

ЛЕДОВЫЙ РАЗНОС ПЕСЧАНО-АЛЕВРИТОВОГО МАТЕРИАЛА В ЮЖНОМ БАЙКАЛЕ

Е.Г. Вологина, Н.Г. Гранин*, С.С. Воробьева*, П. Франкус,
Т.К. Ломоносова, И.А. Калашникова, Л.З. Гранина***

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

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

*** Центр по исследованию климатических систем, Отделение естественных наук, Массачусетский университет,
Норд Плезант Стрит, 611, Амхерст, МА 01003-9297, США*

В марте 2002 г. в центральной части Южной котловины Байкала были обнаружены два поля шаровидного зернистого льда (так называемого „колобовника“), содержащего биогенно-терригенные включения осадочного материала. Выполнено комплексное исследование таких включений, а также донных отложений из этого района. Установлено, что минеральный состав терригенной примеси колобовника отражает соотношение минералов в донных осадках оз. Байкал и в твердом речном стоке. В то же время гранулометрический и биогенный составы осадочных включений колобовника существенно отличаются от таковых в глубоководных осадках Байкала. Полученные результаты свидетельствуют о том, что источником осадочной примеси в колобовнике является литоральная зона озера. Они позволяют предположить, что на Байкале в период ледостава возможен перенос крупных глыб прибрежных льдов, содержащих биогенные и минеральные включения, в центральные районы озера. В результате такого переноса в составе глубоководных донных отложений, накопленных в спокойных условиях седиментации, может появиться примесь крупнозернистого обломочного материала.

Ледовый разнос, колобовник, осадконакопление, донные отложения, диатомеи, гранулометрия, минералы, Южный Байкал.

ICE TRANSPORTATION OF SAND-SILTY MATERIAL IN SOUTH BAIKAL

**E.G. Vologina, N.G. Granin, S.S. Vorob'eva, P. Francus, T.K. Lomonosova,
I.A. Kalashnikova, and L.Z. Granina**

In March, 2002, two fields of globular granular ice (so-called "kolobovnik") were found in the central area of South Baikal. The kolobovnik contained biogenic-terrigenous sedimentary particles. A comprehensive study of these impurities and the bottom sediments from the same area was carried out. It has been established that the mineral composition of terrigenous impurities in the kolobovnik reflects those of the Baikal bottom sediments and river runoff solids. The grain size and biogenic composition of sedimentary impurities in the kolobovnik differ significantly from those in the Baikal deep-water sediments. The results obtained indicate that the littoral zone of the lake is the source of sedimentary impurities in the kolobovnik. This suggests that during the Baikal freezing, large blocks of the littoral ice containing biogenic and mineral impurities might be transported to the central areas of the lake. As a result, impurities of coarse-grained terrigenous material might appear in the deep-water bottom sediments accumulated under calm conditions.

Ice transportation, kolobovnik, sedimentation, bottom sediments, diatoms, grain size, minerals, South Baikal

ВВЕДЕНИЕ

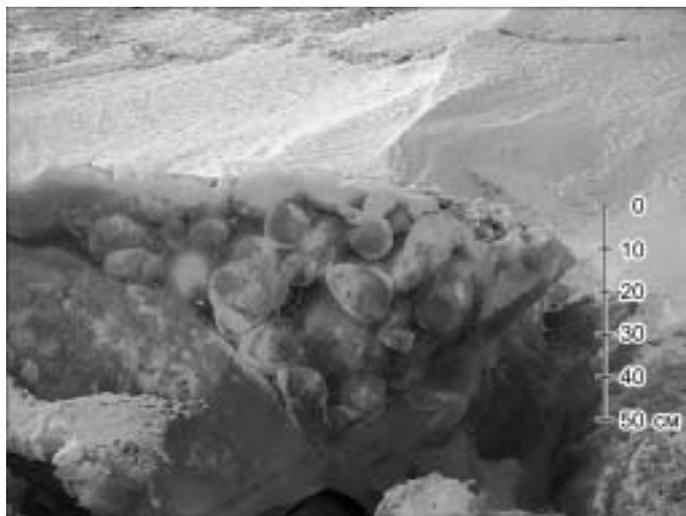
Голоценовые осадки в глубоководных частях котловин Байкала представлены переслаивающейся толщей биогенно-терригенных илов, накопленных в спокойной обстановке седиментации, и турбидитов. Биогенная часть илов состоит в основном из створок диатомовых водорослей, терригенная — из кластогенных минеральных зерен с примесью обломков пород. В Южной котловине озера глубоководные алевропелитовые и пелитоалевритовые илы иногда содержат песчаную примесь с редкими гравийными частицами и галькой. Каким образом крупнозернистый кластогенный материал мог попасть в районы, значительно удаленные от берегов Байкала, неясно. В литературе имеются скудные и часто противоречивые данные по этому вопросу. Некоторые исследователи [1] наличие грубозернистого материала в донных отложениях объясняют ледовым разносом, не приводя, однако, подтверждающих доказательств. Другие считают, что на Байкале для этого нет соответствующих условий, поскольку отсутствуют ледники, способные поставлять в озеро обломочный материал; нет приливов и отливов, взламывающих ледовый панцирь и т. д. [2]. В настоящей работе мы попытались ответить на вопрос, может ли ледовый разнос обеспечить поступление кластогенного материала в центральные районы Южной котловины Байкала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Колобовник является характерной формой прибрежных льдов на Байкале. Он представляет собой шаровидные образования зернистого льда диаметром от первых сантиметров до 0,5 м и более [3, 4] (рис. 1)

© Е.Г. Вологина, Н.Г. Гранин, С.С. Воробьева, П. Франкус, Т.К. Ломоносова, И.А. Калашникова, Л.З. Гранина, 2005

Рис. 1. Внешний вид колобовника (горос).



со значительной примесью биогенно-терригенного материала. Существуют разные точки зрения относительно механизмов образования колобовника. Одни исследователи связывают их формирование с механическим окатыванием шуговых масс в прибрежной полосе озера в процессе значительных волнений в период ледостава [3]. Другие объясняют образование колобовника всплыванием газовых гидратов [5], основываясь на том, что скопления колобовника приурочены к пропаринам с газовыделением [6] и участкам, на которых озеро не замерзает в течение зимы.

В марте 2002 г. в центральной части Южного Байкала (примерно на равном расстоянии от северо-западного и юго-восточного берегов) обнаружены два поля колобовника общей площадью около 2 км² (рис. 2). В каждом из полей были отобраны пробы монолитов льда (всего 4 пробы), а также осадочный материал с поверхности торосов (2 пробы), сложенных колобовником. Кроме того, в районе исследования взята проба поверхностного слоя донных отложений, а вблизи нее на глубине 1410 м отобран керн (33,7 см) донных осадков (см. рис. 2). Для отбора керна использован пробоотборник EAWAG-63/S, нарушающий структуру осадков при отборе.

Монолиты льда были растоплены в пластиковой посуде. Из полученной ледовой воды методом осаждения выделена биогенно-минеральная примесь, которая затем была высушена и взвешена. В дальнейшем мы будем называть этот материал „примесью колобовника“. Для каждого образца примеси колобовника и донных отложений из района исследований описаны смир-слайды с помощью светового микроскопа марки SK14 (увеличение ×100).

Описание смир-слайдов включало определение типов осадков (пелиты, алевропелиты, пелитоалевриты и т. д.) и основных родов диатомовых водорослей, створки которых имеются в осадках. Гранулометрический анализ материала, полученного после таяния колобовника, а также отобранного с поверхности торосов (всего 5 образцов), выполнен с использованием анализатора размера частиц Coulter LS-1000 в университете г. Масачусетс (США). Этот прибор оптимально подходит для наших исследований, поскольку не требует большого объема образца при анализе фракций <2000 мкм. Предварительно пробы были обработаны перекисью водорода для разрушения органического вещества и раствором NaOH (при температуре 50 °C в течение 4 ч) для растворения створок диатомей. Исследован также минеральный состав образцов, взятых на поверхности торосов.

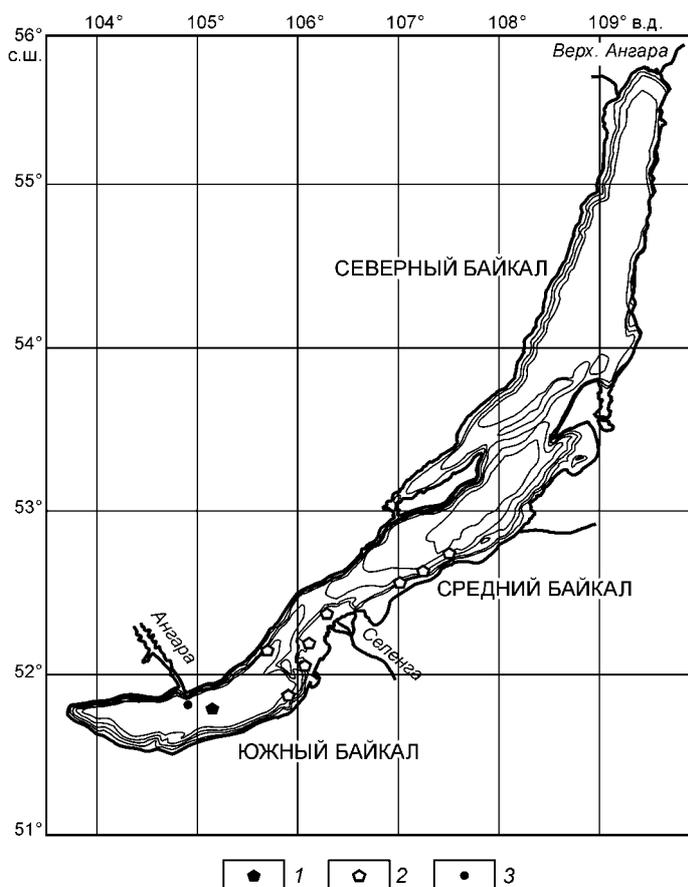


Рис. 2. Схема распределения полей колобовника и места отбора донных отложений.

1 — расположение полей колобовника, исследованных в марте 2002 г. (в этом районе также отобраны поверхностные осадки); 2 — распространение полей колобовника, по [5]; 3 — станция отбора керна донных отложений.

сов. Минералы легкой и тяжелой фракций, разделенные в бромформе с удельным весом 2,7, изучены в иммерсионных препаратах на микроскопе МИН-8. Рентгенометрические исследования тонкопелитовой фракции колобовника проведены с использованием аппарата ДРОН-3 (излучение — CoK_{α} , Fe-фильтр). Выполнен диатомовый анализ осадочного материала из колобовника и донных отложений по методике, описанной в [7]. При этом керн осадков, отобранный в районе распространения полей колобовника, проанализирован через 2 см (см. рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Содержание осадочного материала в исследованных пробах колобовника изменяется от 0,07 до 0,78 г на литр талого льда, что составляет примерно 0,03—0,4 кг на квадратный метр поверхности льда. Выделенный из колобовника материал имеет биогенно-терригенный состав. Терригенная составляющая представлена в основном частицами пелитоалевритовой размерности, содержит примесь песчаного материала. Биогенная часть состоит из створок отмерших диатомовых водорослей, единичных спикул губок и их обломков. Преобладают бентосные диатомеи (рис. 3). Это виды родов: *Opephora*, *Fragilaria*, *Cocconeis*, *Diatoma*, *Amphora*, *Gomphonema*, *Epithemia*, *Synedra*, *Cymbella*, *Nitzschia*, *Hantzschia*, *Stauroneis*, *Navicula*, *Ceratoneis*, *Diploneis*, *Achnanthes*, *Pinnularia*, *Meridion*, *Surirella*, *Gyrosigma*, *Rhopalodia*, *Eunothia*, *Didymosphaenia*, *Caloneis*. Содержание бентосных видов изменяется от 2,7 до 6,8 млн створок на грамм сухого осадка, а планктонных диатомей — от 1,48 до 5,99 млн створок на грамм сухого осадка.

Поверхностные донные осадки, отобранные на границе вода—ил в районе расположения полей колобовника, представлены биогенно-терригенным илом. Терригенная часть состоит из пелита с примесью алеврита. Что касается биогенной примеси, то в ее составе преобладают планктонные диатомеи, представители родов *Aulacoseira* и *Cyclotella* (см. рис. 3), суммарная численность которых достигает 124 млн створок на грамм сухого осадка. Количество бентосных видов не превышает 0,74 млн створок на грамм. Аналогичен состав диатомей и в верхней части колонки донных отложений, отобранной вблизи полей колобовника (см. рис. 1), где осадки представлены переслаиванием биогенно-терригенных илов и турбидитов. Содержание диатомей и их состав существенно меняются по разрезу (рис. 4). Доминируют планктонные виды родов *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Synedra*. Их численность достигает 40 млн створок на грамм сухого вещества, тогда как бентосных форм — не более 0,8 млн створок на грамм. Для турбидитов характерно низкое содержание диатомей, что связано с генезисом турбидитовых прослоев [8]. Таким образом, количество и состав диатомей в донных осадках и в материале колобовника коренным образом отличаются.

Гранулометрический анализ свидетельствует о существенном различии между пробами осадочного материала, отобранного с поверхности торосов и полученного при таянии монолитов колобовника. Проба 7 (торос, большое поле) была разделена на две части, каждая из которых анализировалась отдельно. Разделение, вероятно, было проведено некачественно, поэтому имеются различия результатов между двумя образцами этой пробы. Так, модальный размер зерен в этих образцах ($D_{\text{мод}}$) равен 34,6 и 140,1 мкм, средний ($D_{\text{ср}}$) — 63,3 и 78,2 мкм, медианный (Md) — 33,8 и 55,9 мкм соответственно, а максимальный размер частиц достигает 1512 мкм (рис. 5, б, в). Проба 1, полученная при таянии монолита колобовника

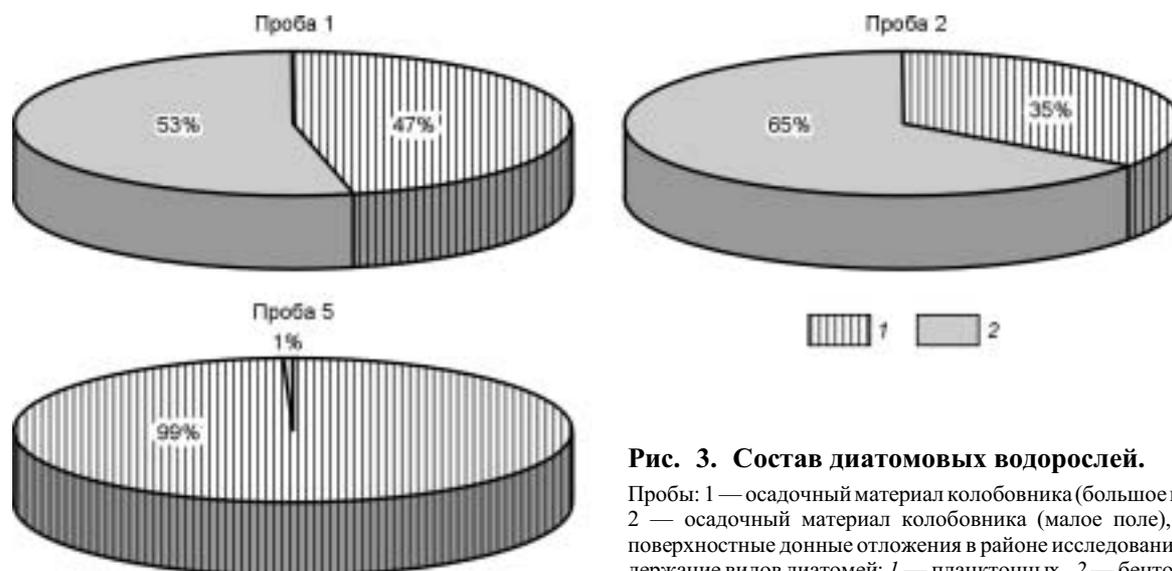


Рис. 3. Состав диатомовых водорослей.

Пробы: 1 — осадочный материал колобовника (большое поле), 2 — осадочный материал колобовника (малое поле), 5 — поверхностные донные отложения в районе исследования. Содержание видов диатомей: 1 — планктонных, 2 — бентосных.

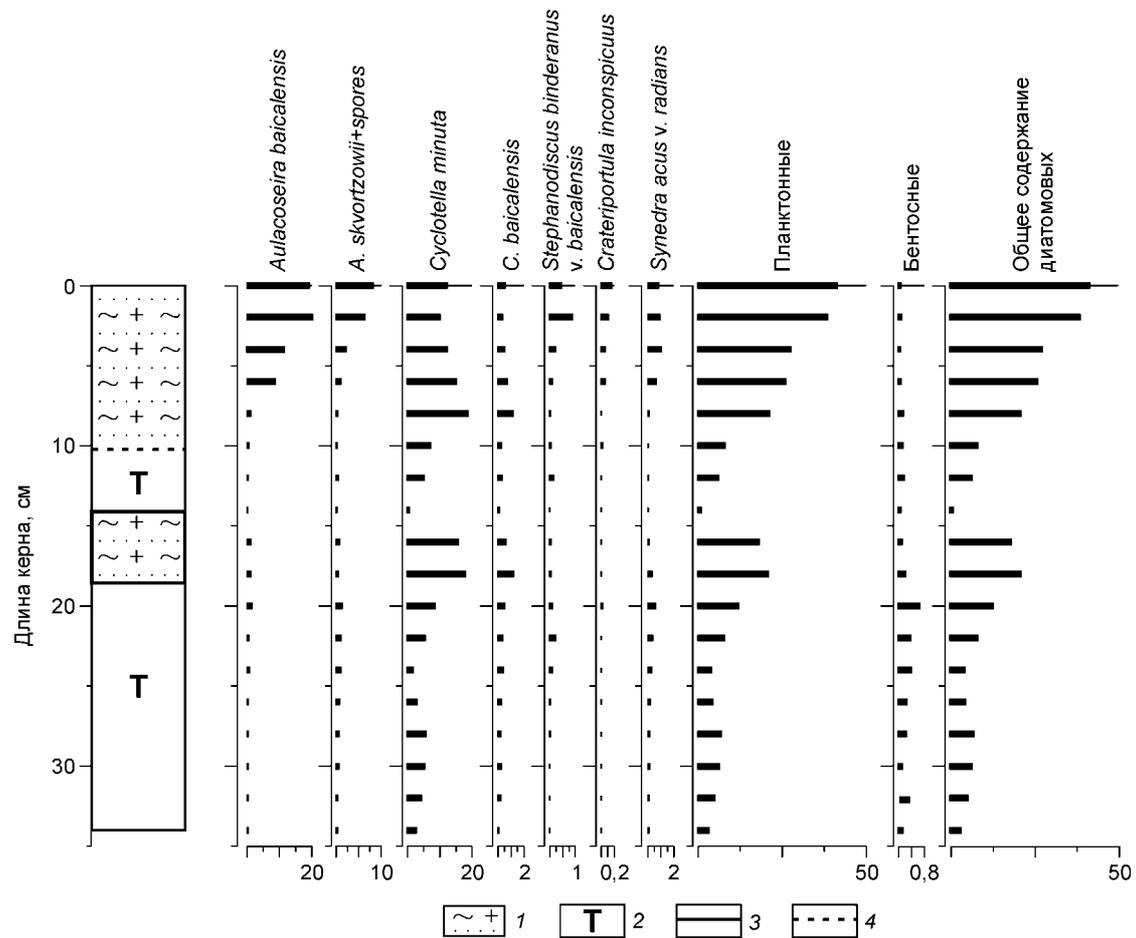


Рис. 4. Распределение видов диатомовых (млн створок на 1 грамм сухого осадка) по колонке, отобранной в Южном Байкале (см. рис. 2).

Литологическая характеристика осадков: 1 — биогенно-терригенный ил, 2 — турбидит. Границы между слоями: 3 — четкие, 4 — нечеткие.

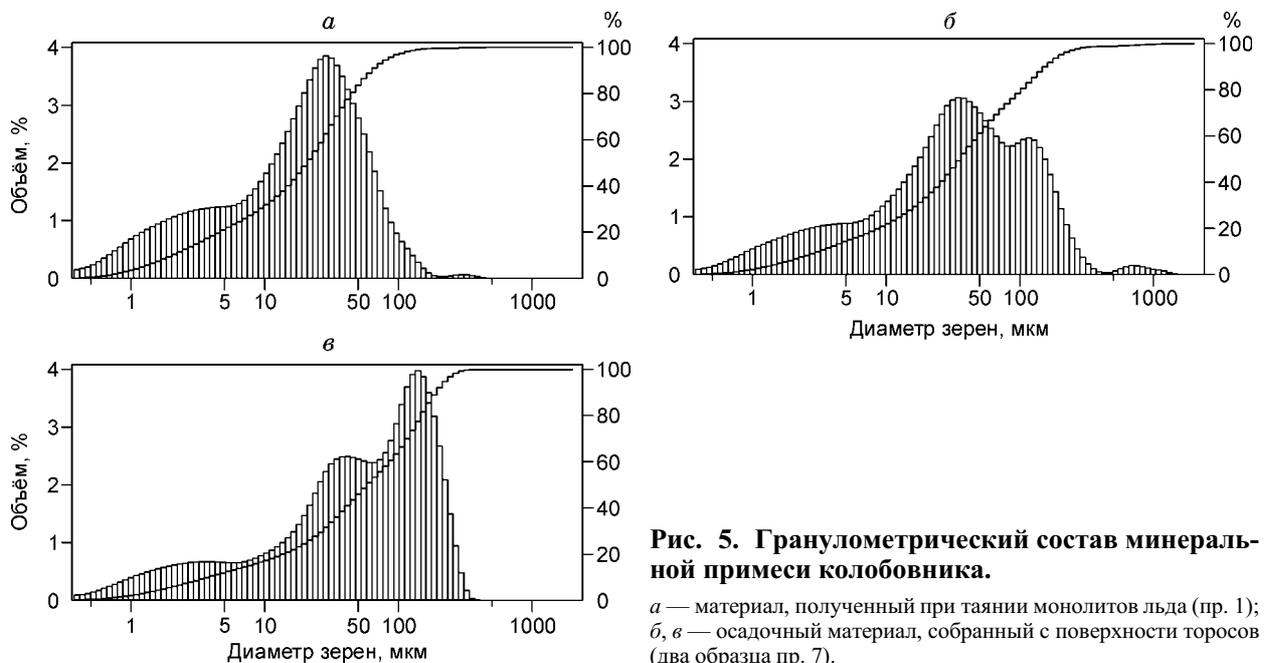


Рис. 5. Гранулометрический состав минеральной примеси колобовника.

a — материал, полученный при таянии монолитов льда (пр. 1);
b, v — осадочный материал, собранный с поверхности торосов (два образца пр. 7).

Таблица 1. Минеральный состав легкой фракции терригенного материала, отобранного с поверхности торосов

Минеральный состав	Проба 4 (вес 0,8543 г; фракция 0,25—0,05 и <0,05 мм)		Проба 7 (вес 5,7065 г; фракция 0,25—0,05 и <0,05 мм)	
	Кол-во зерен	%	Кол-во зерен	%
Кварц	105	42,0	101	40,4
Плагиоклаз	73	29,2	41	16,4
Калишпаты	10	4,0	4	1,6
Биотит	38	15,2	56	22,4
Мусковит	2	0,8	2	0,8
Хлорит	6	2,4	12	4,8
Графит	р.зн.	—	—	—
Углефицированные растительные остатки	4	1,6	5	2,0
Растительные остатки	2	0,8	—	—
Агрегаты	6	2,4	7	2,8
Диатомовые	3	1,2	20	8,0
Спикулы губок	1	0,4	2	0,8

Примечание. Проба 4 отобрана из малого поля колобовника, проба 7 — из большого поля колобовника; р.зн. — редкие знаки.

(большое поле), характеризуется более тонкозернистым гранулометрическим составом ($D_{\text{мод.}} = 28,7$ мкм, $D_{\text{ср.}} = 27,3$ мкм, $Md = 19,7$ мкм; см. рис. 5, а). Интересно, что проба 6 (монолит колобовника), отобранная также в большом поле, значительно отличается от пр. 1. Здесь преобладает фракция ($D_{\text{мод.}}$) 168,8 мкм, средний и медианный диаметры равны 86,6 и 65,3 мкм соответственно. Модальный и медианный размеры зерен в пр. 4 (торос, малое поле) равны 48,5 и 60,5 мкм; в то время как в пр. 3 (монолит колобовника, малое поле) эти параметры не превышают 24,2 и 23,8 мкм соответственно. При этом пр. 4 хорошо сортирована. Таким образом, материал с поверхности торосов более крупнозернистый и отсортированный, чем выделенный при таянии монолитов колобовника.

В материале, отобранном с поверхности торосов, основные терригенные минералы легкой фракции представлены кварцем (до 42 %), плагиоклазом (до 29 %), биотитом (до 22 %) (табл. 1). В тяжелой фракции преобладают неустойчивые к выветриванию разности: минералы группы амфиболов (до 42 %),

Таблица 2. Минеральный состав тяжелой фракции терригенного материала, отобранного с поверхности торосов

Минеральный состав	Проба 4 (вес 0,0037 г; фракция 0,05,<0,05 мм)		Проба 7 (вес 0,0375 г; фракция 0,25—0,05 мм)	
	Кол-во зерен	%	Кол-во зерен	%
Магнетит	50	10,0	15	3
Ильменит	205	41,0	28	5,6
Гранат	27	5,4	24	4,8
Циркон	17	3,4	5	1,0
Сфен	34	6,8	29	5,8
Рутил	2	0,4	1	0,2
Лейкоксен	3	0,6	1	0,2
Группа амфиболов: роговая обманка	32	6,4	211	42,2
Группа пироксенов:				
гр. диоксида	9	1,8	45	9,0
гр. гиперстена	2	0,4	3	0,6
Группа эпидота	100	20,0	120	24,0
Апатит	8	1,6	10	2,0
Турмалин	1	0,2	1	0,2
Дистен	—	—	р.зн.	—
Ставролит	—	—	1	0,2
Пирит	2	0,4	р.зн.	—
Гетит	1	0,2	3	0,6
Гетит + гематит	7	1,4	3	0,6

эпидота (до 20 %); ильменит (до 40 %); магнетит (до 10 %) (табл. 2). Тонкопелитовая фракция терригенной примеси в колобовнике имеет полиминеральный состав: гидрослюда, каолинит, следы тонкодисперсного смектита и хлорита.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В прибрежных районах встречаются целые поля, усыпанные ядрами колобовника, содержащими минеральные и биогенные включения. Ранее они наблюдались главным образом у восточного и юго-восточного берегов озера [3, 4] (см. рис. 2). У северо-западного берега они были отмечены в районах мысов Березовый и Сытый (вблизи Листвянки) в ледостав 1935/36 гг. [3].

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что минеральный состав легкой и тяжелой фракций материала, отобранного с поверхности торосов (см. табл. 1, 2), отражает соотношение минералов в донных осадках озера и твердого стока [9, 10]. Состав тонкопелитовой фракции терригенной примеси в колобовнике практически идентичен ассоциациям глинистых минералов, обнаруженных в составе влекомых и донных наносов рек впадающих в озеро и донных отложений Байкала [10], для которых характерно преобладание диоктаэдрической гидрослюда с примесью хлорита и тонкодисперсных смектитов.

Однако состав и содержание диатомей во включениях колобовника и в донных отложениях из того же района озера резко различаются (см. рис. 3, 4). Биогенно-терригенная примесь колобовника характеризуется пониженным общим содержанием диатомей и высокой долей в ней бентосных видов. Значительное преобладание бентосных диатомей (см. рис. 3) свидетельствует о том, что источником осадочной примеси в колобовнике является литоральная зона оз. Байкал. Это подтверждается также более крупнозернистым гранулометрическим составом осадочного материала колобовника по сравнению с глубоководными донными осадками Байкала.

Материал, отобранный на поверхности торосов, более крупнозернистый по сравнению с выделенным из монолитов колобовника. Таяние льда на поверхности торосов приводит к концентрированию минеральных зерен, тогда как тонкозернистая составляющая (в основном пелит) выносится ветром. В результате материал, остающийся *in situ*, имеет песчано-алевритовую размерность.

Расположение полей колобовника главным образом вдоль восточного и юго-восточного берегов (см. рис. 2) связано, вероятно, с преобладающими северо-западными ветрами и, возможно, с асимметрией котловины Байкала. Северо-западный склон имеет большие углы наклона (до 60°), чем юго-восточный (до 12—15°), и ширина полос осадочных отложений вдоль этих склонов составляет, соответственно, 2—3 и 6—8 км [11]. Значительная протяженность мелководной зоны и сильное волновое перемешивание, вызванное ветрами с северо-запада, создают благоприятные условия для образования полей колобовника у пологого юго-восточного склона. Данные гранулометрического анализа косвенно подтверждают наличие значительного волнового перемешивания в момент образования колобовника. В частности, пробы включений колобовника из одного и того же поля значительно различаются между собой по гранулометрическому составу, что указывает на неравномерное распределение примеси внутри монолитов льда. Кроме того, материал, отобранный с поверхности торосов, лучше отсортирован, чем осадок, выделенный при таянии льда. Хорошая сортировка проб с поверхности торосов обусловлена влиянием ветров (выдувание более легкой пелитовой фракции).

Имеющееся в литературе утверждение о том, что условия переноса обломочного материала льдом в Байкале отсутствуют [2], представляется нам недостаточно аргументированным. Весной значительный ледовый разнос кластогенного материала действительно не может происходить, потому что таяние льда осуществляется в направлении от берегов в сторону открытого озера, и твердые частицы из растаявшего льда оседают в береговой зоне. Однако в период ледостава наличие прибрежного льда и значительное волнение в прибрежной зоне, обусловленное сильными ветрами, способствуют ледовому разному. Поскольку формирование ледяного покрова начинается в прибрежной зоне Байкала, крупные глыбы льда могут отрываться и перемещаться в открытое озеро. Именно это может служить причиной появления полей колобовника в центральной части котловин, причем не только в Южном Байкале, но и в других районах озера. Так, в районе пади Малая Зеленовская (Средний Байкал) на небольшом пространстве гладкого льда на расстоянии 500 м от берега среди торосистых полей встречен монолит льда, содержащий 8 слоев замороженного песка общей мощностью около 4 см [4]. В районе подводного Академического хребта вдали от берега поле колобовника было отмечено в марте 1972 г. [12]. Таким образом, имеются документальные свидетельства ледового разноса терригенного материала в районы, значительно удаленные от берегов. В то же время крупнозернистый состав как осадочного материала с поверхности торосов, так и включений в исследованных образцах колобовника, а также резкое преобладание в этих включениях бентосных видов диатомей указывают на прибрежный источник осадочного материала в колобовнике. В частности, колобовник может быть сформирован газовыми гидратами, всплывающими в прибрежной зоне озера [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первые данные, полученные в результате комплексного исследования полей колобовника в Южном Байкале, а также анализ литературных материалов позволяют сделать следующие предварительные выводы.

Приуроченность полей колобовника преимущественно к восточному и юго-восточному берегам может быть связана с преобладающими северо-западными ветрами, а также с асимметрией котловины Байкала. Минеральный состав терригенной примеси колобовника отражает соотношение минералов в донных осадках оз. Байкал и твердого стока. Невысокая концентрация створок диатомей в осадочном материале, заключенном в колобовнике, преобладание в их составе бентосных видов, а также крупнозернистость этого материала по сравнению с глубоководными донными отложениями Байкала свидетельствуют о том, что источником осадочных включений колобовника является литоральная зона озера. В то же время более крупнозернистый и сортированный материал на поверхности торосов обусловлен выдуванием тонкого материала ветром.

Таким образом, проведенные исследования указывают на то, что в период ледостава на Байкале возможен перенос крупных глыб прибрежных льдов, содержащих осадочные биогенные и минеральные включения, в центральные районы озера. Это, в свою очередь, позволяет объяснить наличие крупнозернистого обломочного материала в составе донных отложений, накопленных в спокойных условиях седиментации, ледовым разномом.

Авторы благодарны Т. Железняковой за помощь в проведении диатомового анализа, д-ру М. Штурму (Институт изучения и технологии окружающей среды, г. Цюрих, Швейцария) за предоставление керн донных отложений и участие в обсуждении полученных результатов, а также М. Бессонен за проведение гранулометрического анализа.

Работа выполнена при поддержке грантов: ИНТАС (01-2309) и РФФИ (02-05-63395, 03-05-65255).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Карабанов Е.Б.** Геологическое строение осадочной толщи озера Байкал и реконструкции изменений климата Центральной Азии в позднем кайнозое: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук., М., 1999, 72 с.
2. **Галкин В.И., Галкина В.И.** О возможности переноса каменного материала льдом Байкала // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Лиственничное на Байкале (Тез. докл.). Иркутск, 1977, с. 80—84.
3. **Бородай Н.И.** Материалы к изучению строения ледяного покрова Байкала // Труды Байкальской лимнологической станции, Т. IX. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1939, с. 71—114.
4. **Цуриков В.Л.** Наблюдения над ледяным покровом Южного Байкала в 1934 г. // Там же, с. 23—44.
5. **Гранин Н.Г., Гранина Л.З.** Газовые гидраты и выходы газов на Байкале // Геология и геофизика, 2002, т. 43, № 7, с. 629—637.
6. **Сокольников В.М.** Причины, обуславливающие образование пропарин (ключей) в ледяном покрове Байкала // Труды Байкальской лимнологической станции, Т. XV. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1957, с. 65—94.
7. **Грачев М.А., Лихошвай Е.В., Воробьева С.С. и др.** Сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена в осадках озера Байкал // Геология и геофизика, 1997, т. 38, № 5, с. 957—980.
8. **Вологина Е.Г., Штурм М., Воробьева С.С. и др.** Особенности осадконакопления в озере Байкал в голоцене // Геология и геофизика, 2003, т. 44, № 5, с. 407—421.
9. **Кашик С.А., Мазилов В.Н.** Литология четвертичных отложений в разрезе глубокой скважины в акватории озера Байкал // Литология и полезные ископаемые, 1997, № 5, с. 484—491.
10. **Ломоносов И.С., Антипин В.С., Ломоносова Т.К., Гапон А.Е.** Сопоставление состава и геохимических особенностей коренных пород и твердого стока крупных рек водосборного бассейна озера Байкал // Геология и геофизика, 2001, т. 42, № 1—2, с. 278—297.
11. **Голдырев Г.С., Выхристюк Л.А.** Донные отложения Среднего и Северного Байкала // Мезозойские и кайнозойские озера Сибири / Под ред. А.П. Жузе, Н.А. Флоренсова. М., Наука, 1968, с. 98—124.
12. **Полевой дневник** лаборатории гидрологии и гидрофизики. Иркутск, Лимнологический институт СО АН СССР, 1972, 48 с.

Рекомендована к печати 18 июня 2004 г.
Н.А. Берзиньм

Поступила в редакцию
4 марта 2004 г.