

МЕТАЛЛЫ И AS В ТОРФЕ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Татаринцева В.Г., ^{1,2}Котова Е.И., ¹Орлов А.С.,
¹Пономарева Т.И., ¹Селянина С.Б., ³Дайбова Е.Б.

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, e-mail: leratatarintseva@gmail.com;

²ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва;

³Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа
(филиал СФНЦА РАН), Томск

Поступление антропогенных примесей в торфяные отложения связано с деятельностью промышленных объектов, добычей полезных ископаемых, автотранспортом и свалками бытовых отходов. На территории Архангельской области в значительной степени распространены верховые болота, обладающие высокой способностью накапливать загрязняющие вещества. Болота области не находятся под прямым антропогенным воздействием, однако металлы могут попадать на их поверхность путем атмосферного переноса. В работе были изучены торфяные отложения трех верховых болот, расположенных в Архангельской области – Иласский болотный массив (Приморский район), Трофимовское болото (Мезенский район) и болото Большой Мох (Онежский район). Цель работы заключалась в оценке содержания металлов (Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg) и As в торфяных профилях болот региона и их сравнение между собой. Торфяные отложения Иласского и Трофимовского болот, а также верхний горизонт болота Большой Мох относятся к малозольным типам торфа с сильноокислой реакцией среды, что характерно для верховых торфов. Нижние горизонты торфа болота Большой Мох относятся к переходному типу. Основным поллютантом для всех болот является Ni, что особенно характерно для Трофимовского болота – его концентрация в торфяном профиле на порядок превышает его содержание в торфе двух других болот, а также концентрации других элементов. Это может быть вызвано антропогенным воздействием или быть следствием геохимической аномалии. Для подтверждения этого результата необходимы дополнительные исследования. Помимо Ni отмечается значительное содержание в торфе Zn, Cu и Cr. Для болот Приморского и Онежского районов характерно увеличение концентрации металлов с глубиной залегания торфа, а для болота Мезенского района – наоборот. Концентрации Co, Pb, Cd, Hg и As относительно невысоки и сопоставимы для трех болот.

Ключевые слова: торф, болота, Архангельская область, металлы, загрязнение

METALS AND AS IN PEAT OF BOGS IN ARKHANGELSK REGION

¹Tatarintseva V.G., ^{1,2}Kotova E.I., ¹Orlov A.S.,
¹Ponomareva T.I., ¹Selyanina S.B., ³Daybova E.B.

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, e-mail: leratatarintseva@gmail.com;

²Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow;

³Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch
of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the RAS, Tomsk

Bogs are widely distributed on the Arkhangelsk region and they have a high ability to accumulate pollutants. Impurities can get on their surface through atmospheric transport from different industrial facilities. In the work peat deposits of three bogs of the Arkhangelsk region were studied – the Ilas bog (Primorsky district), the Trofimovskoe bog (Mezensky district) and the Bolshoy Mokh bog (Onega district). The aim of the work was to estimate the content of metals (Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg) and As in the peat profiles. Peat of the Ilas and Trofimovskoe bogs as well as the upper horizon of the Bolshoy Mokh bog are low-ash types of peat with low acidity. The lower peat horizons of the Bolshoi Mokh bog are of the transitional type. Ni is the main pollutant especially for the Trofimovskoe bog – its concentration in the peat is an order of magnitude higher than its content in the peat of two other bogs, as well as the concentrations of other elements. This may be caused by anthropogenic impact or be the result of a geochemical anomaly. Besides Ni there is a significant content of Zn, Cu, and Cr in peat. The bogs of the Primorsky and Onega regions are characterized by an increase in the concentration of pollutants with the depth of peat, and the opposite is true for the bog of the Mezensky region. The concentrations of Co, Pb, Cd, Hg, and As are relatively low and comparable for the three bogs.

Keywords: peat, bogs, Arkhangelsk region, metals, pollution

Несмотря на общемировую тенденцию снижения выбросов загрязнений в окружающую среду [1], металлы (в том числе элементы 1 и 2 классов опасности) остаются в числе наиболее распространенных поллютантов. Основные источники загрязнения торфяных залежей опасными эле-

ментами – атмосферные выпадения из стационарных источников (промышленных объектов черной и цветной металлургии, энергетики и производства минеральных удобрений), гидрогенное загрязнение промышленными сточными водами, разливы нефти и солевых растворов, отвалы золы,

шлака, руд, шламов, свалки бытовых отходов и автотранспорт.

На территории Архангельской области (АО) распространены преимущественно верховые болота [2], торфяные отложения которых обладают высокой способностью аккумулировать загрязняющие вещества из окружающей среды. Большая часть торфяных болот региона не подвергается прямому антропогенному воздействию. Однако в АО расположены предприятия лесопромышленного и топливно-энергетического комплексов, космодром и ядерный полигон, которые оказывают свое влияние на экологическую обстановку в регионе. Кроме того, через эту территорию проходят воздушные массы, способные принести с собой антропогенные примеси [3] с различных направлений, включая мощные промышленные регионы (Мурманскую и Свердловскую области, Красноярский край и др.), а также страны Европы.

Таким образом, для территории Архангельской области изучение содержания металлов в торфяных отложениях болот – актуальная задача. Это необходимо не только для мониторинга состояния болотных экосистем и контроля атмосферных выпадений примесей, но и для оценки качества и чистоты торфа как сырья для последующей переработки. Ранее авторами было изучено поступление металлов на поверхность болот Архангельской области вследствие атмосферного переноса [3]. Следует отметить, что для территории Архангельской области имеются отдельные исследования, посвященные содержанию металлов в торфяных почвах [4–6]. Наиболее изучен в этом отношении Иласский болотный массив, который является базой для многолетних исследований широкого круга специалистов. Что касается болот Онежского и Мезенского районов области, то публикации по данной тематике отсутствуют.

Цель данной работы заключается в изучении и оценке содержания металлов (Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg) и As в торфяных отложениях трех верховых болот региона и их сравнение между собой.

Материалы и методы исследования

Для исследования выбраны три верховых болотных массива, расположенных на территории Архангельской области – Иласский болотный массив (64°19'43" N, 40°36'45" E), Трофимовское болото (65°52,099' N, 44°15,172' E) и болото Большой Мох (63°49'20.8" N, 38°29'48.5" E). Все

точки отбора находятся в отдалении от промышленных объектов, автотранспортных магистралей, свалок и прочих источников загрязнения металлами.

Иласский болотный массив (ИБМ) – типичное плосковыпуклое олиготрофное болото, расположено в 30 км на юго-юго-западе от г. Архангельска в заболоченной части зоны таежных лесов на водоразделе рек Брусовица, Шухта и Бабья, входящих в бассейн Северной Двины. Болото относится к Прибеломорской болотной провинции. Торфяная залежь сложена в основном сфагновыми мхами с примесью древесины сосны в нижних горизонтах. Степень разложения, оцененная в полевых условиях, не превышает 30% – верхние горизонты отличаются слабым разложением растительных остатков (5–10%), с увеличением по глубине залегания до 25–30%. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Уровень грунтовых вод в течение полевого сезона изменяется от 0 до -30 см.

Трофимовское болото (ТБ) находится на правом берегу р. Мезень, в Мезенском районе Архангельской области, и представляет собой мелкобугристое олиготрофное болото. Торфяная залежь характеризуется высокой однородностью ботанического состава. Доминируют сфагновые мхи и кустарнички. Степень разложения по всей глубине залежи равномерно увеличивается от 0–5% до 10–15%. Подстилающие породы – озерно-ледниковые и ледниковые пески и супеси. Грунтовые воды выходят на поверхность.

Болото Большой Мох (БМ) расположено вблизи с. Порог в Онежском районе Архангельской области, относится к провинции северо-восточноевропейских сфагновых верховых болот (онежско-печорский тип). На данной стадии развития болотный массив представляет собой плосковыпуклое олиготрофное болото. Профиль торфяной залежи имеет характерное для болот данной провинции строение. Верхний слой (примерно до 1 м) однородный, сложенный сфагновым верховым торфом со степенью разложения не более 10%. В слоях торфа ниже 1 м резко повышается степень разложения до 25–30%, торф переходный с заметным присутствием осоковых и древесных остатков. Далее вниз по профилю он остается переходным однородным по ботсоставу, степень разложения увеличивается до 40–50%. Подстилающие породы – озерно-ледниковые и ледниковые супеси и суглинки. Уровень грунтовых вод близок к дневной поверхности.

Таблица 1

Физико-химические показатели торфяных отложений
трех болотных массивов Архангельской области

Болотный массив	Глубина, см	Влажность, %	Зольность, %	pH _{сол}	pH _{вод}
ИБМ	0–270	93,2 ± 0,7	0,9 ± 0,1	2,9 ± 0,1	4,3 ± 0,1
	270–350	87,9 ± 0,7	1,8 ± 0,8	3,1 ± 0,1	4,3 ± 0,1
ТБ	0–100	90,5 ± 0,7	1,2 ± 0,1	2,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1
	100–150	88,8 ± 0,7	1,1 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,8 ± 0,1
БМ	0–110	90,3 ± 0,7	1,1 ± 0,1	2,6 ± 0,1	3,9 ± 0,1
	110–180	87,6 ± 0,7	7,8 ± 1,5	3,1 ± 0,1	4,4 ± 0,1
	180–300	84,9 ± 0,7	21,9 ± 0,9	4,3 ± 0,1	5,4 ± 0,1

Пробы торфа отбирали в летний полевой сезон 2019–2021 гг. торфяным буром, а затем визуально разделяли на однородные слои (торф одинакового цвета, структуры и консистенции составляет один слой). Перед анализом на содержание металлов образцы предварительно высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Анализ проводили в аккредитованной лаборатории ФГБУ САС «Архангельская» по утвержденным методикам [7, 8]. Для определения концентраций Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg применяли атомно-абсорбционный метод, для As – фотометрический. Определение влажности и зольности торфа проводили по стандартным методикам [9, 10], активной (pH_{вод}) и обменной кислотности (pH_{сол}) – согласно [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Естественная влажность исследованных торфяных отложений колеблется в пределах 85–93% и закономерно уменьшается с глубиной (табл. 1). Торф Иласского болотного массива и Трофимовского болота как в верхних, так и нижних горизонтах малозольный (зольность не превышает 2%) с характерной для верховых торфяников сильноокислой реакцией среды. Верхний горизонт торфа, отобранный на болоте Большой Мох, имеет сходные характеристики, тогда как нижние горизонты обладают большей зольностью (более 20%), а значения pH несколько смещены в нейтральную область, что свойственно торфу переходного типа (табл. 1).

Таким образом, различия в физико-химических показателях наблюдаются только в нижних горизонтах торфа болота Большой Мох, которое ранее было переходным, а в настоящий момент находится в стадии верхового болота.

Количество металлов и их распределение в торфе трех болотных массивов по глубине залегания неодинаково (рис. 1, 2). В торфяных отложениях болот ИБМ и БМ в наибольшем количестве обнаружены Ni, Zn, Cu и Cr. Отметим, что содержание Ni в торфе БМ равномерно по профилю залежи (варьируется от 12,7 до 14,4 мг/кг), в то время как количества Zn, Cu и Cr резко увеличиваются в нижних горизонтах и становятся сопоставимы с содержанием Ni. Характерно также то, что, независимо от глубины залегания торфа, количество Ni преобладает, хоть и незначительно, над содержанием других элементов. Кроме того, для торфов ИБМ и БМ отмечается тенденция увеличения концентраций металлов с глубиной залегания (рис. 1, а, б). В целом концентрации всех элементов в торфе БМ несколько выше, чем в торфе ИБМ, однако сопоставимы между собой.

Содержание Co, Pb, Cd, Hg и As значительно ниже, чем вышеупомянутых элементов. Например, по всему профилю залежи торфа ИБМ концентрации Cd ниже предела обнаружения (0,01 мг/кг), а количество Hg не превышает 0,03 мг/кг. Следовые количества Cd обнаружены в верхних горизонтах торфа БМ, а концентрация Hg не превышает 0,04 мг/кг по всему профилю залежи. Содержание Pb и As в торфе БМ несколько выше, чем в торфе ИБМ. Максимальные концентрации этих элементов характерны для нижних горизонтов торфа БМ, и составляют 2,2 мг/кг и 1,0 мг/кг соответственно, в то время как в торфе ИБМ содержание Pb не превышает 0,6 мг/кг (в нижних горизонтах значения ниже предела обнаружения – 0,1 мг/кг), а As – 0,2 мг/кг по всему профилю залежи. Максимальные концентрации Co отмечены для нижнего горизонта торфа БМ – 2,8 мг/кг, тогда как в торфе ИБМ не более 1,7 мг/кг (рис. 1, а, б).

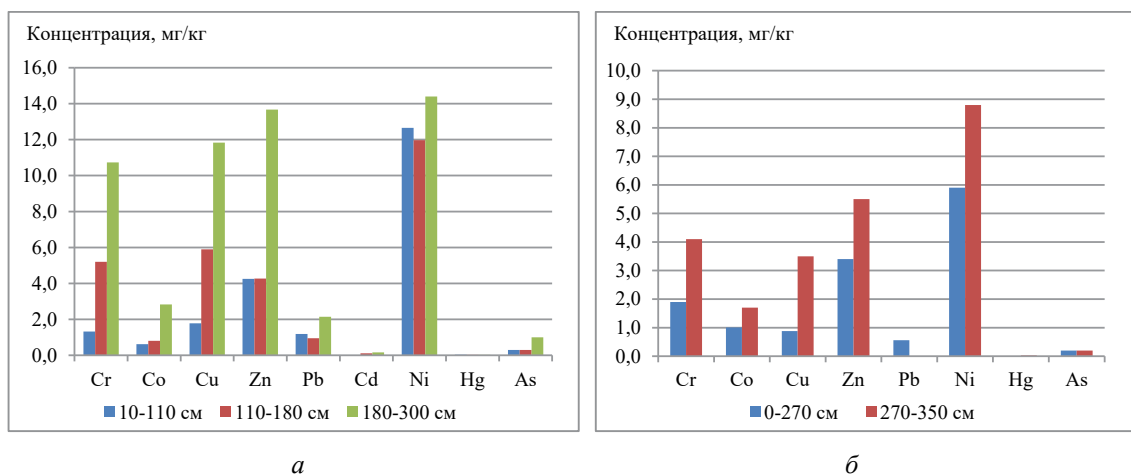


Рис. 1. Содержание металлов в торфе болот Большой Мох (а) и Иласское (б)

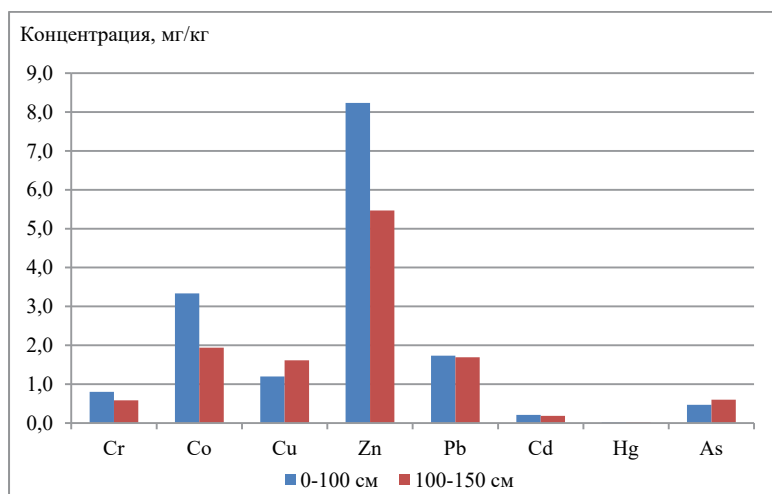


Рис. 2. Содержание металлов в торфе Трофимовского болота

Тенденции накопления металлов в торфяных отложениях ТБ отличаются от двух других исследованных болот. Практически для всех элементов прослеживается уменьшение концентраций с глубиной. Кроме того, в торфе ТБ концентрации Ni на порядок превышают его содержание в торфе двух других: концентрация на глубине до 1 м – 190,0 мг/кг, на глубине 1–1,5 м – 108,0 мг/кг. Эти значения сопоставимы с концентрациями Ni в почвах Северодвинского промышленного района, обнаруженных в 2007 г. [4]. Содержание остальных элементов в торфе ТБ сопоставимо с величинами, наблюдаемыми для двух других изученных болот. Наибольшие концентрации (помимо Ni) отмечены для Zn и Co (рис. 2).

Сравнение полученных нами результатов с данными других авторов показывает, что в целом значения концентраций металлов

сопоставимы, а скачки концентраций элементов могут быть вызваны локальным загрязнением, поступающим от близлежащих промышленных объектов с атмосферными потоками или иными путями. В табл. 2 приведены максимальные зарегистрированные концентрации металлов (в мг/кг) в торфе болот Архангельской и Псковской областей (ПО), полученные нами и другими авторами.

Для оценки экологической опасности загрязнения окружающей среды используются несколько основных эталонов сравнения – предельно допустимые концентрации (ПДК), ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), фоновые значения и кларки элементов в земной коре. Показатели ПДК и ОДК разработаны лишь для некоторых компонентов окружающей среды (воздух, вода, почва) и, к сожалению, неприменимы для торфяных залежей.

Таблица 2

Сравнение полученных результатов с данными других авторов

Регион, болотный массив	Cr	Co	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Hg	As
АО, ИБМ [наши данные]	4,1	1,7	3,5	5,5	0,6	<0,01	8,8	0,03	0,2
АО, БМ [наши данные]	10,7	2,8	11,8	13,7	2,2	0,2	14,4	0,04	1,0
АО, ТБ [наши данные]	0,8	3,3	1,6	8,2	1,7	0,2	190,0	0,02	0,6
АО, ИБМ [6]	1,9	0,7	3,9	24,0	5,0	0,1	1,9	0,06	3,2
АО, Черноозерская площадь [5]	28,1	1,1	4,0	40,7	7,1	0,3	2,5	–	0,3
АО, болото близ п. Рикасиха [5]	150,0	2,2	4,7	36,2	21,0	0,1	6,1	–	0,3
АО, почвы Северодвинского промышленного района* [4]	400,0	–	20,0	60,0	30,0	–	150,0	–	–
ПО, верховое болото [12]	–	–	4,1	11,0	0,8	1,8	7,1	–	–

*Концентрации зарегистрированы в 2007 г.

Таблица 3

Кларки металлов в земной коре, мг/кг [13]

Эл-т	А.П. Виноградов (1962)	А.А. Беус и др. (1976)	S.R. Taylor, S.M. McLennan (1985)	S. Gao et al. (1998)	R.L. Rudnick, S. Gao (2003)
Cr	83	34	35	80	92
Co	18	7,3	10	17	17,3
Cu	47	22	25	32	28
Zn	83	51	71	70	67
Pb	16	16	20	18	17
Cd	0,13	0,16	0,098	0,079	0,090
Ni	58	26	20	38	47
Hg	0,083	0,033	–	0,0123	0,05
As	1,7	1,9	1,5	4,4	4,8

Сравнение полученных результатов с фоновыми значениями также проблематично, поскольку все пробы были отобраны в местах, далеких от промышленных объектов и других возможных источников загрязнения, поэтому все пробы можно считать фоновыми для того или иного района области. В работе [13] автор обобщил данные отечественной и зарубежной литературы по кларкам химических элементов в земной коре и показал, что оценка содержания элементов сильно различается у разных авторов. Для удобства обсуждения в табл. 3 приведена выборка из источника [13] применительно к металлам, определявшимся в исследованных образцах торфа. При сравнении полученных результатов с данными табл. 3 можно сказать, что концентрации почти всех элементов, за исключением Cd, Hg и, конечно, Ni значительно ниже их кларков в земной коре. Для Cd и Hg значения кларков, предложенные некоторыми авторами, ниже или равны полученным нами данным.

Что касается Ni, то высокие концентрации этого элемента с большой долей

вероятности являются следствием антропогенного воздействия или геохимической аномалии. Тем не менее отметим, что на территории Трофимовского болота многолетних наблюдений не проводили (торф был отобран только в 2021 г.), поэтому для подтверждения антропогенного влияния или других причин накопления этого элемента необходимы многолетние разносторонние исследования.

Заключение

Торфяные отложения Иласского (Приморский район АО) и Трофимовского болот (Мезенский район АО), а также верхний горизонт болота Большой Мох (Онежский район АО) характеризуются низкой зольностью и сильноокислой реакцией среды, что типично для верхового торфа. Нижние горизонты торфа болота Большой Мох по физико-химическим показателям соответствуют переходному типу.

Анализ торфяных профилей болот на содержание металлов показал, что основным поллютантом является никель, что особенно ярко выражено для Трофимовского боло-

та – его концентрация в торфяном профиле на порядок превышает его содержание в торфе двух других болот, а также концентрации других элементов. С большой долей вероятности такой результат является следствием антропогенного воздействия или геохимической аномалии. Тем не менее отметим, что для подтверждения антропогенного влияния или других причин накопления этого элемента необходимы дополнительные многолетние исследования.

Помимо никеля отмечается значительное содержание в торфе Zn, Cu и Cr. Для болот Приморского и Онежского районов характерно увеличение концентрации металлов с глубиной залегания торфа, в то время как для болота Мезенского района прослеживается обратная тенденция. Концентрации Co, Pb, Cd, Hg и As относительно невысоки и сопоставимы для трех болот.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90037 «Влияние геоэкологических факторов на свойства торфяных отложений Архангельской области (в пределах Арктической зоны)».

Список литературы

1. Водяницкий Ю.Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 2013. № 9. С. 88–96.
2. Сафронова И.Н., Юрковская Т.К. Зональные закономерности растительности покрова равнин Европейской России и их отображение на карте // *Ботанический журнал*. 2015. № 11. С. 1121–1142. DOI: 10.1134/S0006813615110010.
3. Татаринцева В.Г., Котова Е.И. Аэротехногенное загрязнение водно-болотных объектов водосбора Белого моря (на примере Архангельской области) // *Географический вестник*. 2021. № 2 (57). С. 135–150. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-135-150.
4. Зыкова Е.Н., Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Ларионов Н.С. Сравнительно-временной анализ содержания тяжелых металлов в аномальных зонах почв Северодвинского промышленного района // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 8. С. 130–135.
5. Яковлев Е.Ю., Дружинина А.С., Дружинин С.В., Бедрина Д.Д., Орлов А.С., Спиридов Р.К., Мищенко Е.В., Жуковская Е.В. Оценка физико-химических параметров и распределения металлов в верховом болоте Архангельской области // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 5. С. 115–120. DOI: 10.17513/use.37401.
6. Сыпалов С.А., Кожевников А.Ю., Иванченко Н.Л., Попова Ю.А., Соболев Н.А. Оценка загрязнения торфа некоторыми тяжелыми металлами в зависимости от глубины залегания // *Химия твердого топлива*. 2020. № 1. С. 38–42. DOI: 10.31857/S0023117720010107.
7. Методические указания по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. М.: ЦИНАО, 1993. 13 с.
8. ФР.1.31.2012.13573 «Методика измерений массовых долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом». ОАО «Союзцветметавтоматика», Свидетельство об аттестации № 222.0195/01.00258/2012.
9. ГОСТ 11305-83. Торф. Методы определения влаги. М.: Изд-во стандартов, 1983. 9 с.
10. ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Росстандарт, 2015. 8 с.
11. ГОСТ 11623-89. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности. М.: Изд-во стандартов, 1990. 6 с.
12. Федоров Ю.А., Минкина Т.М., Шипкова Г.В. Тяжелые металлы в ландшафтах верховых болот Псковской области // *География и природные ресурсы*. 2017. № 2. С. 46–55. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(46-55).
13. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // *Вестник Московского университета. Сер. 5. География*. 2015. № 2. С. 7–17.