



УДК 551.3.051(282.256.341)

Состав донных осадков оз. Байкал, отобранных в районе ст. Шарыжалгай Кругобайкальской железной дороги *

Е. Г. Вологина (vologina@crust.irk.ru)

М. Штурм (sturm@eawag.ch)

Я. Б. Радзиминович (ian@crust.irk.ru)

Аннотация. Исследованы байкальские осадки, вскрытые на глубине 1250 м в районе ст. Шарыжалгай Кругобайкальской железной дороги. Они представлены пере-слаиванием пелагических илов и турбидитов. Вещественный состав турбидитов свидетельствует о том, что источником материала, слагающего эти слои, в значительной степени являются береговая и мелководная зоны оз. Байкал. В отложениях отсутствует специфический осадочный слой, ранее обнаруженный в осадках района исследования и образованный, по всей видимости, после землетрясения 1912 г. Вероятно, он был нарушен в результате более позднего события, чему, в частности, способствует высокая сейсмическая активность района исследования.

Ключевые слова: оз. Байкал, осадконакопление, пелагические илы, турбидиты, магнитная восприимчивость, диатомеи, биогенный кремнезём, органический углерод, общий азот.

Введение

В статье приводятся новые результаты изучения поверхностных донных осадков, отобранных в районе ст. Шарыжалгай Кругобайкальской железной дороги (КБЖД). Интерес к этому району связан с тем, что в первой половине 1912 г. здесь были отмечены сильные землетрясения, а в августе зафиксированы необычные явления, описанные в региональной прессе. Местные жители наблюдали на поверхности озера «водяные столбы в несколько сажень высотой», при этом «прибрежная почва колебалась». Анализ литературных данных позволил сделать вывод о связи этих событий. Вероятно, землетрясения 1912 г. спровоцировали выброс больших объемов газа (возможно, метана) в водную толщу оз. Байкал и в атмосферу в районе ст. Шарыжалгай КБЖД [10]. Следы этих сейсмических событий с высокой долей вероятности были обнаружены также в колонке байкальских отложений, отобранной на глубине 1300 м в районе исследования [2].

* Авторы благодарны д-ру физ.-мат. наук, проф. Н. М. Будневу и участникам экспедиции НИИПФ ИГУ за поддержку работ, а также канд. биол. наук С. С. Воробьевой и Т. О. Железняковой за выполнение диатомового анализа.

Материалы и методы

Комплексно исследована колонка поверхностных донных осадков ВАК10–6, отобранная в оз. Байкал на глубине 1250 м в районе ст. Шарьжалгай Кругобайкальской железной дороги (рис. 1). Координаты точки отбора: 51°43.835' с. ш. 104°58.413' в. д. Отбор отложений осуществлялся грунтовой трубкой UWITEC со льда озера.

Колонка была разрезана, сфотографирована, выполнено литологическое описание разреза, сопровождаемое просмотром смер-слайдов. Описание смер-слайдов проводилось на световом микроскопе марки SK14 (увеличение $\times 100$) и включало определение основных родов ископаемых диатомовых водорослей, качественного гранулометрического состава терригенной составляющей осадков.

С шагом 1 см измерена магнитная восприимчивость отложений с использованием поверхностного зонда марки Bartington GT-2 [12].

Проведён диатомовый анализ осадков по методике, описанной в работе [4]. Проанализированы 52 пробы, шаг опробования – 1 см.

В интервале 0–15 см с шагом 0,5 см (30 проб) определены концентрации биогенного кремнезема ($Si_{\text{биог.}}$), органического углерода ($C_{\text{орг.}}$) и общего азота ($N_{\text{общ.}}$).

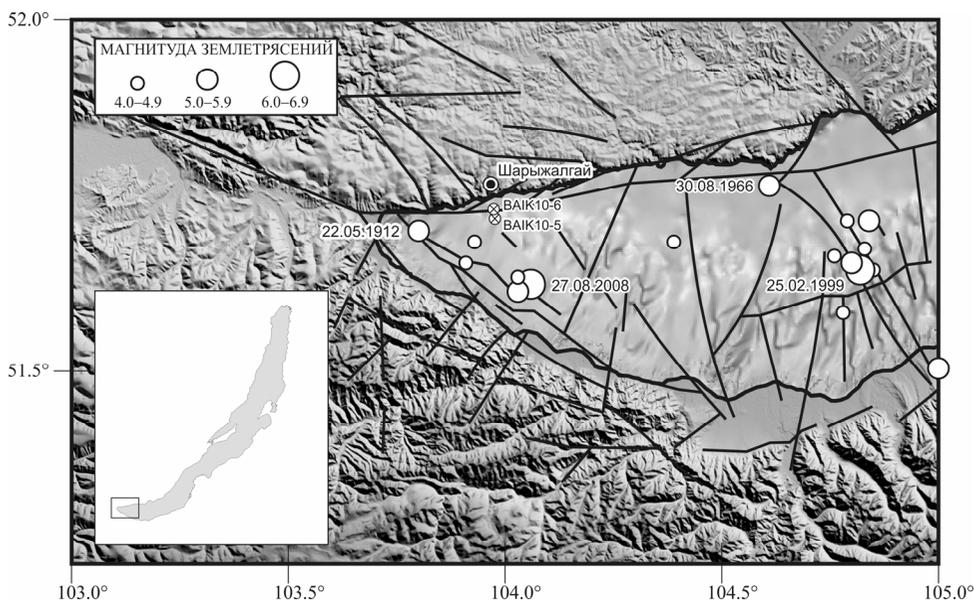


Рис. 1. Землетрясения с магнитудой $M \geq 4,0$, произошедшие на Южном Байкале после 1912 г. Для наиболее значимых событий указаны даты. Черные линии – активные разломы (по [7]). Перекрестиями в кружках отмечены точки отбора кернов ВАК10–5 и ВАК10–6. Подробное описание колонки ВАК10–5 приведено в работе [2]

Результаты и обсуждение

Литологическая характеристика донных осадков колонки ВАИК10-6. Отложения представлены переслаиванием пелагических биогенно-терригенных илов и турбидитов (рис. 2). Пелагические илы состоят из автохтонного биогенного и аллохтонного терригенного материалов и образуются в спокойных условиях седиментации. Биогенная часть представлена, в основном, створками отмерших диатомовых водорослей, терригенная – обломками пород, кластогенными минеральными зёрнами и глинистыми минералами. Турбидиты отмечены в интервалах 1–3,5 см, 21,8–24,8 см и 38,9–42,7 см разреза. Они были идентифицированы по градационной текстуре, более крупнозернистому гранулометрическому составу, темному цвету и наличию наземных растительных остатков [1]. Турбидиты являются отложениями суспензионных потоков, которые в свою очередь формируются из оползней, селей и твёрдого стока рек [5]. На глубинах 10,0–10,5 см, 26,0–26,5 см колонки наблюдаются тонкие песчано-алевритовые слои.

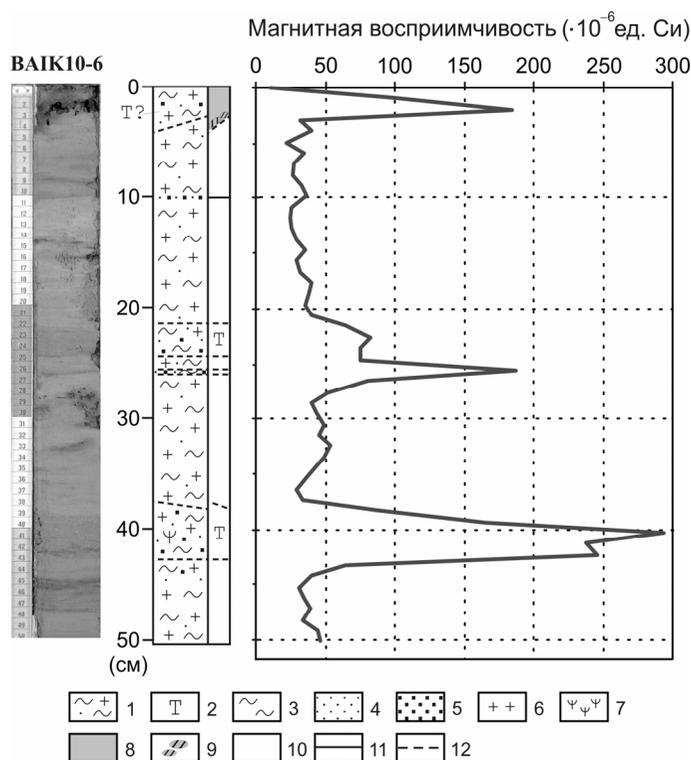


Рис. 2. Фотография, литологическое строение разреза и магнитная восприимчивость осадков колонки ВАИК10-6.

Условные обозначения. Литологическая характеристика (левый столбец): 1 – пелагический ил, 2 – турбидит; 3–5 – типы осадков (фракции): 3 – пелит, 4 – алеврит, 5 – песок; 6 – диатомеи, 7 – наземные растительные остатки. Правый столбец: 8 – окисленные осадки, 9 – фрагменты Fe-Mn корки, 10 – восстановленные осадки. 11 и 12 – границы между слоями (11 – четкие, 12 – нечеткие)

Верхняя часть разреза окислена. Окисленные осадки имеют темно-коричневый и черный цвета, их мощность составляет 2,7–4,2 см (нижняя граница – под наклоном). В основании слоя отмечаются фрагменты Fe-Mn корки, приуроченные к границе с восстановленными отложениями. Этот слой, вероятно, является аналогом окисленной зоны в интервале 8,7–11,4 см в колонке ВАК10-5 [2], отобранной ранее в районе исследования (см. рис. 1). Окраска восстановленных осадков – от оливково-серой (пелагические илы) до оливково-черной (турбидиты).

Таким образом, в отличие от ранее исследованной колонки ВАК10-5 (см. рис. 1), в отложениях, вскрытых керном ВАК10-6, отсутствует специфический осадочный слой, образование которого связывается с землетрясением 1912 г. [2]. Колонка ВАК10-6 была отобрана на меньшей глубине и несколько ближе к северному берегу, чем керн ВАК10-5, поэтому самый верхний слой осадков в разрезе ВАК10-6 мог быть нарушен (снесён) в результате какого-либо более позднего события. Катастрофическая седиментация могла быть спровоцирована как береговыми оползнями, так и перемещением материала по подводным склонам. Этому, в частности, способствует высокая сейсмическая активность района исследования [8].

Наиболее важные события, произошедшие после землетрясений 1912 года в районе исследования. В районе юго-западного замыкания впадины оз. Байкал, характеризующегося сложной сетью активных разломов [7], неоднократно отмечались сильные сейсмические события, вызывавшие высокобалльные сотрясения в пределах эпицентральных областей. После 1912 г. в относительной близости к ст. Шарыжалгай произошло несколько землетрясений (см. рис. 1), из которых наибольший интерес для нас представляют события 30 августа 1966 г. ($M_{LN} = 5,5$) и 27 августа 2008 г. ($M_w = 6,3$). Эпицентр землетрясения 1966 г. был локализован к востоку от района ст. Шарыжалгай, однако, согласно собранным макросейсмическим данным, сотрясения интенсивностью 5–6 баллов по шкале MSK-64 наблюдались практически на всем северном побережье Южного Байкала, при этом изосейсты оказались заметно вытянутыми в широтном направлении [11]. Землетрясение 27 августа 2008 г. является одним из наиболее сильных событий в пределах впадины Байкала за последние 50 лет. Интенсивность сотрясений в расположенных на побережье Южного Байкала пунктах в зависимости от эпицентрального расстояния достигала 6–8 баллов; сильные сотрясения спровоцировали массовое возникновение осыпей, камнепадов, обвалов и оползней на естественных склонах [9]. Оба землетрясения были достаточно сильными, чтобы вызвать формирование на подводных склонах впадины Байкала мутьевых потоков, которые в свою очередь могли «снести» верхний слой донных осадков. Подобный эффект может быть вызван также землетрясением меньшей магнитуды при расположении очага вблизи борта впадины. Таким образом, сейсмическую активность можно считать одним из ключевых факторов, влияющих на формирование донных осадков Байкала. В одних случаях землетрясения провоцируют поступление материала на дно озера, в других – вызывают разнообразные нарушения в оса-

дочной толще. По-видимому, подобное нарушение произошло в месте отбора керна ВАК10-6.

Еще одной причиной поступления твердого материала в озерную впадину являются крупные паводки на впадающих в оз. Байкал реках. В качестве примера можно привести сильное наводнение на реках Южного Прибайкалья в 1971 г. [3].

Магнитная восприимчивость (МВ) осадков варьирует по разрезу ВАК10-6. В пелагических биогенно-терригенных илах МВ изменяется от $20 \cdot 10^{-6}$ до $50 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ (см. рис. 2). Эта величина повышена в турбидитовых слоях. Когда в основании турбидитов залегает грубозернистый песок, МВ максимальна – до $300 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ. МВ турбидитов, вскрытых керном ВАК10-6, значительно выше МВ турбидитов разреза ВАК10-5.

Биогенный кремнезем, источником которого служат главным образом диатомовые водоросли, в верхних 15 см колонки изменяется от 6 до 32,3 % (рис. 3). При этом минимальные значения отмечаются в турбидитном прослое на глубине 2–3 см (9,0–10,5 %) и в песчаном прослое на глубине 10,0–10,5 см (6–7 %). Максимальные значения $\text{SiO}_{2\text{биог.}}$ зафиксированы в пелагических илах в самом верхнем слое осадков в интервале 0–0,5 см (28 %) и на глубине 5–6 см (31–32 %).

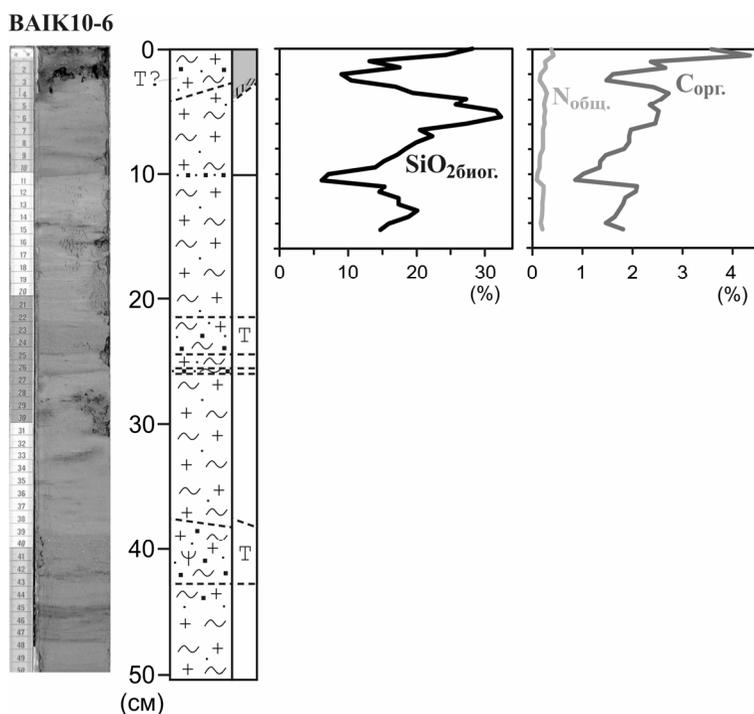


Рис. 3. Содержание биогенного кремнезема ($\text{SiO}_{2\text{биог.}}$), органического углерода ($\text{C}_{\text{орг.}}$) и общего азота ($\text{N}_{\text{общ.}}$) в донных осадках колонки ВАК10-6.

Условные обозначения см. на рис. 2

Содержания органического углерода и общего азота хорошо коррелируют с данными биогенного кремнезема (см. рис. 3). Минимальные концентрации наблюдаются в турбидитовом (1,5–1,6 % $C_{орг}$ и 0,2 % $N_{общ}$) и песчаном (0,9–1,0 % $C_{орг}$ и 0,1 % $N_{общ}$) прослоях. Повышенные содержания этих компонентов отмечаются в пелагических илах (до 3,6–4,3 % $C_{орг}$ и до 0,4 % $N_{общ}$). В целом содержания $N_{общ}$ в отложениях очень малы. Отношение C/N в пределах пелагических илов изменяются от 8,5 до 9,5. Максимальные значения зафиксированы в турбидитовом прослое (до 10,5), что, вероятно, отражает повышенную примесь аллохтонного органического вещества.

Результаты диатомового анализа приведены на рис. 4. Численность микрофоссилий варьирует по разрезу. Максимальные содержания приходятся на пелагические илы, в пределах турбидитов концентрации планктонных диатомей, спикул губок и цист золотистых резко понижаются. В целом по разрезу планктонные диатомеи составляют 17,3–261,3 млн створок на грамм сухого осадка (млн ств./г), бентосные – 0,37–1,44 млн ств./г (0,34–5,4 % от общей численности), цисты золотистых – 3,0–34,8 млн экземпляров на грамм сухого осадка (млн экз./г), спикулы губок – 10–110 тыс. экз./г. Бентосные диатомеи представлены наиболее разнообразно – 81 таксон (72 %) из 28 родов, в отличие от планктонных – 32 таксона (28 %) из 9 родов.

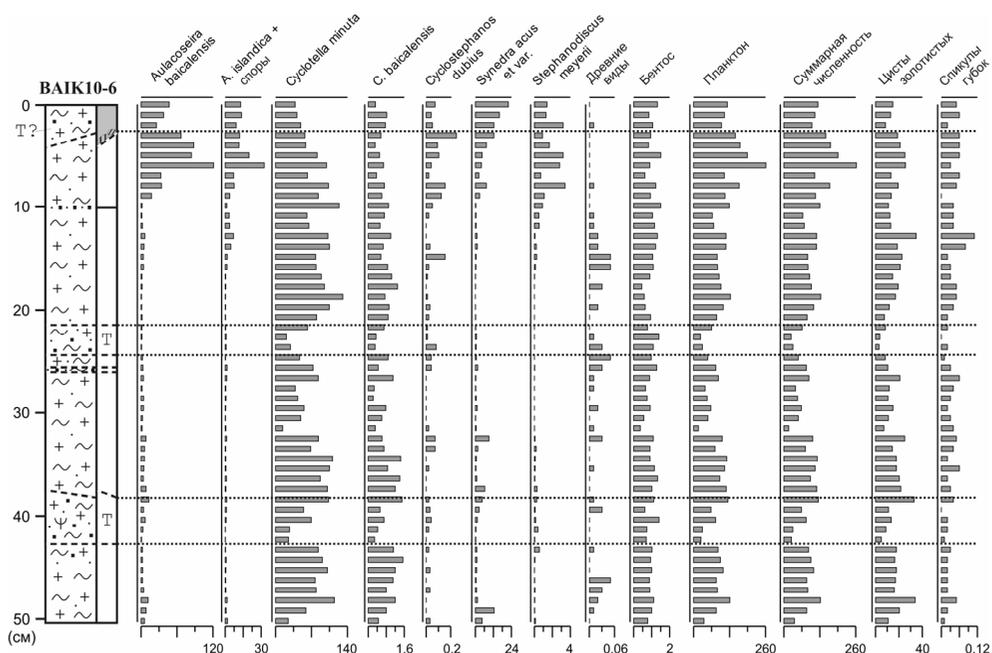


Рис. 4. Распределение видов диатомовых (в млн створок на 1 г сухого осадка), цист золотистых водорослей и спикул губок (в млн экземпляров на 1 г сухого осадка) по разрезу БАИК10–6. Условные обозначения см. на рис. 2

Руководящий комплекс состоит из планктонных диатомей: *Aulacoseira baicalensis* (0,5–52,6 %), *A. islandica* со спорами (0,2–12,4 %), *Cyclotella minuta* (30,8–98,2 %), *Synedra acus* (0,02–17,8 %). Сопутствующими видами являются *Synedra ulna* var. *danica* (0,01–5,10 %), *Cyclotella baicalensis* (0,2–1,8 %), *Cyclostephanos dubius* (0,01–0,12 %), *Stephanodiscus meyerii* (0,01–3,20 %). Также встречаются *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*, *A. subarctica*, *St. inconspiciuus*, *Ellerbeckia teres*. Их численность не превышает 100 тыс. ств./г. Кроме того, присутствуют створки переотложенных древних видов – 0,01–0,05 млн ств./г (0,01–0,10 %), характерных для миоцена-плейстоцена (16 видов из родов *Stephanopsis*, *Tertiarius*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*). Состав доминантов указывает на позднеголоценовый возраст изученных осадков [6; 13; 14].

Заключение

Комплексный анализ байкальских отложений, вскрытых на глубине 1250 м в районе ст. Шарыжалгай КБЖД, позволяет сделать следующие выводы:

1. Отложения представлены переслаиванием пелагических илов и турбидитов. Это свидетельствует о том, что периоды спокойных условий осадкообразования время от времени сменялись катастрофической седиментацией.

2. В отличие от пелагических илов турбидиты характеризуются градиционной текстурой, более крупнозернистым гранулометрическим составом, наличием наземных растительных остатков, повышенными значениями магнитной восприимчивости и отношения органического углерода к азоту, пониженными содержаниями микрофоссилий (планктонных диатомей, спикул губок, цист золотистых), биогенного кремнезема, органического углерода и общего азота. Всё это свидетельствует о том, что источником материала, слагающего турбидиты, в значительной степени являются береговая и мелководная зоны Байкала.

3. В исследованной колонке отсутствует специфический осадочный слой, обнаруженный ранее в районе исследования и образованный, по всей видимости, в результате землетрясений 1912 года. Вероятно, он был нарушен в результате какого-либо более позднего события, чему способствует высокая сейсмическая активность района исследования.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 12–05–98054-р_сибирь_a.

Список литературы

1. Результаты седиментологических исследований голоценовых отложений Южной и Средней котловин озера Байкал (на примере скважины VDP-97 и колонковых трубок) / Е. Г. Вологина, С. А. Кашик, М. Штурм, С. С. Воробьева, Т. К. Ломоносова, И. А. Калашникова, Т. И. Храмова, С. Ю. Тошчаков // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 4. – С. 401–413.

2. Землетрясение 1912 года на Южном Байкале: следы в донных осадках и выброс газа в водную толщу / Е. Г. Вологина, М. Штурм, Я. Б. Радзиминович, С. С. Воробьева, А. А. Щетников // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 12. – С. 1744–1755.
3. Галазий Г. И. Байкал в вопросах и ответах / Г. И. Галазий. – Иркутск : Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1989. – 368 с.
4. Сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена в осадках озера Байкал / М. А. Грачев, Е. В. Лихошвай, С. С. Воробьева, О. М. Хлыстов, Е. В. Безрукова, Е. В. Вейнберг, Е. Л. Гольдберг, Л. З. Гранина, Е. Г. Корнакова, Ф. И. Лазо, О. М. Левина, П. П. Летунова, П. В. Отинов, В. В. Пирог, А. П. Федотов, С. А. Яскевич, В. А. Бобров, Ф. В. Сухоруков, В. И. Резчиков, М. А. Федорин, К. В. Золотарев, В. А. Кравчинский // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38, № 5. – С. 957–980.
5. Карабанов Е. Б. Суспензионные потоки и их роль в формировании осадочных толщ / Е. Б. Карабанов // Литодинамика и осадкообразование Северного Байкала / под ред. Г. И. Галазия. – Новосибирск, 1984. – С. 223–240.
6. Центрические диатомовые водоросли позднего кайнозоя озера Байкал: морфология, систематика, стратиграфическое распространение, этапность развития (по материалу глубоководного бурения) / М. И. Кузьмин, Г. К. Хурсевич, А. А. Прокопенко, С. А. Феденя, Е. Б. Карабанов. – Новосибирск : Академ. изд-во «ГЕО», 2009. – 375 с.
7. Лунина О. В. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири / О. В. Лунина, А. С. Гладков, П. П. Шерстянкин // Докл. Академии наук. – 2010. – Т. 433, № 5. – С. 662–667.
8. Сейсмичность Байкальской рифтовой зоны за период цифровой регистрации землетрясений (2001–2006 гг.) / В. И. Мельникова, Н. А. Гилева, Н. А. Радзиминович, О. К. Масальский, В. В. Чечельницкий // Вопр. инженер. сейсмологии. – 2009. – Т. 36, № 1. – С. 40–55.
9. Эффекты Култукского землетрясения 27 августа 2008 года с $M_w = 6.3$ в ближней к эпицентру зоне: результаты макросейсмического обследования / Я. Б. Радзиминович, В. С. Имаев, Н. А. Радзиминович, В. В. Ружич, О. П. Смекалин, А. В. Чипизубов // Вопр. инженер. сейсмологии. – 2009. – Т. 36, № 1. – С. 56–71.
10. Радзиминович Я. Б. «Метановое извержение» на Байкале в 1912 году как эффект сильного землетрясения / Я. Б. Радзиминович, А. А. Щетников, Е. Г. Вологина // Докл. Академии наук. – 2010. – Т. 432, № 3. – С. 356–359.
11. Землетрясение 30 августа 1966 г. в Южном Байкале / В. П. Солоненко, О. В. Павлов, С. Д. Хилько, В. С. Хромовских // Землетрясения в СССР в 1966 году. – М. : Наука, 1970. – С. 182–186.
12. Bartington Instruments Limited. Preliminary Specification for the MS2E Sensor. – Oxford, 1995. – 2 p.
13. A synthesis of post-glacial diatom records from Lake Baikal / J. P. Bradbury, Ye. V. Bezrukova, G. P. Chernyaeva, S. M. Colman, G. Khursevich, J. W. King, Ye. V. Likoshway // Journal of Paleolimnology. – 1994. – Vol. 10, N 3. – P. 213–252.
14. Diatom succession trends in recent sediments from Lake Baikal and their relationship to atmospheric pollution and to climate change / A. W. Mackay, R. J. Flower, A. E. Kuzmina, L. Z. Granina, N. L. Rose, P. G. Appleby, J. F. Boyle, R. W. Battarbee // Philosophical Transactions of the Royal Society, London. – 1998. – Vol. 353, N 1371. – P. 1011–1055.

Composition of bottom Sediments of Lake Baikal Recovered Offshore of Station Sharyzhalgay of the Circum-Baikal Railway

E. G. Vologina, M. Sturm, Ya. B. Radziminovich

Abstract. Baikal sediments were investigated, which were recovered at a depth of 1250 m offshore of station Sharyzhalgay of the Circum-Baikal Railway. The deposits are represented by an alternation of pelagic mud and turbidites. The composition of turbidites indicates that the source of the material is mainly from coastal and shallow water areas of Lake Baikal. A specific sediment layer, previously observed in sediments of the study area, most likely is related to the earthquake of 1912. This layer could not be discovered in the newly studied deposits. Probably the layer has been eroded as a result of a later event, due to the high seismic activity of the study area.

Keywords: Lake Baikal, sedimentation, pelagic mud, turbidites, magnetic susceptibility, diatoms, biogenic silica, organic carbon, total nitrogen.

Вологина Елена Геннадьевна
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: 89500995400

Vologina Elena Gennadijevna
Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Researcher
Institute of the Earth's Crust SB RASS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: 89500995400

Штурм Михаэль
доктор наук
Швейцарский федеральный институт науки и технологии окружающей среды
CH-8600, г. Дюбendorф, п/я 611,
Швейцария
тел.: +4318796387

Sturm Michael
Doctor of Sciences
Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
CH-8600, Dubendorf, 611, Switzerland
tel.: +4318796387

Радзиминович Ян Борисович
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42-95-34

Radziminovich Yan Borisovich
Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Senior Researcher
Institute of the Earth's Crust SB RASS
664033, Irkutsk, Lermontova st., 128
tel.: (3952) 42-95-34