

УДК 551.32+550.46+551.89+551.217.24

ПОИСК СЛЕДОВ МЕТЕОРИТНОГО УДАРА: ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОСАДКАХ ОЗ. МЕДВЕДЕВСКОЕ (КАРЕЛЬСКИЙ ПЕРЕШЕЕК, РОССИЯ)

© 2014 г. А. В. Андроников, Д. А. Субетто, Д. С. Лауретта (D. S. Laurretta),
И. Е. Андроникова, Д. А. Дросенко, Д. Д. Кузнецов, Т. В. Сапелко, Л. С. Сырых

Представлено академиком А.П. Лисицыным 06.03.2013 г.

Поступило 15.05.2013 г.

DOI: 10.7868/S0869565214190190

Резкое позднедриасовое похолодание связывают преимущественно с ослаблением термогалинной циркуляции в результате массового поступления пресной воды в северную Атлантику, что в итоге привело к значительному уменьшению солёности глубоководных частей океана [1–3]. Относительно недавно появилась гипотеза, связывающая позднедриасовое похолодание с метеоритным ударом [4]. Согласно этой гипотезе, незадолго до начала похолодания, около 12900 календарных лет назад (к.л.н.), крупный болид (диаметром до 4 км) взорвался над Лаврентийским ледниковым щитом Северной Америки. Последствия этого катастрофического события (“импактная зима”) могли привести к резкому изменению климата. Предположение о внеземной причине похолодания в позднем дриасе вызвало широкую дискуссию, не давшую до сих пор ответа на вопрос о возможном метеоритном ударе около 12.9 тыс. л. н. Детальное описание аргументов “за” и “против” в этой дискуссии приведено в [5].

Если взрыв метеорита произошел над Северной Америкой, преобладающее движение воздушных масс с запада на восток могло перемещать микрочастицы, образовавшиеся при взрыве, достаточно далеко, в частности в Западную и Восточную Европу [6]. Ряд исследований [5] показал, что в позднеплейстоценовых отложениях

Западной Европы присутствует материал, который может быть связан с метеоритным ударом. Микрочастицы, переносимые воздушным путем, могут накапливаться и сохраняться в осадках, образующихся в небольших водоемах. В связи с этим авторы выдвинули идею, используя современные геохимические методы исследований (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой — ИСП-МС), проверить наличие геохимических аномалий, которые могут быть связаны с метеоритным ударом, в позднеледниковых донных отложениях озер Восточной Европы.

Многие озера северо-запада России образовались 14–15 тыс. к.л.н. [3], т.е. осадконакопление началось в них до времени предполагаемого метеоритного удара и геохимические следы такого события могут сохраниться в донных отложениях. Для выявления геохимических признаков метеоритного удара авторы проанализировали позднеплейстоценовые осадки из наиболее глубокой части оз. Медведевское (60°14' с.ш., 29°54' в.д., 102.2 м над у.м.), расположенного на Центральной возвышенности Карельского перешейка (рис. 1). Это небольшое мелководное озеро (площадь зеркала воды 0.44 км², ширина 0.55 км, длина 1.18 км, максимальная глубина около 4 м) вследствие своего высотного положения и малой площади водосборного бассейна, во-первых, не заливалось водами крупных приледниковых бассейнов после дегляциации Карельского перешейка и, во-вторых, характеризуется непрерывным осадконакоплением и преобладанием в осадках автохтонной и эоловой составляющих. Вскрытая мощность донных отложений 3.5 м, и они представлены позднеледниковыми серыми песками, глинами и голоценовыми темно-коричневыми органогенными илами (табл. 1). Ранее исследование этого разреза позволило выявить в нем тонкий прослой вулканического пепла Ведде, обра-

*Lunar and Planetary Laboratory,
University of Arizona, Tucson, USA*

*Российский государственный педагогический
университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург*

*Институт водных проблем Севера
Карельского научного центра*

Российской Академии наук, Петрозаводск

Институт озераедения

Российской Академии наук, Санкт-Петербург

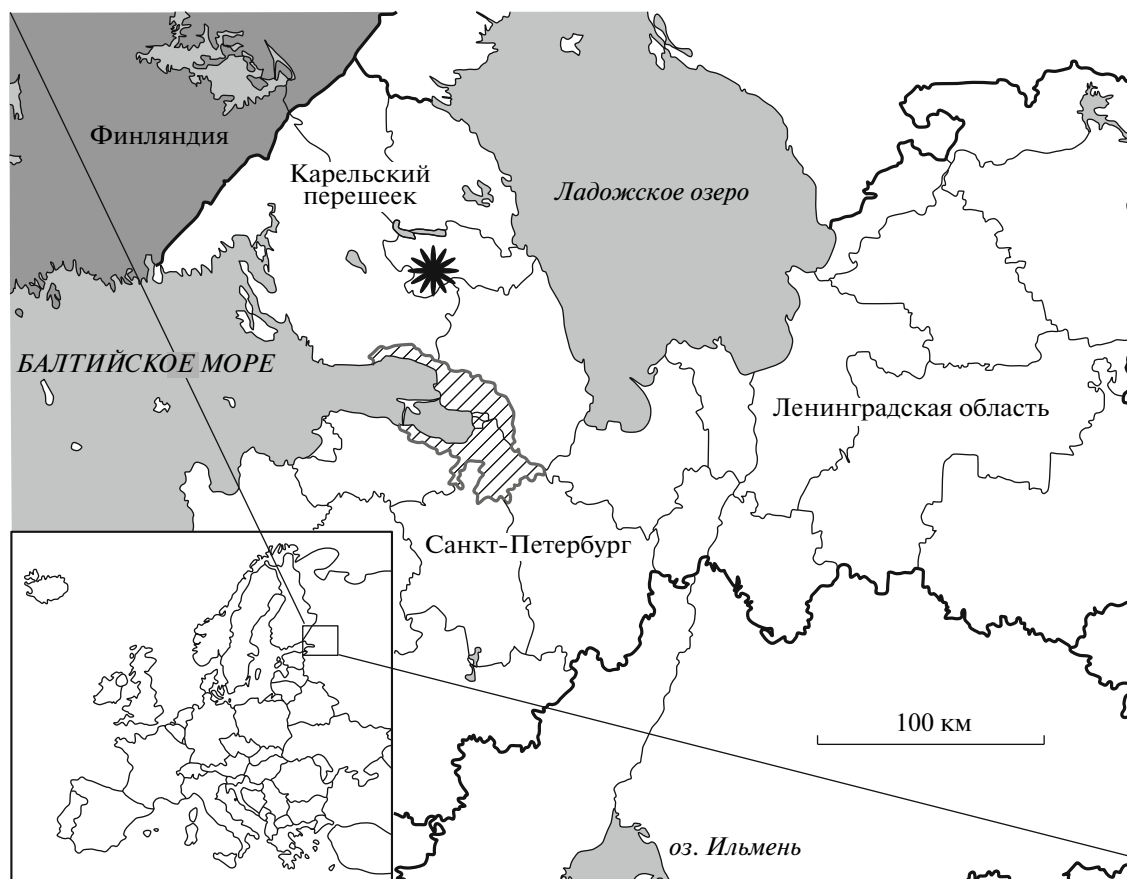


Рис. 1. Местоположение оз. Медведевское (черная звездочка) на Карельском перешейке.

зовавшегося в результате извержения вулкана Катла, Исландия, 12.0 тыс. к.л.н. [7, 8].

Весной 2011 г. со льда был отобран новый керн донных отложений для выполнения геохимических анализов. Чтобы установить возрастной диа-

пазон исследуемых осадков, была проведена их стратиграфическая корреляция с хорошо датированными отложениями периферийной части озера [3, 7]. В качестве корреляционных стратиграфических маркеров были выбраны следующие (рис. 2): нижняя граница развития мхов (372 и

Таблица 1. Литостратиграфическая схема донных отложений оз. Медведевское (центральная и периферийная части)

Центр	Периферия	Литостратиграфическое описание
Глубины от поверхности воды, м		
2.60—5.01	2.5—3.725	Темно-коричневый детритовый органогенный ил с тонким прослоем мха на глубинах 3.71—3.69 м в периферийной части и 5.0—5.01 м в центральной части. Нижняя граница резкая по смене окраски
5.01—5.08	3.725—3.795	Зеленовато-коричневый водорослевый глинистый ил
5.08—5.13	3.795—3.85	Светло-коричневый ил
5.13—5.53	3.85—3.91	Зеленовато-коричневая глина. Нижняя граница резкая
5.53—5.90	3.91—4.52	Серовато-коричневый глинистый алеврит с черными прослоями гидротроилита в верхней части
5.90—6.15	4.52—4.695	Серый алеврит, песчаный алеврит с микроскопическими включениями органических остатков
Глубже 6.15	4.695—4.86	Серый алевритовый песок с прослоями крупнозернистого песка

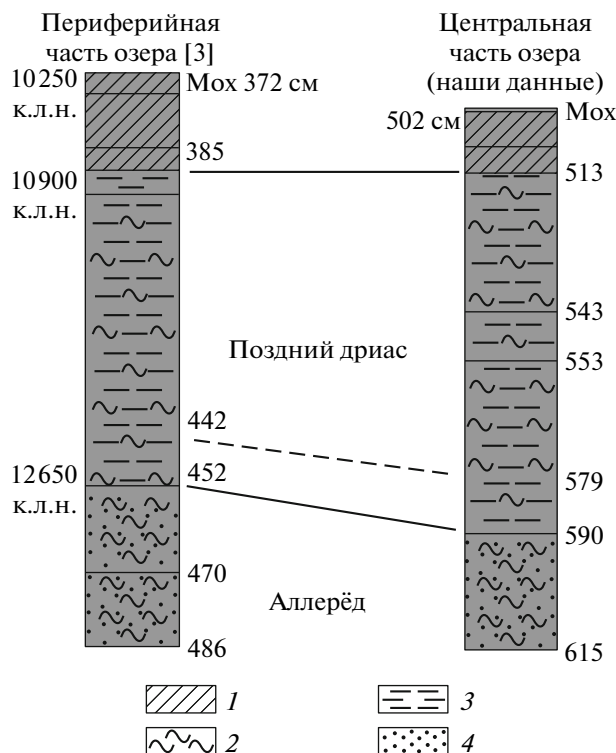


Рис. 2. Схема корреляции осадков оз. Медведовское: 1 – Сапропель; 2 – алевроит; 3 – глина; 4 – песок.

502 см; 10 250 к.л.н.; не в анализированной части колонки из центральной части озера), верхняя граница развития глин (385 и 513 см; 10 900 к.л.н.) и верхняя граница развития ленточных суглинков (452 и 590 см). Граница между биоцонами аллерёда и позднего дриаса (между палиноцонами ME1 и ME2; 12 650 к.л.н. [3]) расположена на глубине 442 см в периферийной части озера, откуда может быть прослежена на глубину около 580 см в центральной части.

Средняя скорость осадконакопления за интересующий нас возрастной интервал оценивается примерно в 0.3 мм/год [3]. Мы исследовали колонку осадков, поднятых с глубин 615–565 см, т.е. включающих осадки возраста 12.9 тыс. к.л.н. (рис. 2), соответствующего времени предполагаемого метеоритного удара [4]. Для ИСП-МС-анализов отобрали 28 образцов озерных осадков. Подробное описание использованных аналитических методов приведено в [9].

Суммарная концентрация микроэлементов в осадках оз. Медведовское около 4500 г/т и сопоставима со средними концентрациями, принятыми для земной коры [10]. Ряд геохимических особенностей, таких как повышенные относительно средних содержаний в земной коре (СЗК) концентрации Th, U и пониженные Ta, Nb, отмечены во всех изученных образцах, что может быть связано с особенностями состава источника сноса

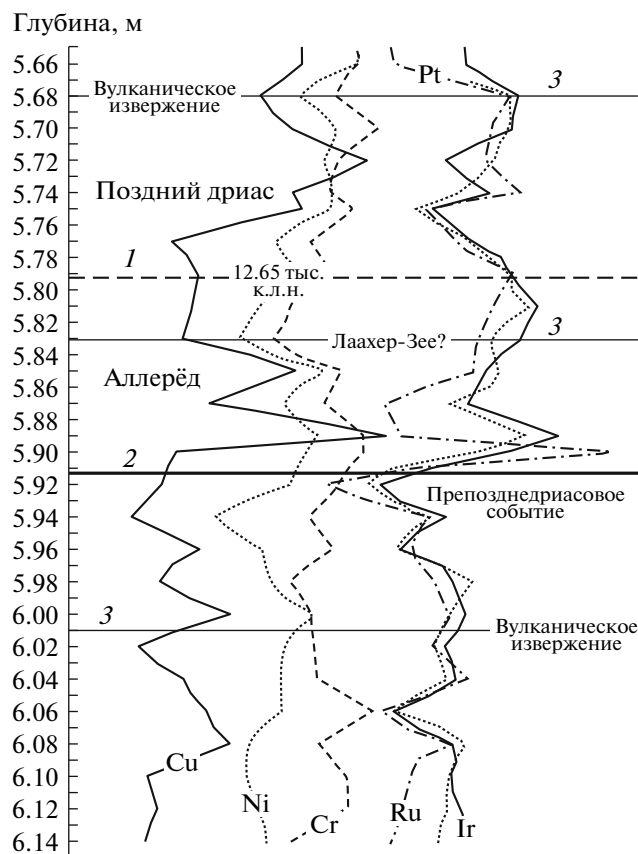


Рис. 3. Схема распределения некоторых "метеоритных" элементов в осадках оз. Медведовское. 1 – граница между аллерёдом и поздним дриасом [3]; 2 – горизонт, соответствующий возможному метеоритному удару около 12900 к.л.н.; 3 – горизонты, соответствующие извержению вулкана Лаахер-Зее (около 12900 к.л.н., но несколько позже метеоритного удара) и двум другим предполагаемым позднелейстоценовым вулканическим извержениям. Распределение микроэлементов показано схематически, а не в абсолютных концентрациях.

(метаморфические породы Балтийского щита). Повышенные концентрации Pd также характерны для всех образцов и могут быть связаны с высокой мобильностью и перераспределением этого элемента платиновой группы (ЭПГ) в водной среде [11]. Высокие концентрации W в обр. ЗМД-7, 11, 18 (6.03–6.01, 5.95–5.93, 5.67–5.65 м соответственно) обусловлены высокой растворимостью элемента и его перераспределением в водной среде. Поскольку оз. Медведовское относится к геохимической провинции с высоким содержанием Fe, Mn [3], обогащение некоторых горизонтов W не является неожиданным.

При указанной суммарной концентрации микроэлементов в осадках оз. Медведовское и их очень неравномерном распределении по разрезу (рис. 3, 4) обнаружение незначительного обогащения так называемыми маркирующими микро-

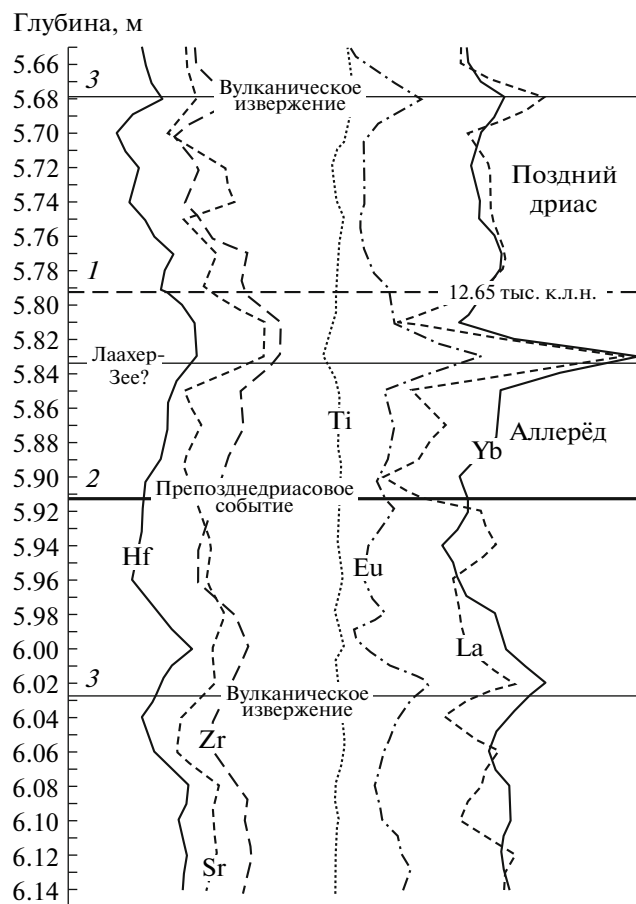


Рис. 4. Схема распределения некоторых "вулканических" элементов в осадках оз. Медведовское. 1–3 см. на рис. 3. Распределение микроэлементов показано схематически, а не в абсолютных концентрациях.

элементами представляется довольно сложной задачей. Тем не менее, основываясь на выявленных особенностях распределения микроэлементов, можно предположить присутствие на некоторых горизонтах разреза оз. Медведовское метеоритного и вулканического компонентов.

Наличие метеоритного компонента может быть определено на основании изменений в концентрациях таких элементов-маркеров, как Ni, Cr, Cu, ЭПГ, которые в метеоритах присутствуют в гораздо более высоких концентрациях, чем в земных осадках [11, 12]. Наиболее явным индикатором возможного присутствия внеземного компонента являются повышенные концентрации ЭПГ [11], содержание которых в метеоритном веществе на несколько порядков выше, чем СЗК (450 мг/т против менее 0.1 мг/т соответственно) [10, 12]. В исследованиях, связанных с определением наличия внеземного материала в земных породах/осадках, возрастание концентраций Ir (часто, но не всегда совместно с другими ЭПГ)

является важным индикатором присутствия метеоритного вещества [11].

Особенности распределения микроэлементов в донных отложениях оз. Медведовское предполагают воздействие какого-то события, оставившего свои следы в осадках с глубины около 5.90 м (обр. ЗМД-13). Эти осадки характеризуются резким возрастанием концентраций таких "метеоритных" элементов, как Ni, Cr, Cu, Ir, Pt и в несколько меньшей степени Ru (рис. 3). Кроме того, рассматриваемый горизонт также характеризуется уменьшением содержания РЗЭ (рис. 4), концентрация которых весьма низка в метеоритах [12]. Если простое обогащение (либо обеднение) любым из указанных элементов может быть объяснено воздействием земных процессов (изменение источника аллохтонного материала в осадконакоплении или влияние биотической составляющей), то одновременное изменение концентраций всех этих элементов может указывать на присутствие внеземного компонента. Признаки геохимических пертурбаций, вовлекающих, в частности, "метеоритные" микроэлементы, могут быть прослежены вверх по разрезу как минимум до глубины 5.83 м, т.е. воздействие предполагаемого внеземного события могло сказываться на протяжении не менее 200 лет, что указывает на его достаточно глобальный характер. Геохимический маркер "5.90 м" располагается на 11 см ниже границы аллерёд — поздний дриас (12.65 тыс. к.л.н.) и, следовательно, отвечает времени около 13 тыс. к.л.н. (рис. 3), что очень близко к возрасту 12.9 тыс. к.л.н., предложенному для препозднедриасового метеоритного удара [4]. К тому же необходимо учитывать, что, поскольку точная скорость осадконакопления в каждый конкретный отрезок времени неизвестна, сделанные возрастные оценки весьма приблизительны и, следовательно, разница в 100 лет находится в пределах ошибки определения возраста.

Присутствие вулканического материала в озерных осадках может быть определено не только по наличию вулканических стекол [7, 8], но также по содержанию и распределению таких элементов, как РЗЭ, Zr, Hf, Sr, Ti, т.е. тех, которые обычны для продуктов вулканических извержений [13]. Как и в случае с ЭПГ, обогащение/обеднение каким-либо одним из этих элементов-маркеров может отражать изменение локальных условий осадконакопления, в то время как когерентное поведение всех или большинства элементов-маркеров может указывать на значительно более масштабные события. Одновременное обогащение указанными "вулканическими" элементами, сопровождаемое незначительным обеднением Ti, идентифицировано на горизонтах 6.00–6.02 м (обр. ЗМД-07, 08), 5.80–5.83 м (2МД-04), 5.69–5.67 м (ЗМД-17), рис. 4, что предполагает наличие вулканического материала в осадках.

Геохимический маркёр, идентифицированный на глубинах 6.02–6.00 м, находится примерно на 22 см ниже границы между аллерёдом и поздним дриасом (12.65 тыс. к.л.н.) и с учетом предполагаемой скорости осадконакопления соответствует возрасту 13.4–13.3 тыс. к.л.н., маркёр на глубинах 5.83 м — 12.78 тыс. к.л.н., последний маркёр на глубине 5.68 м — 12.3 тыс. к.л.н.

Наиболее ярко выраженный геохимический маркёр (сильные пики La, Eu, Yb, а также обогащение Zr, Sr, Hf, рис. 4), вероятно связанный с вулканическим извержением, соответствует возрасту около 12.8 тыс. к.л.н. Примерно в это же время (12880 к.л.н. [14]) произошло сильное эксплозивное извержение вулкана Лаахер-Зее (Эйфель, Германия). Это извержение было одним из наиболее значительных позднеплейстоценовых вулканических событий Северной Европы. Стратиграфическое положение слоя, обогащенного некоторыми РЗЭ, Zr, Sr, Hf и слегка обедненного Ti, примерно отвечает времени извержения вулкана Лаахер-Зее, позволяя предположить, что обогащение осадков оз. Медведовское с глубин 5.80–5.83 м связано с извержением этого вулкана.

Геохимический маркёр с глубин 6.00–6.02 м проявлен в обогащении некоторыми РЗЭ, такими как Zr, Hf, Sr при несколько повышенных содержаниях Ni, Cr и пониженных Ti (рис. 4). Такие характеристики могут указывать на присутствие незначительного количества вулканического материала, несколько отличного от предположительно присутствующего в обр. 2МД-04 (5.80–5.83 м). Третий маркёр (3МД-17; 5.69–5.67 м) обладает геохимическими особенностями, сходными с таковыми слоя 2МД-04, но выраженными несколько слабее. Поскольку вулканы Западной Европы и Исландии были активны в позднем плейстоцене [7, 13–15], то можно связать присутствие вулканического материала на горизонтах 6.00–6.02 м (около 13.4–13.3 тыс. к.л.н.) и 5.69–5.67 м (около 12.3 тыс. к.л.н.) с извержениями таких вулканов. В пользу возможности присутствия вулканического материала в позднеплейстоценовых осадках озер северо-запада России в частности свидетельствует идентификация вулканического пепла Ведде (12.0 тыс. к.л.н.) в отложениях двух озер Карельского перешейка, в том числе оз. Медведовское [3, 7, 8].

Таким образом, содержание и особенности распределения микроэлементов в позднеплейстоценовых осадках оз. Медведовское указывают на присутствие здесь материала из источников, не характерных для озерных отложений региона. Хотя авторы пока не могут провести прямую связь между предположительно случившимся в позднем плейстоцене метеоритным ударом [4] и началом похолодания в позднем дриасе, они предполагают, что осадки оз. Медведовское содержат микрочастицы, образовавшиеся в результате метеоритного удара, произошедшего около

12900 к.л.н. Поскольку обогащение осадков оз. Медведовское маркирующими микроэлементами очень незначительно, можно предположить, что территория северо-запада России, вероятно, является наиболее удаленным восточным регионом распространения переносимого воздушным путем материала, образовавшегося в результате позднеплейстоценового метеоритного удара. Кроме того, осадки оз. Медведовское, помимо обнаруженного ранее прослоя пепла Ведде, предположительно содержат вулканический материал, образованный в результате извержения вулкана Лаахер-Зее и, возможно, некоторых других позднеплейстоценовых вулканов Западной Европы и/или Исландии.

Авторы выражают благодарность К. Фербрюгену (C. Verbruggen), Н. ван дер Путтен (N. van der Putten), А. ван Хусель (A. van Hoesel), В. Хуку (W. Hoek), М. Друри (M. Drury), Н. Артемьевой и Е. Рудницкайте (E. Rudnickaitė) за исключительно плодотворные дискуссии. Это исследование выполнено при частичной финансовой поддержке Астробиологического института НАСА (NAI International Collaboration Fund), предоставленной А.В. Андроникову, и грантов РФФИ 13–05–41457–РГО-а и 13–05–01039-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Teller J.T., Leverington D.W., Mann J.D. // Quatern. Sci. Rev. 2002. V. 21. P. 879–887.
2. McManus J.F., Francois R., Gherardi J.-M., et al. // Nature. 2004. V. 428. P. 834–837.
3. Subetto D.A., Wohlfarth B., Davydova N.N., et al. // Boreas 2002 V. 31. P. 1–19.
4. Firestone R.B., West A., Kennett J.P., et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. 2007. V. 104. P. 16016–16021.
5. Israde-Alcántara I., Bischoff J.L., Domínguez-Vásquez G., et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. 2012. V. 109. P. E738–E747.
6. Bunch T.E., Wittke J.H., West A., et al. // EOS Trans. 2008. № 89. Abst. PP13C–1476.
7. Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. // Изв. РГО. 2004. Т. 134. С. 79–82.
8. Wastegård S., Wohlfarth B., Subetto D.A., Sapelko T.V. // J. Quatern. Sci. 2000. V. 15. P. 581–586.
9. Haynes C.V. Jr., Boerner J., Domanik K., et al. // Proc. Nat. Acad. Sci. 2010. V. 107. P. 4010–4015.
10. Wedepohl K.H. // Geochim. et cosmochim. acta. 1995. V. 59. P. 1217–1232.
11. Sawlowicz Z. // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 1993. V. 104. P. 253–270.
12. Anders E., Grevesse N. // Geochim. et cosmochim. acta. 1989. V. 53. P. 197–214.
13. Wörner G., Beusen J.-M., Duchateau N., et al. // Contribs. Mineral. and Petrol. 1983. V. 84. P. 152–173.
14. Brauer A., Enders C., Negendank J.F.W. // Quatern. Intern. 1999. V. 61. P. 17–25.
15. Walter-Simonnet A.-V., Bossuet G., Develle A.-L., et al. // Quaternaire. 2008. V. 19. P. 117–132.