T.Yu., Eds. Moscow: GEOS Publ., 2001. 190 p.
 26. Chikishev A.G. *Karst Russkoi ravniny* [Karst of the Russian Plain]. Moscow: Nauka Publ., 1978. 304 p.
 27. Khmelev K.F. *Zakonomernosti razvitiya bolotnykh ekosistem Tsentral'nogo Chernozem'ya* [The Patterns of Mire Ecosystems Development of the Central Black Earth Region]. Voronezh: Voronezh. Gos. Univ., 1985. 168 p.
 28. Khotinskii N.A. *Golotsen Severnoi Evrazii* [The Holocene of the Northern Eurasia]. Moscow: Nauka Publ., 1977. 200 p.
 29. Borisova O., Sidorchuk A., Panin A. Palaeohydrology of the Seim River basin, Mid-Russian Upland, based on palaeochannel morphology and palynological data. *Catena*, 2006, vol. 66, pp. 53–73.
 30. Elina G.A., Lukashov A.D., Yurkovskaya T.K. *Late Glacial and Holocene Palaeovegetation and Palaeogeography of Eastern Fennoscandia*. Helsinki: Finnish Environment Inst., 2010, vol. 4. 300 p.
 31. Gaudig, G., Couwenberg J., Joosten H. Peat accumulation in kettle holes: bottom up or top down? *Mires and Peat*, 2006, vol. 1, art. 6.
 32. Korhola A. Holocene climatic variations in southern Finland reconstructed from peat-initiation data. *The Holocene*, 1995, vol. 5, no. 1, pp. 43–57.
 33. MacDonald G.M., Beilman D.W., Kremenetski K.V., Sheng Y., Smith L.C., Velichko A.A. Rapid early development of circumarctic peatlands and atmospheric CH₄ and CO₂ variations. *Science*, 2006, vol. 314, no. 5797, pp. 285–288.
 34. Novenko E., Tsyganov A., Rudenko O., Volkova E., Zuyganova I., Babeshko K., Olchev A., Losbenev I., Payne R., Mazei Yu. Mid- and late-Holocene vegetation history, climate and human impact in the western Mid-Russian Upland: new data and a regional synthesis. *Biodiversity and Conservation*, 2016, vol. 25, no. 12, pp. 2453–2472. doi 10.1007/s10531-016-1051-8
 35. Novenko E., Volkova E. The middle and late Holocene vegetation and climate history of the forest-steppe ecotone area in the central part of European Russia. *Geogr. Rev. Jpn., Ser. B*, 2015, vol. 87, no. 2, pp. 91–98.
 36. Novenko E.Yu., Volkova E.M., Glasko M.P., Zuganova I.S. Paleocological evidence for the middle and late Holocene vegetation, climate and land use in the upper Don River basin (Russia). *Veget. Hist. Archaeobot*, 2012, vol. 21, pp. 337–352.
 37. Panin A., Adamiec G., Buylaert J.-P., Matlakhova E., Moska P., Novenko E. Two Late Pleistocene climate-driven incision/aggradation rhythms in the Middle Dnieper River basin, West-Central Russian Plain. *Quart. Sci. Rev.*, 2017, vol. 166, pp. 266–288.
 38. Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hafliadason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., Van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, no. 4, pp. 1869–1887.