

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

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

** EAWAG, CH-8600, POB 611, Dübendorf, Switzerland*

*** Лимнологический институт СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия*

В Южном Прибайкалье в первой половине 1912 г. отмечались сильные землетрясения, которые, вероятно, позднее спровоцировали выброс больших объемов газа (возможно, метана) в водную толщу оз. Байкал и в атмосферу в районе ст. Шарьжалгай Кругобайкальской железной дороги. Это явление наблюдалось в августе 1912 г. местными жителями в виде водяных столбов в несколько сажен высотой и нашло отражение в региональной прессе.

Для поисков следов этого события зимой 2010 г. в районе исследования был отобран керн донных осадков на глубине 1300 м. В интервале 1—8.7 см колонки обнаружен однородный слой, возраст которого по данным ^{210}Pb датирования не выходит за пределы 100 лет. Отложения этого слоя характеризуются низкими содержаниями $\text{SiO}_{2\text{биог}}$ и в то же время повышенными концентрациями $\text{C}_{\text{орг}}$ по сравнению с подстилающими осадками. Кроме того, в них отмечаются значительное содержание наземных растительных остатков, пониженная численность створок планктонных диатомовых водорослей, повышенная доля бентосных и древних диатомей. Эти данные свидетельствуют о том, что рассматриваемый слой образовался в результате землетрясения 1912 г., а источником слагающего его материала в значительной степени являются береговая и мелководная зоны Байкала.

Землетрясение, метан, донные отложения, магнитная восприимчивость, диатомей, скорость современного осадконакопления, оз. Байкал.

THE 1912 EARTHQUAKE IN SOUTH BAIKAL: TRACES IN BOTTOM SEDIMENTS AND GAS RELEASE INTO THE WATER COLUMN

E.G. Vologina, M. Sturm, Ya.B. Radziminovich, S.S. Vorob'eva, and A.A. Shchetnikov

Large earthquakes took place in southern Cisbaikalia in the first half of 1912. They might have caused a mass release of large amounts of gas (methane?) into the water of Lake Baikal and the atmosphere near Shary-zhalgai station of the Circum-Baikal Railroad. This phenomenon was observed in August 1912 by the residents as rising water columns several meters high and reported in the regional press.

To find traces of this event, core was recovered from bottom sediments at a depth of 1300 m in winter 2010. The depth interval 1–8.7 cm is a homogeneous layer, no more than 100 years old (^{210}Pb dating). The sediments here are poor in $\text{SiO}_{2\text{биог}}$ but richer in $\text{C}_{\text{орг}}$ than the underlying sediments. Also, they are marked by a considerable content of terrestrial plant remains, a lower content of planktonic diatoms, and higher contents of benthic and ancient diatoms. These data indicate that the layer under study formed as a result of the 1912 earthquake, with a considerable contribution from the littoral and shallow-water zones of Lake Baikal.

Earthquake, methane, bottom sediments, magnetic susceptibility, diatoms, rate of recent sedimentation, Lake Baikal

ВВЕДЕНИЕ

Осадконакопление в оз. Байкал происходит на фоне высокой сейсмической активности, оказывающей влияние на формирование специфических осадочных образований. Ярким примером является зал. Провал в районе дельты р. Селенга, образовавшийся на месте Цаганской степи в результате катастрофического землетрясения 1862 г. ($M = 7.5$ [Новый каталог..., 1977]). Отложения зал. Провал представлены песками, пелитоалевритовыми и алевритопелитовыми илами; они подстилаются почвами Цаганской степи и донными отложениями озер, существовавших на этой площади до землетрясения 1862 г. [Вологина и др., 2010].

В пределах плоских глубоководных частей дна озера голоценовые отложения представлены пере-
слаиванием пелагических биогенно-терригенных илов и турбидитов. Чередование этих осадков свиде-

тельствует о том, что периоды спокойного осадкообразования время от времени сменялись катастрофической седиментацией, которая наряду с другими факторами могла быть спровоцирована сильными землетрясениями.

Особый интерес представляют содержащиеся в донных осадках Байкала газы, прежде всего метан. Впервые пробы газогидратов метана были получены при бурении скв. ВDP-97 в центральной части Южной котловины озера [Кузьмин и др., 1998]. О выходах газов в водную толщу Байкала известно уже довольно давно, однако это явление до сих пор изучено далеко не полностью. Много вопросов вызывает также механизм дестабилизации газовых гидратов. Вместе с тем, несмотря на недостаточную изученность проблемы, имеются точки зрения, согласно которым выбросы метана могут быть связаны с тектонической и сейсмической активностью [Гранин, Гранина, 2002; De Batist et al., 2002b]. Авторам настоящей статьи удалось обнаружить новые фактические данные, представляющие интерес в аспекте выявления прямой пространственно-временной связи между сильным сейсмическим событием и массовой разгрузкой метана в водную толщу озера. В 1912 г. в районе юго-западного замыкания впадины оз. Байкал местные жители наблюдали необычные эффекты, по внешним признакам напоминающие «подводное извержение». Эти факты были зафиксированы в издававшихся в г. Иркутск газетах, однако до последнего времени не попадали в поле зрения специалистов. Описание явления наводит на мысль о выбросах значительных объемов газа. Интересно также, что в том же 1912 г. на Южном Байкале наблюдалось значительное повышение сейсмической активности. Это обстоятельство позволило нам рассматривать интенсивную разгрузку газа в водную толщу озера и в атмосферу в связи с произошедшими в этом районе сильными землетрясениями. Предварительные результаты наших исследований были опубликованы в работе [Радзиминович и др., 2010], тем не менее данная тема, безусловно, нуждается в дальнейшем рассмотрении. В частности, крайне интересным является возможность обнаружения следов землетрясений 1912 г. в донных осадках впадины Южного Байкала. Для оз. Байкал потенциал подобных работ практически не реализован, хотя для многих районов земного шара поиск индикаторов исторических и палеоземлетрясений в озерных и морских осадках дает неплохие результаты [Beck et al., 2007; Fanetti et al., 2008; Leroy et al., 2010]. Получаемая в рамках подобных исследований информация, в свою очередь, позволяет составить более полное представление об истории осадконакопления в водоеме, а также о масштабах проявления сейсмических событий.

Таким образом, нашей основной задачей являлось исследование состава байкальских осадков, отобранных в районе ст. Шарыжалгай и поиск в них следов землетрясения 1912 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Новые данные, относящиеся к рассматриваемому вопросу, были обнаружены в «Бюллетене Постоянной центральной сейсмической комиссии» за 1912 г. [Бюллетень..., 1914]. Дословно сообщение [Бюллетень..., 1914] выглядит следующим образом: *«Август. В этом месяце (без указания числа) газеты сообщают о необычном и маловероятном явлении, едва ли бы оставшемся незамеченным более достоверными корреспондентами. Именно, сообщается, что на оз. Байкале, против ст. Шарашангай Кругобайкальской ж.д., произошло 3 подводных извержения (!!), сопровождавшихся землетрясением; вода поднималась столбами в несколько сажен высотой (!!), произошел обвал скал в несколько сот тысяч пудов (!!).»*

В «Бюллетенях ПЦСК» публиковались инструментальные и макросейсмические сведения о землетрясениях на территории Российской империи, причем инструментальные данные поступали непосредственно с сейсмических станций, в то время как макросейсмическая информация заимствовалась из довольно широкого диапазона источников. В качестве источника данных составителем сводки А.П. Герасимовым указываются газеты. В начале XX в. периодическая печать широко использовалась для сбора сведений о сейсмических проявлениях на всей территории страны, однако работа велась главным образом с центральными газетами, издававшимися в Санкт-Петербурге и Москве. В столичных изданиях информация из Сибири публиковалась в основном в виде перепечаток из региональной прессы, а также в виде кратких сообщений телеграфных агентств. На стадии переноса информации из одного источника в другой почти неизбежно возникают ошибки или опечатки, во многих случаях значительно искажающие смысл и содержание первоначального сообщения. Действительно, приведенные в [Бюллетень..., 1914] данные выглядят расплывчатыми и неуверительными, что заставило А.П. Герасимова усомниться в достоверности сообщений. Например, явно ошибочно указано название станции железной дороги: Шарашангай вместо Шарыжалгай. Следовательно, «Бюллетень ПЦСК» [1914] в данном случае нельзя рассматривать как первоисточник, что привело нас к необходимости поиска первичных данных в региональной прессе.

Тщательный просмотр годовых подшивок региональных газет за 1912 г. позволил обнаружить две заметки, опубликованные в газетах «Сибирь» и «Сибирские вести», издававшихся в Иркутске. Ниже мы

приводим оба сообщения дословно (набрано курсивом), с сохранением оригинального стиля и пунктуации.

Газета «Сибирь», 1912 г., 9 октября, № 225: *«Нам сообщают, что на оз. Байкале возле ст. Шарыжалгай, кругобайкальской ж. д., в течение августа н. г. произошло три «подводных извержения». Жители наблюдали выбрасывавшийся в воздух большой водяной столб. Поверхность Байкала при этом приходила в сильное движение. На ней появлялось много мертвой выкинутой рыбы, обитающей на значительной глубине, как, например, голомянки. Железнодорожное здание на этой станции стоит на отвесной скале, которая значительно подмыта Байкалом. Последний в этом месте имеет большую глубину».*

Газета «Сибирские вести», 1912 г., 9 октября, № 44: *«Подводные извержения на Байкале. До сих пор не были отмечены газетами интересные явления, наблюдавшиеся на оз. Байкале, вблизи ст. Шарыжалгай Кругобайкальской ж. д., в августе месяце. В течение этого месяца там было три подводных извержения, причем вода в Байкале поднималась столбом, а прибрежная почва колебалась.*

После того, как извержение прекратилось, поверхность Байкала в означенном месте оказалась покрытой огромным количеством мертвой голомянки и другой рыбы».

Таким образом, описания в иркутских газетах выглядят намного более правдоподобно, чем явно искаженное сообщение в [Бюллетень..., 1914]. Здесь правильно указаны географические названия, а также приводятся дополнительные подробности, в частности, сообщается о массовой гибели рыбы. Более того, в сообщении газеты «Сибирские вести» упоминается об ощущавшихся в районе ст. Шарыжалгай колебаниях почвы, что можно рассматривать как проявление слабого или умеренного землетрясения.

Для поисков следов землетрясений 1912 г. в районе исследования зимой 2010 г. была отобрана колонка осадков (ВАК10-5) на глубине 1300 м. Координаты точки отбора: 51°43.030' с.ш., 103°58.572' в. д. (рис. 1). Для отбора керн использовалась грунтовая трубка UWITEC-CORER, позволяющая получать ненарушенные отложения.

Колонка была разрезана, сфотографирована; выполнено литологическое описание разреза, сопровождаемое просмотром сфер-слайдов. Описание сфер-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 [Bartington Instruments..., 1995].

Проведен диатомовый анализ осадков по методике, описанной в работе [Грачев и др., 1997]. Проанализировано 50 проб, шаг опробования — 1 см.

В интервале 0—15 см с шагом 0.5—1.0 см (24 пробы) определены концентрации биогенного кремнезема ($Si_{\text{биог.}}$), органического углерода ($C_{\text{орг.}}$) и общего азота ($N_{\text{общ.}}$). Выполнено датирование осадков по ^{210}Pb (период полураспада 23.3 года). Гамма-излучение ^{210}Pb (46.5 кэВ) измерено откалиброванным полупроводниковым Ge(Li)-детектором [Kulbe et al., 2005]. Кроме того, получены данные для изотопа ^{137}Cs (период полураспада 30.1 года), однако они не пригодны для проведения датирования байкальских осадков из-за долгого пребывания ^{137}Cs в водной толще [Appleby et al., 1998]. Скорость современного осадконакопления в точке отбора керн ВАК10-5 была определена с использованием кривой распада ^{210}Pb и CRS-модели (CRS — постоянная скорость поступления материала (constant rate of supply)) [Appleby, 2001].

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛОНКИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Литологическая характеристика осадков. Отложения, вскрытые керном ВАК10-5, представлены переслаиванием пелагических биогенно-терригенных илов и турбидитов. В интервалах 0—1 см и 8.7—11.4 см наблюдаются два окисленных слоя коричневого, темно-коричневого и коричнево-черного цветов. Между ними отмечается однородный слой алевритопелитового осадка (рис. 2). Градации материала по крупности в пределах слоя не обнаружено, что не позволяет отнести его к турбидитам. Однако этот слой значительно отличается от вмещающих пелагических биогенно-терригенных илов по более темному цвету, значительному содержанию наземных растительных остатков и слюдистых частиц.

Турбидиты обнаружены в интервалах 17—20, 27.0—41.3, 43.3—49.0 см. Они характеризуются более крупнозернистым гранулометрическим составом, наличием растительных остатков, повышенной примесью слюдистых частиц и градиционной текстурой, свидетельствующей об их генетической связи с суспензионными потоками. Наиболее четко градиционная текстура проявлена в интервале 27.0—41.3 см. В основании турбидита залегает песок с алевритом и незначительной примесью пелита, в верхней части наблюдается алевритовый пелит.

Магнитная восприимчивость (МВ) осадков варьирует по разрезу ВАК10-5. Эта величина повышена в турбидитовых слоях. Когда в основании турбидитов залегает грубозернистый песок, МВ мак-

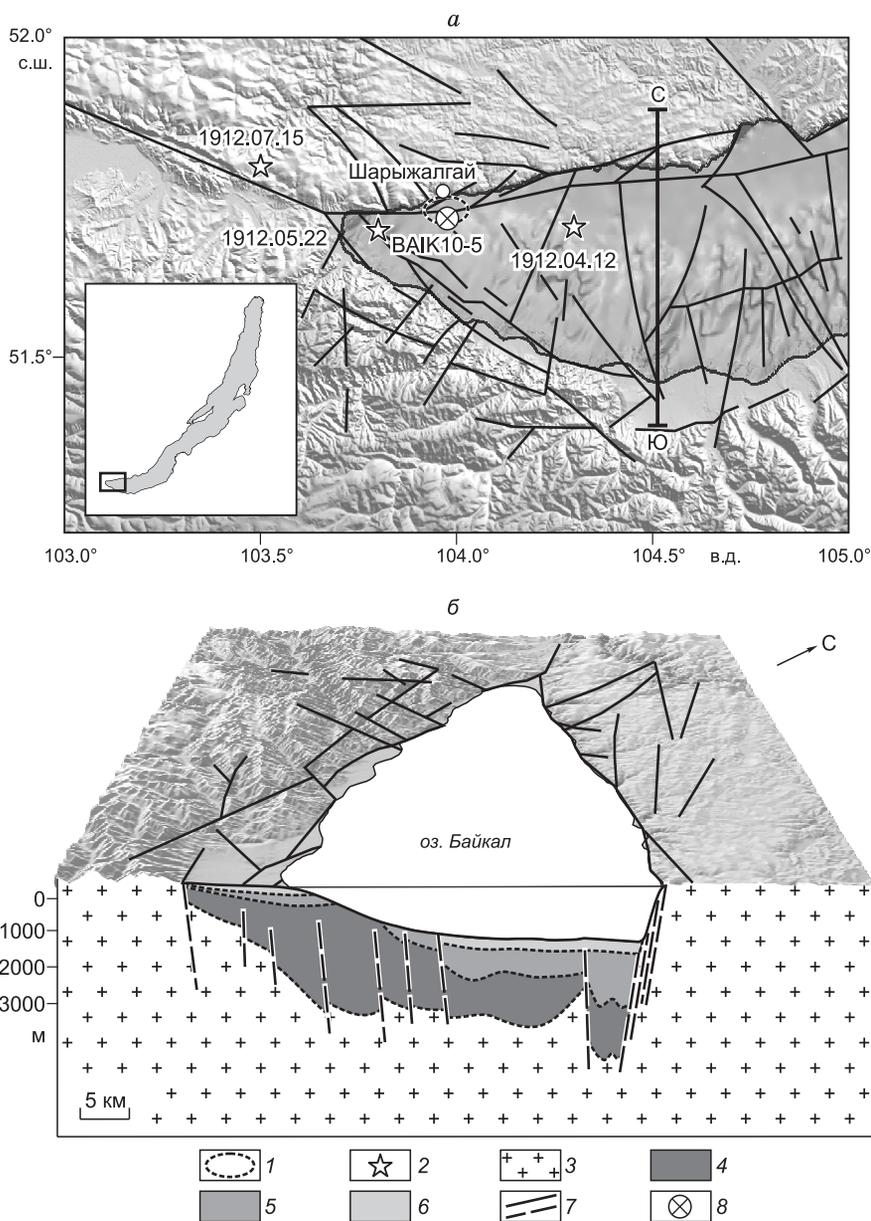


Рис. 1. Юго-западное окончание оз. Байкал (а) и схематический геологический разрез по профилю ЮС (б), по [Николаев и др., 1985].

Черным прямоугольником на врезке обозначена территория исследований. Батиметрические данные приведены по работе [De Batist et al., 2002a]. 1 — район наблюдения «метанового извержения»; 2 — эпицентры землетрясений 1912 г. на рассматриваемой территории, по данным [Минчиковский, 1914; Новый каталог..., 1977], рядом со значком указана дата события; 3 — докайнозойский кристаллический фундамент; 4–6 — осадочное выполнение впадины Южного Байкала: миоцен—нижний-средний плиоцен (4), верхний, частично средний плиоцен (5), плейстоцен (6); 7 — разломы, по данным [Николаев и др., 1985; Лунина и др., 2010]; 8 — точка отбора ядра ВАК10-5.

симальна (до $98 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ). В пелагических биогенно-терригенных илах МВ изменяется от $10 \cdot 10^{-6}$ до $50 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ. Слой отложений в интервале 1.0—8.7 см характеризуется постоянной МВ — около $50 \cdot 10^{-6}$ ед. СИ (см. рис. 2).

Биогенный кремнезем, источником которого служат главным образом диатомовые водоросли, в верхних 15 см колонки изменяется от 12.2 до 35.5 % (рис. 3). При этом в пелагических илах $\text{SiO}_{2\text{биог.}}$ составляет 22.7—35.5 %. Пониженные значения (от 12.2 до 19.9 %) отмечаются в интервале 1.0—8.7 см.

Содержания органического углерода и общего азота (см. рис. 3). $\text{C}_{\text{орг}}$ в верхней части разреза варьирует от 2.51 до 5.13 %. Слой в интервале 1.0—8.7 см характеризуется повышенными концентраци-

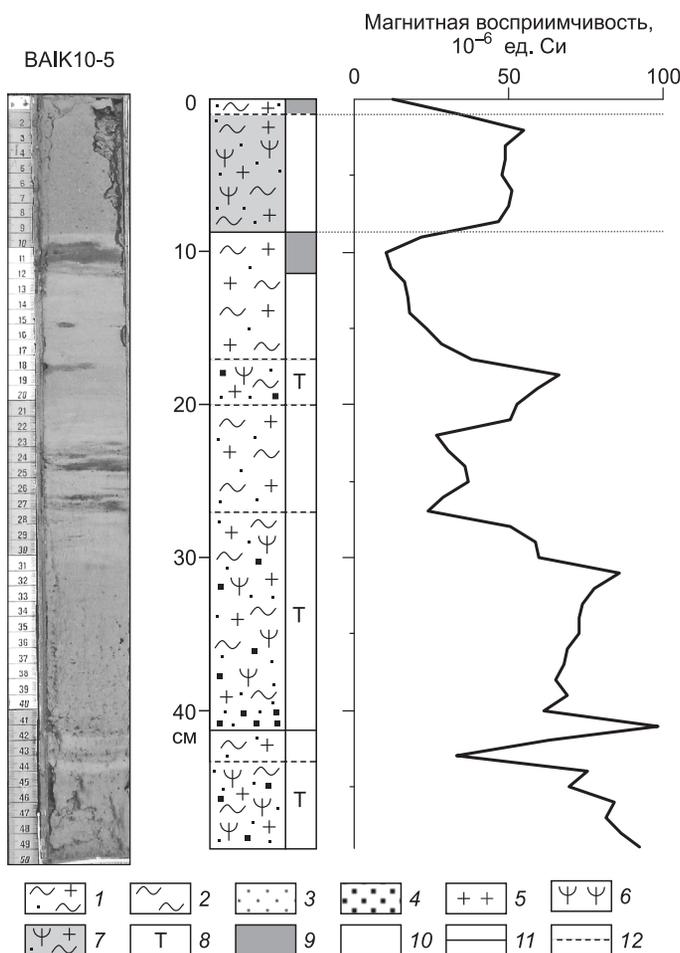


Рис. 2. Фотография, литологическое строение разреза и магнитная восприимчивость осадков колонки БАИК10-5.

Литологическая характеристика отложений: левый столбец: 1 — пелагический ил; 2—4 — типы осадков (фракции): 2 — пелит, 3 — алеврит, 4 — песок; 5 — диатомеи; 6 — наземные растительные остатки; 7 — темный однородный слой осадков (1912 г.?); 8 — турбидит; правый столбец: 9 — окисленный осадок, 10 — восстановленный осадок; 11, 12 — границы между слоями: 11 — четкие, 12 — нечеткие; Т — турбидиты.

ями $C_{орг.}$ (до 5.13 %). Во вмещающих осадках этот параметр не превышает 3.5 %. Содержания $N_{общ.}$ в отложениях очень малы (0.28—0.43 %).

Результаты диатомового анализа приведены на рис. 4. Содержания микрофоссилий варьируют по разрезу: планктонные диатомеи составляют 6.1—197.9 миллиона створок на грамм сухого осадка (млн ств./г), бентосные — 0.44—2.74 млн ств./г, цисты золотистых — 1.14—41.2 миллиона экземпляров на грамм сухого осадка (млн экз./г), спикулы — 10—80 тыс. экз./г. Доминанты представлены *Aulacoseira baicalensis* (0.8—57.5 %), *A. islandica* со спорами (0.2—20.3 %), *Cyclotella minuta* (14.7—97.4 %), *Synedra acus* et var. (0.1—19.4 %); сопутствующие виды —

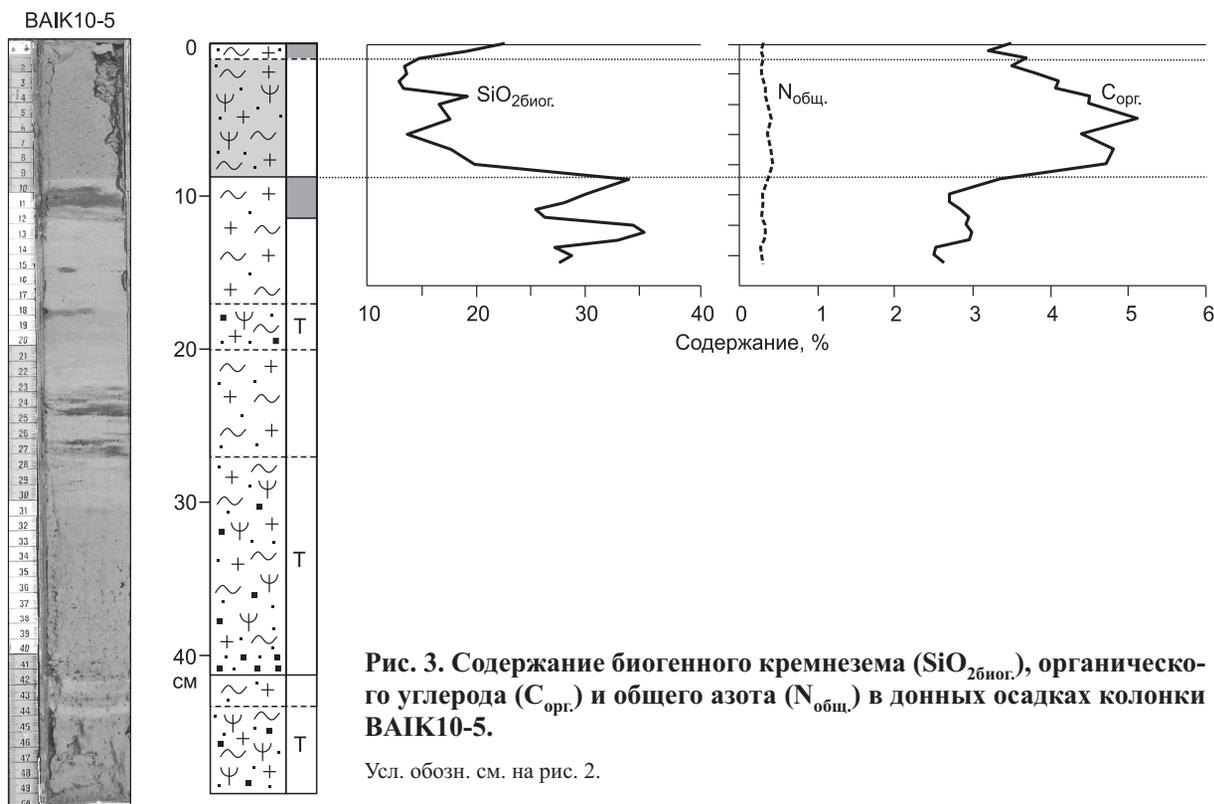


Рис. 3. Содержание биогенного кремнезема ($SiO_{2\text{биог.}}$), органического углерода ($C_{орг.}$) и общего азота ($N_{общ.}$) в донных осадках колонки БАИК10-5.

Усл. обозн. см. на рис. 2.

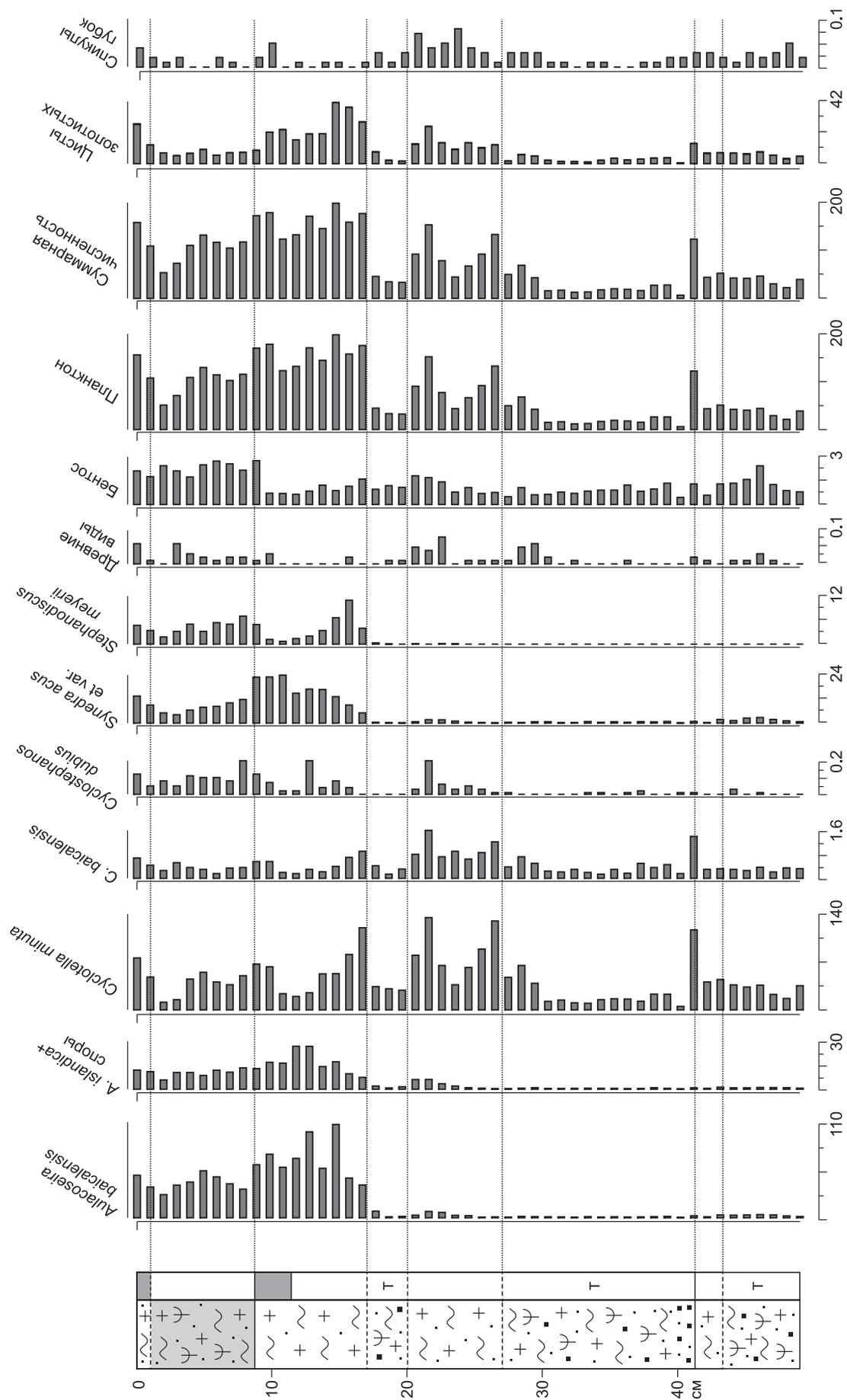


Рис. 4. Распределение видов диатомовых (млн ств./г) лист золотистых водорослей и спиккул губок (млн экз./г) по разрезу ВАК10-5.

Усл. обозн. см. на рис. 2.

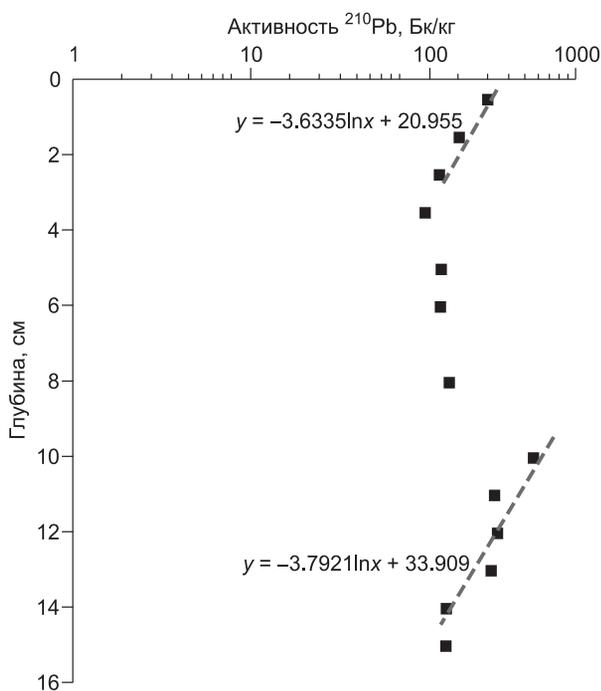


Рис. 5. Изменения активности ^{210}Pb по разрезу ВАК10-5.

Даны в логарифмическом масштабе и сопровождаются соответствующими уравнениями.

Stephanodiscus meyerii (0.04—6.9 %), *Cyclotella baicalensis* (0.12—3.1 %), *Synedra ulna* var. *danica* (0.01—0.45 %), *Cyclostephanos dubius* (0.01—0.17 %). В небольшом количестве отмечаются *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua*, *A. subarctica*, *Melosira varians*, *Ellerbekia teres*, *Stephanodiscus inconspicuus*, *St.sp.* Состав доминантов указывает на позднеголоценовое время формирования осадков. Кроме того, присутствует незначительная примесь древних диатомей. Плиоцен-плейстоценовые виды (14 таксонов) представлены родами: *Stephanodiscus*, *Cyclotella*, *Tertiarius*, *Stephanopsis*, их доля составляет 0.01—0.14 % от общей численности.

Разнообразно представлены бентосные диатомеи — 83 таксона (73 %) из 26 родов, в отличие от планктонных — 31 таксон (27 %) из 10 родов. В ин-

тервале 1.0—8.7 см и в турбидитовых слоях (интервалы 17—20, 27.0—41.3, 43.3—49.0 см) отмечаются пониженное общее содержание диатомей, повышенная доля бентосных организмов и наличие створок переотложенных древних видов.

Результаты измерений ^{210}Pb показывают отчетливые изменения активности по разрезу ВАК10-5 (рис. 5). Максимальные значения отмечаются в интервалах 0—1 см и 10—11 см, затем они уменьшаются вниз по колонке, показывая радиоактивный распад ^{210}Pb в течение обычного накопления осадков. Скорость современного осадконакопления в пределах этих интервалов, рассчитанная с помощью CRS-модели, показывает одинаковые значения — 0.01 см/год. Низкие постоянные величины в интервале 2—10 см указывают на более древний возраст осадков в этой части разреза.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разгрузка газа в водную толщу озера и в атмосферу в связи с сильными землетрясениями.

Гидраты метана, содержащиеся в океанических и морских донных осадках, на протяжении многих лет привлекают внимание специалистов. Исследования в этой области наряду с прочими результатами позволили выявить два интересных обстоятельства. Во-первых, установлено, что разовые выбросы значительных объемов газа из донных осадков или интенсификация деятельности газовых сипов и грязевых вулканов могут провоцироваться сильными сейсмическими событиями. Во-вторых, неоднократно отмечалось, что точки интенсивной разгрузки метана в водную толщу пространственно согласуются с зонами активных разломов.

Исходя из общемировой статистики, спровоцированные землетрясениями массовые выбросы метана из донных осадков в водную толщу нельзя считать большой редкостью. Как следует из довольно многочисленных публикаций, выбросы крупных объемов метана или, по меньшей мере, повышение активности газовых сипов непосредственно после землетрясений отмечались во многих регионах земного шара. В качестве нескольких примеров можно указать на подобные явления, наблюдавшиеся в Черном море (1927 г.) [Никонов, 2002], вблизи побережья Калифорнии (1971 г.) [Clifton et al., 1971], в Мраморном море (1999 г.) [Barka, 1999; Alpar, 1999], в Средиземном море (1886 г.) [Hieke, 2004], вблизи побережья о. Сахалин (2007 г.) [Ломтев, Гуринов, 2009]. Наличие корреляции между землетрясениями и активизацией грязевых вулканов показано Р. Меллорсом с соавторами на примере территории Азербайджана [Mellors et al., 2007]. На оз. Байкал попытки установить взаимосвязь между выделениями газов и сейсмическими событиями предпринимались Р.М. Семеновым и О.П. Смекалиным [2011]. В частности, были выявлены значительные колебания количества растворенного в глубинной воде гелия относительно фоновых значений непосредственно перед сильным Култукским землетрясением 27 августа 2008 г. ($M_w = 6.3$). Таким образом, можно говорить об отклике на сеймотектонические процессы газов различного генезиса и предполагать возможное прогностическое значение подобных явлений.

Значимая корреляция субквальных выбросов метана и сейсмической активности позволяет предположить тектонический контроль этого процесса. Действительно, в многочисленных публикациях приводятся данные, свидетельствующие о пространственной приуроченности газовых сипов непосредственно к активным разломам или к зонам их влияния. В частности, линейное распределение метановых сипов выявлено в Мраморном море, что позволило предположить их связь с подводными сегментами Северо-Анатолийского разлома [Géli et al., 2008]; при этом допускается зависимость интенсивности истечения метана от времени последнего обновления разлома или, иными словами, от его активности. Это положение подтверждается данными по другим регионам. В работах [Obzhirov et al., 2004; Shakirov et al., 2004], рассматривающих газовыделяющие структуры в Охотском море, указывается на увеличение выхода метана в водную толщу во время периодов повышенной сейсмической активности и, соответственно, при активизации разломов. Сходные выводы о связи сейсмичности, активных разломов и интенсивности разгрузки метана в водную толщу вблизи западного побережья Коста-Рики изложены в статье [Mau et al., 2007]. Приуроченность сипов к активным структурам объясняется ослабленностью зон разломов и их «прозрачностью» для флюидов и газов. Как следует из работы [Shakirov et al., 2004], активизация разгрузки метана может быть вызвана даже сравнительно слабыми сейсмическими событиями с $M \approx 3$.

Наличие газовых гидратов в осадках оз. Байкал является уникальным для пресноводного водоема случаем [Кузьмин и др., 1998; Клеркс и др., 2003; Хлыстов, 2006]. Вопрос о выходах газов в водную толщу оз. Байкал и связь этого явления с различными геодинамическими процессами, протекающими в пределах Байкальского рифта, обсуждался Н.Г. Граниным и Л.З. Граниной [2002], проанализировавшими многочисленные исторические источники и связавшими интенсивные выбросы метана с сейсмической активностью. Установлено, что в историческом прошлом подобные явления наблюдались чаще в связи с повышенным числом сильных землетрясений с эпицентрами в акватории оз. Байкал [Гранин, Гранина, 2002].

Ощущавшиеся в районе ст. Шарыжалгай КБЖД колебания почвы (сообщение газеты «Сибирские вести» за 9 октября 1912 г.) можно рассматривать как слабое или умеренное землетрясение. В этом районе в первой половине 1912 г. отмечалась активизация сейсмической деятельности. Сильные и умеренные землетрясения в Южном Прибайкалье произошли 12 апреля, 22 мая и 15 июля [Минчиковский, 1914; Новый каталог..., 1977] (см. рис. 1). Кроме относительно сильных событий сейсмической станцией Иркутск в течение 1912 г. было зарегистрировано около 40 слабых местных толчков [Минчиковский, 1914]. Часть из этих землетрясений, возможно, являются афтершоками наиболее сильного события 22 мая ($M_{LH} = 5.3$ [Новый каталог..., 1977]), некоторые из этих афтершоков, в свою очередь, могли ощущаться на ст. Шарыжалгай в августе 1912 г.

Необходимо отметить, что точность определения эпицентров землетрясений в те годы была сравнительно невысокой. Погрешность определения координат эпицентра для события 22 мая 1912 г. [Новый каталог..., 1977] оценивается в $\sim 0.2^\circ$, или около 20 км. Следовательно, эпицентр этого события мог располагаться в непосредственной близости к ст. Шарыжалгай и, соответственно, к месту выброса газов.

В обоих процитированных оригинальных газетных сообщениях («Сибирские вести» и «Сибирь» за 9 октября 1912 г.) упоминается о массовой гибели глубоководной рыбы голомянки, что может быть интерпретировано как свидетельство выхода газа в водную толщу озера [Гранин, Гранина, 2002]. Подобная массовая гибель водных организмов наблюдалась на турецком побережье Мраморного моря за два дня до Измитского землетрясения 17 августа 1999 г. ($M = 7.4$). В работе [Barka, 1999] это объясняется высвобождением метана из донных осадков в процессе подготовки сейсмического события.

Задержка наблюдавшихся в августе 1912 г. явлений по отношению к сильнейшему землетрясению того же года, произошедшему 22 мая, может объясняться временем, необходимым на формирование условий для высвобождения газа из толщи осадков.

Не исключено, что описанные эффекты связаны с дестабилизацией газогидратов метана. Их наличие в осадках озера было теоретически обосновано по сейсмическим данным [Гольмшток и др., 1997], а в дальнейшем экспериментально подтверждено результатами бурения [Кузьмин и др., 1998]. По расчетным оценкам, мощность газогидратного слоя на Южном Байкале варьируется от 0 до 350—400 м [Гольмшток и др., 1997; Голубев, 2007]. М. де Батист с соавторами [De Batist et al., 2002b] предположили, что дестабилизация газогидратов может быть связана с тектонической активностью и повышенным тепловым потоком. В районе ст. Шарыжалгай, по данным В.А. Голубева [2007], тепловой поток достигает значений 82—88 мВт/м², что существенно выше, чем на прилегающих участках. Действующий источник метана в настоящее время здесь не установлен, однако можно предполагать его наличие, по крайней мере, на момент землетрясений 1912 г.

Наблюдавшиеся в районе ст. Шарыжалгай явления, скорее всего, происходили на небольшом расстоянии от берега, в пределах первых километров. Глубина Байкала здесь довольно велика. На расстоянии приблизительно 1 км от берега, согласно топографической карте м-ба 1:100 000, глубины не превы-

шают 100 м, однако далее отмечается их резкий свал до значений более 1300 м (см. рис. 1). Источник метана мог располагаться либо на подводном склоне, либо на дне озера. В последнем случае вероятность достижения большим объемом газа поверхности озера по ряду причин вызывает сомнение [Гранин, Гранина, 2002], но согласно модели, предложенной в работе [Zhang, 2003], такое явление вполне возможно, причем в конечном итоге должен наблюдаться эффект, по внешним признакам напоминающий «подводное извержение».

Таким образом, представленные данные позволяют предположить наличие выбросов метана в водную толщу оз. Байкал и связь этого явления с землетрясениями 1912 г.

Следы землетрясения 1912 г. в байкальских осадках. Осадочная толща оз. Байкал имеет палеоген-четвертичный возраст [Николаев и др., 1985] и достигает мощности 7.5 км [Хатчинсон и др., 1993]. На рис. 1 показан схематический геологический разрез ЮС в Южной котловине Байкала, по материалам [Николаев и др., 1985] с некоторыми изменениями авторов. Литологический и диатомовый составы осадков, вскрытых скв. ВDP-97 в центральной части Южного Байкала, свидетельствуют, что мощность голоценовой части разреза составляет 8.3 м [Вологина и др., 2007]. Голоценовые отложения представлены переслаиванием пелагических илов и турбидитов [Kuzmin et al., 2000; Вологина и др., 2007]. Анализ многочисленных коротких кернов осадков, отобранных в глубоководных частях котловин Байкала, также подтверждают наличие многочисленных турбидитовых слоев в пелагических илах, накопленных в спокойной обстановке седиментации [Вологина, Штурм, 2009]. Одним из факторов, способствующих образованию турбидитов в Байкале, является высокая сейсмичность района.

В отобранной нами колонке ВАК10-5 (длина 49 см, глубина озера в точке отбора 1300 м) в районе ст. Шарыжалгай КБЖД наблюдается три турбидитовых слоя. В полученном ранее керне в районе м. Ивановский (около 29 км на восток от точки отбора колонки ВАК10-5; глубина озера в точке отбора 1360 м) также отмечается до трех турбидитов в самых верхних 50 см разреза [Радзиминович и др., 2010]. Особенностью осадков, вскрытых керном ВАК10-5, является наличие темного однородного слоя в интервале 1.0—8.7 см. Этот слой отличается от вмещающих его отложений по ряду признаков. Значительное содержание наземных растительных остатков, пониженная численность створок планктонных диатомовых водорослей, повышенная доля бентосных и древних диатомей, незначительные содержания $\text{SiO}_{2\text{биог.}}$ и в то же время повышенные концентрации $\text{C}_{\text{орг.}}$ свидетельствуют о том, что источником материала в значительной степени являются береговая и мелководная зоны Байкала. Наличие захороненного окисленного слоя в интервале 8.7—11.4 см указывает на резкое увеличение скорости осадконакопления после его формирования. Таким образом, можно утверждать, что слой осадков, перекрывающих этот окисленный слой, образовался в результате катастрофического события. Этот вывод подтверждается также результатами датирования по ^{210}Pb . Более древний возраст отложений в интервале 2—10 см может быть связан с переотложением материала в результате газового извержения 1912 г. Эта интерпретация подтверждается кривой распада ^{210}Pb — ниже 10 см значения уменьшаются до фоновых (см. рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты наших исследований показывают, что сильные землетрясения 1912 г., по всей вероятности, спровоцировали выброс больших объемов газа (вероятно, метана) в водную толщу оз. Байкал и в атмосферу в районе ст. Шарыжалгай Кругобайкальской железной дороги. Следы этих сейсмических событий обнаружены также в поверхностных донных отложениях Байкала. В верхней части осадочной колонки, отобранной в районе исследования, обнаружен слой, значительно отличающийся от вмещающих отложений. Вещественный состав и результаты датирования осадков по ^{210}Pb позволяют утверждать, что этот слой образовался в результате землетрясения 1912 г.

Особо следует отметить указание на массовую гибель водной фауны в результате выбросов газа в водную толщу. Очевидно, масштабная разгрузка газов может представлять значимую угрозу для экосистемы озера. Это обстоятельство заставляет с большим вниманием и осторожностью относиться к проектам прокладки газопроводов в пределах акватории озера. Утечка газа из трубопровода, спровоцированная сейсмическим событием или какими-либо иными факторами, может привести к тяжелым экологическим последствиям.

Таким образом, в настоящей статье впервые приводятся данные о вероятных следах конкретного исторического землетрясения в донных отложениях Байкала. В дальнейшем мы планируем провести более детальный отбор осадочных колонок в районе наблюдавшихся выбросов газа (ст. Шарыжалгай), а также в эпицентральных областях других сильных землетрясений в акватории озера. Подобные исследования необходимо продолжать, поскольку они могут дать новый импульс в изучении как байкальских осадков, так и палеосейсмичности Прибайкалья.

Авторы искренне благодарны д.ф.-м.н. профессору Н.М. Будневу, к.г.н. Е.С. Троицкой и участникам экспедиции НИИПФ ИГУ за неоценимую помощь в проведении работ по отбору донных осадков.

Мы также признательны академику РАН М.И. Кузьмину за плодотворное обсуждение результатов работы; инженеру Т.О. Железняковой за помощь в проведении диатомового анализа; И. Брюннер и М. Фуджак (Швейцарский федеральный институт науки и технологии окружающей среды) за постоянную поддержку и аналитические работы по радиоизотопному датированию. Кроме того, мы выражаем благодарность Швейцарскому федеральному институту науки и технологии окружающей среды за техническую и организационную помощь в проведении исследований. Авторы также глубоко признательны П.Г. Дядькову и анонимному рецензенту за ознакомление с рукописью статьи и высказанные конструктивные замечания, позволившие улучшить ее содержание.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ, гранта № 85145 Швейцарского федерального института науки и технологии окружающей среды, проекта № 16.17 программы фундаментальных исследований Президиума РАН, интеграционного проекта СО РАН № 34 и гранта РФФИ 12-05-98054-р-сибирь_а.

ЛИТЕРАТУРА

Бюллетень Постоянной центральной сейсмической комиссии. 1912 / Ред. П.М. Никифоров. Петроград, Типография Императорской АН, 1914, 52 с.

Вологина Е.Г., Штурм М. Типизация голоценовых отложений и районирование бассейна озера Байкал // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (8), с. 933—940.

Вологина Е.Г., Кашик С.А., Штурм М., Воробьева С.С., Ломоносова Т.К., Калашникова И.А., Храмцова Т.И., Тошачов С.Ю. Результаты седиментологических исследований голоценовых отложений Южной и Средней котловин озера Байкал (на примере скважины BDP-97 и колонковых трубок) // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (4), с. 401—413.

Вологина Е.Г., Калугин И.А., Осуховская Ю.Н., Штурм М., Игнатова Н.В., Радзиминович Я.Б., Дарьин А.В., Кузьмин М.И. Осадконакопление в заливе Провал (озеро Байкал) после сейсмогенного опускания участка дельты Селенги // Геология и геофизика, 2010, т. 51 (12), с. 1640—1651.

Голубев В.А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск, Изд-во «Гео», 2007, 222 с.

Гольмшток А.Я., Дучков А.Д., Хатчинсон Д.Р., Ханукаев С.Б., Ельников А.И. Оценка теплового потока на озере Байкал по сейсмическим данным о нижней границе слоя газогидратов // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (10), с. 1677—1691.

Гранин Н.Г., Гранина Л.З. Газовые гидраты и выходы газов на Байкале // Геология и геофизика, 2002, т. 43 (7), с. 629—637.

Грачев М.А., Лихошвай Е.В., Воробьева С.С., Хлыстов О.М., Безрукова Е.В., Вейнберг Е.В., Гольдберг Е.Л., Гранина Л.З., Корнакова Е.Г., Лазо Ф.И., Левина О.В., Летунова П.П., Отинов П.В., Пирог В.В., Федотов А.П., Яскевич С.А., Бобров В.А., Сухоруков Ф.В., Резчиков В.И., Федорин М.А., Золотарев К.В., Кравчинский В.А. Сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена в осадках озера Байкал // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (5), с. 957—980.

Клеркс Я., Земская Т.И., Матвеева Т.В., Хлыстов О.М., Намсараев Б.Б., Дагурова О.П., Голобокова Л.П., Воробьева С.С., Погодаева Т.П., Гранин Н.Г., Калмычков Г.В., Пономарчук В.А., Шоджи Х., Мазуренко Л.Л., Каулио В.В., Соловьев В.А., Грачев М.А. Гидраты метана в поверхностном слое глубоководных осадков озера Байкал // Докл. РАН, 2003, т. 393, № 6, с. 822—826.

Кузьмин М.И., Калмычков Г.В., Гелетий В.Ф., Гнилуша В.А., Горегляд А.В., Хахаев Б.Н., Певзнер Л.А., Каваи Т., Йошида Н., Дучков А.Д., Пономарчук В.А., Конторович А.Э., Бажин Н.М., Махов Г.А., Дядин Ю.А., Кузнецов Ф.А., Ларионов Э.Г., Манакоев А.Ю., Смоляков Б.С., Мандельбаум М.М., Железняков Н.К. Первая находка газогидратов в осадочной толще озера Байкал // Докл. РАН, 1998, т. 362, № 4, с. 541—543.

Ломтев В.Л., Гуринов М.Г. Тектонические условия Невельского (02.08.2007, M ~ 6.1) землетрясения // Тихоокеанская геология, 2009, т. 28, № 5, с. 44—53.

Лунина О.В., Гладков А.С., Шерстянкин П.П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // Докл. РАН, 2010, т. 433, № 5, с. 662—667.

Минчиковский М.Я. Байкальские землетрясения 1912 г. // Изв. Постоянной центральной сейсмической комиссии. Петроград, Типография Императорской АН, 1914, т. 6, вып. 2, с. 163—171.

Николаев В.Г., Ванякин Л.А., Калинин В.В., Милановский В.Е. Строение осадочного чехла озера Байкал // Бюл. МОИП. Отд. геол., 1985, т. 60, вып. 2, с. 48—58.

Никонов А.А. Крымские землетрясения 1927 года: неизвестные явления на море // Природа, 2002, № 9, с. 13—20.

- Новый каталог** сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. М., Наука, 1977, 535 с.
- Радзиминович Я.Б., Щетников А.А., Вологина Е.Г.** «Метановое извержение» на Байкале в 1912 году как эффект сильного землетрясения // Докл. РАН, 2010, т. 432, № 3, с. 356—359.
- Семенов Р.М., Смекалин О.П.** Сильное землетрясение на Байкале 27 августа 2008 г. и его предвестники // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (4), с. 521—528.
- Хатчинсон Д.Р., Гольмшток А.Ю., Зоненшайн Л.П., Мур Т.К., Шольц К.А., Клитгорд К.Д.** Особенности строения осадочной толщи оз. Байкал по результатам многоканальной сейсмической съемки (1989 г.) // Геология и геофизика, 1993, т. 34 (10—11), с. 25—36.
- Хлыстов О.М.** Новые находки газовых гидратов в донных осадках озера Байкал // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (8), с. 979—981.
- Alpar B.** Underwater signatures of the Kocaeli Earthquake (August 17th 1999) // Turkish J. Mar. Sci., 1999, v. 5, № 3, p. 111—130.
- Appleby P.G.** Chronostratigraphic techniques in recent sediments / Eds. W.M. Last, J.P. Smol // Tracking environmental change using lake sediments. V. 1. Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 2001, p. 171—203.
- Appleby P.G., Flower R.J., Mackay A.W., Rose N.L.** Paleolimnological assessment of recent environmental change in Lake Baikal: sediment chronology // J. Paleolimnology, 1998, v. 20, № 2, p. 119—133, doi:10.1023/A:1008099631458.
- Barka A.** The 17 August 1999 Izmit Earthquake // Science, 1999, v. 285, № 5435, p. 1858—1859.
- Bartington Instruments Limited.** Preliminary specification for the MS2E Sensor. Bartington Instruments Limited. Oxford, 1995, 2 p.
- Beck C., Mercier de Lépinay B., Schneider J.-L., Cremer M., Çağatay N., Wendenbaum E., Boutareaud S., Ménot G., Schmidt S., Weber O., Eris K., Armijo R., Meyer B., Pondardf N., Gutscher M.-A., Marmacore Cruise Party, Turon J.-L., Labeyrie L., Cortijo E., Gallet Y., Bouquerel H., Gorur N., Gervais A., Castera M.-H., Londeix L., de Rességuier A., Jaouen A.** Late Quaternary co-seismic sedimentation in the Sea of Marmara's deep basins // Sediment. Geol., 2007, v. 199, № 1—2, p. 65—89, doi:10.1016/j.sedgeo.2005.12.031.
- Clifton H.E., Greene H.G., Moore G.W., Phillips R.L.** Methane seep off Malibu Point following the San Fernando earthquake // The San Fernando, California, earthquake of February 9, 1971: a preliminary report published jointly by the U.S. Geological Survey and the National Oceanic and Atmospheric Administration, Geological Survey Professional Paper 733. Washington, U.S. Government Printing Office, 1971, p. 112—116.
- De Batist M., Canals M., Sherstyankin P., Alekseev S., the INTAS Project 99-1669 Team.** A new bathymetric map of Lake Baikal. Scientific Drilling Database (SDDDB). 2002a, doi:10.1594/GFZ.SDDDB.1100.
- De Batist M., Klerkx J., Van Rensbergen P., Vanneste M., Poort J., Golmshtok A.Y., Kremlev A., Khlystov O.M., Krinitsky P.** Active hydrate destabilisation in Lake Baikal, Siberia? // Terra Nova, 2002b, v. 14, № 6, p. 436—442.
- Fanetti D., Anselmetti F.S., Chapron E., Sturm M., Vezzoli L.** Megaturbidite deposits in the Holocene basin fill of Lake Como (Southern Alps, Italy) // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 2008, v. 259, № 2—3, p. 323—340, doi:10.1016/j.palaeo.2007.10.014.
- Géli L., Henry P., Zitter T., Dupré S., Tryon M., Çağatay M.N., Mercier de Lépinay B., Le Pichon X., Şengör A.M.C., Görür N., Natalin B., Uçarkuş G., Özeren S., Volker D., Gasperini L., Burnard P., Bourlange S., the Marnaut Scientific Party.** Gas emissions and active tectonics within the submerged section of the North Anatolian Fault zone in the Sea of Marmara // Earth Planet. Sci. Lett., 2008, v. 274, № 1—2, p. 34—39, doi:10.1016/j.epsl.2008.06.047.
- Hieke W.** The August 27, 1886 earthquake in Messenia (Peloponnesus) and reported flames over the Ionian Sea — a Mediterranean Ridge gas escape event? // Mar. Geol., 2004, v. 207, № 1—4, p. 259—265, doi:10.1016/j.margeo.2004.03.007.
- Kulbe T., Anselmetti F., Cantonati M., Sturm M.** Environmental history of Lago di Tovel, Trento, Italy, revealed by sediment cores and 3.5 kHz seismic mapping // J. Paleolimnology, 2005, v. 34, № 3, p. 325—337, doi:10.1007/s10933-005-5022-4.
- Kuzmin M.I., Karabanov E.B., Prokopenko A.A., Gelety V.F., Antipin V.S., Williams D.F., Gvozdokov A.N.** Sedimentation processes and new age constraints on rifting stages in Lake Baikal: results of deep-water drilling // Int. J. Earth Sci., 2000, v. 89, № 2, p. 183—192, doi:10.1007/s005310000090.
- Leroy S.A.G., Schwab M.J., Costa P.J.M.** Seismic influence on the last 1500-year infill history of Lake Sapanca (North Anatolian Fault, NW Turkey) // Tectonophysics, 2010, v. 486, № 1—4, p. 15—27, doi:10.1016/j.tecto.2010.02.005.

Mau S., Rehder G., Arroyo I.G., Gossler J., Suess E. Indications of a link between seismotectonics and CH₄ release from seeps off Costa Rica // *Geochem. Geophys. Geosystems*, 2007, v. 8, Q04003, doi:10.1029/2006GC00132.

Mellors R., Kilb D., Aliyev A., Gasanov A., Yetirmishli G. Correlations between earthquakes and large mud volcano eruptions // *J. Geophys. Res.*, 2007, v. 112, B04304, doi:10.1029/2006JB004489.

Obzhirov A., Shakirov R., Salyuk A., Suess E., Biebow N., Salomatina A. Relations between methane venting, geological structure and seismo-tectonics in the Okhotsk Sea // *Geo-Marine Letters*, 2004, v. 24, № 3, p. 135—139, doi:10.1007/s00367-004-0175-0.

Shakirov R., Obzhirov A., Suess E., Salyuk A., Biebow N. Mud volcanoes and gas vents in the Okhotsk Sea area // *Geo-Marine Letters*, 2004, v. 24, № 3, p. 140—149, doi:10.1007/s00367-004-0177-y.

Zhang Y. Methane escape from gas hydrate systems in marine environment, and methane-driven oceanic eruptions // *Geophys. Res. Lett.*, 2003, v. 30, № 7, 1398, doi:10.1029/2002GL016658.

*Рекомендована к печати 16 февраля 2012 г.
В.С. Селезевым*

*Поступила в редакцию
10 августа 2011 г.*