

## РЕЗУЛЬТАТЫ СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ И СРЕДНЕЙ КОТЛОВИН ОЗЕРА БАЙКАЛ

(на примере скважины BDP-97 и колонковых трубок)

**Е.Г. Вологина, С.А. Кашик, М. Штурм\*, С.С. Воробьева\*\*, Т.К. Ломоносова,  
И.А. Калашникова, Т.И. Храмцова, С.Ю. Тошчаков**

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

*\* EAWAG, CH-8600 Dübendorf, Switzerland*

*\*\* Лимнологический институт СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, п/я 4199, Россия*

Приведены результаты исследования донных отложений оз. Байкал, вскрытых скв. BDP-97 и короткими (0—1 м) колонками. Показано, что основными типами голоценовых осадков в котловинах Байкала являются биогенно-терригенные илы, накопленные в спокойной обстановке, и турбидиты, формирующиеся при катастрофических событиях. Для турбидитов характерен набор признаков, отличающих их от вмещающих осадков. В частности, в турбидитах наблюдается повышенное содержание минералов тяжелой фракции и, как следствие этого, высокие значения магнитной восприимчивости. Плиоценовые и плейстоценовые виды диатомей, отмеченные в голоценовых осадках (главным образом в турбидитах), являются свидетельством переотложения более древних отложений, распространенных в береговой зоне озера.

Полученные результаты свидетельствуют, что источником турбидитов являются дельты, литоральная зона озера и наземные склоны Байкала. Глубоководные турбидиты значительно удалены от источников сноса, что подтверждает большую энергию суспензионных потоков, формирующих эти осадки.

*Донные отложения, турбидиты, минералы, диатомеи, гранулометрия, магнитная восприимчивость, оз. Байкал.*

## RESULTS OF RESEARCH INTO HOLOCENE SEDIMENTS OF THE SOUTH AND CENTRAL BASINS OF LAKE BAIKAL (BDP-97 and short cores)

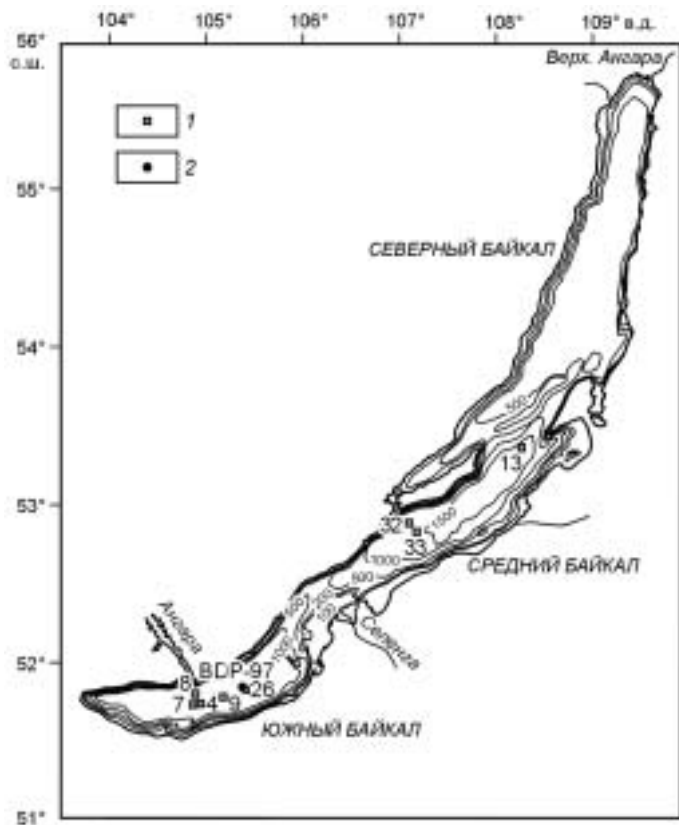
**E.G. Vologina, S.A. Kashik, M. Sturm, S.S. Vorob'eva, T.K. Lomonosova,  
I.A. Kalashnikova, T.I. Khramtsova, and S.Yu. Toshchakov**

Results of investigations of Baikal bottom sediments from a long core (BDP-97) and several short (0–1 m) cores are presented. It can be shown that the Holocene sediments in the Baikal basins consist of biogenic-terrestrial muds, accumulated under calm sedimentation conditions, and of turbidites, formed during catastrophic events. The turbidites can be distinguished from the host sediments by their enrichment in heavy minerals and thus their high magnetic susceptibility. Often, Pliocene and Pleistocene diatom species observed in the Holocene sediments (mainly in the turbidites) point to redeposition of ancient offshore sediments. Our results indicate that deltas, littoral zones, and continental slopes are the source areas of turbidites. The fact that the turbidites occur far from their sources confirms the existence of high-energy turbidity currents responsible for long-distance lateral-sediment transport to the deep basin planes of the lake.

*Bottom sediments, turbidites, minerals, diatoms, grain size, magnetic susceptibility, Lake Baikal*

### ВВЕДЕНИЕ

Озеро Байкал является ярким примером водоема с широко проявленной турбидитовой седиментацией. Г.С. Голдырев и др. [1979] отметили комплекс факторов, способствующих образованию турбидитовых толщ в Байкале: наличие источников осадочного материала, неотектоническая подвижность и сейсмичность района, котловинный тип и глубоководность озерной ванны с крутыми склонами и относительно ровным дном. Е.Б. Карабановым выделены участки дна озера, где турбидитовые прослои наиболее часто повторяются и имеют наибольшую мощность, а также описано текстурно-структурное строение турбидитов [Карабанов, 1984]. Турбидиты Байкала рассматриваются также в работах [Дмитриев, Колокольцева, 1970; Голдырев, 1977, 1982], однако вопросам их вещественного состава должного внимания не уделялось. Поэтому проблема генетической идентификации этих отложений оставалась не полностью решенной. В частности, существует точка зрения, что турбидиты являются продуктом деятельности грязевых вулканов в районах распространения газовых гидратов (М.А. Грачев, устное сообщение).



**Рис. 1. Расположение точек отбора кернов на дне оз. Байкал.**

1 — короткие (до 1 м) колонки (и их номера) донных осадков, 2 — скв. BDP-97.

В последние годы осадки Байкала широко используются для проведения палеоклиматических реконструкций. Для этих целей наиболее подходят ненарушенные отложения, накопленные в спокойных условиях. В этой связи очень важно идентифицировать среди них турбидиты, образующиеся в результате катастрофических явлений (оползней, селевых потоков и т. д.), и учитывать их при реконструкциях условий осадконакопления в прошлом.

Значительная доля турбидитов отмечена в осадках, вскрытых скв. BDP-97, пробуренной в Южной котловине Байкала в рамках международной программы „Байкал-бурение“ [Кузьмин и др., 1998; Kuzmin et al., 2000]. В статье приводятся результаты исследования вещественного состава донных отложений бурового керна BDP-97 и верхней части (0—1 м) осадков Южной и Средней котловин Байкала.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Скважина BDP-97 пробурена в Южной котловине Байкала (рис. 1), глубина озера в точке бурения — 1430 м. Бурение проведено до глубины 225 м, выход керна составил 30 м [Кузьмин и др., 1998; Kuzmin et al., 2000]. Изучена верхняя часть разреза (интервалы 8.3—9.5 и 24.0—27.8 м). Кроме того, с борта НИС „Верещагин“ отобрано 8 коротких (до 1 м) колонок донных осадков в Южной и Средней котловинах Байкала (см. рис. 1). Один из кернов (ВАИК03-26) был взят в точке бурения скв. BDP-97, где он вскрывает самую верхнюю часть разреза. В нумерации колонок первые цифры обозначают год, вторые — номер колонки (здесь и далее по тексту).

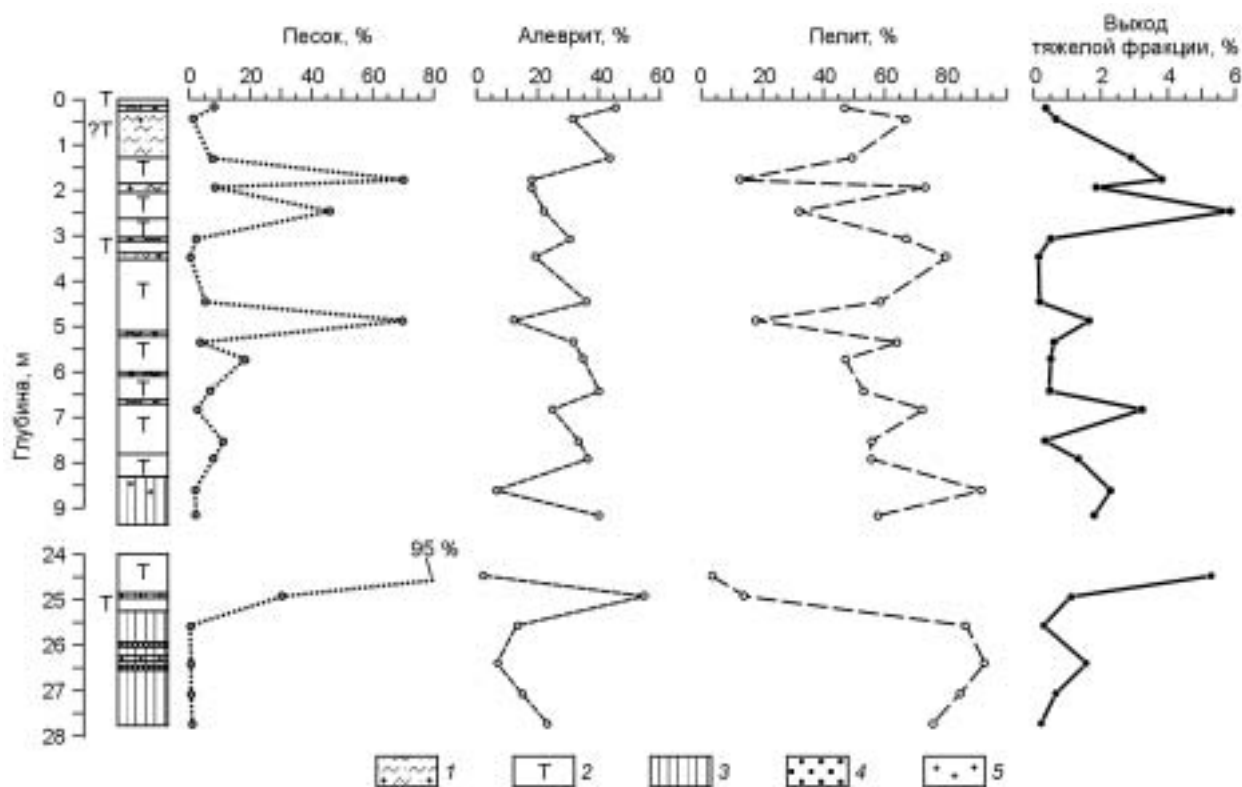
Для отбора коротких кернов использовалась грунтовая трубка EAWAG-63/S, обеспечивающая получение ненарушенных осадков. После отбора колонки были разрезаны по вертикали, сфотографированы, выполнено их литологическое описание, сопровождаемое просмотром сфер-слайдов. Описание сфер-слайдов проводилось на световом микроскопе марки SK14 (увеличение  $\times 100$ ) и включало определение основных родов ископаемых диатомовых водорослей, качественного гранулометрического состава терригенной составляющей осадков. Проведено измерение магнитной восприимчивости отложений с использованием поверхностного зонда марки Bartington MS2-E [Bartington..., 1995].

Выполнен гранулометрический анализ осадков, вскрытых скв. BDP-97 (шаг опробования 10—70 см) и колонкой ВАИК03-26 (каждые 4 см). При этом глинистая фракция была выделена методом отмучивания, а песчано-алевритовый материал рассеян на ситах. Исследован минеральный состав отложений (фракция 0.25—0.05 мм). Минералы легкой и тяжелой фракций, разделенные в бромформе с удельным весом  $2.7 \text{ г/см}^3$ , изучены в иммерсионных препаратах на микроскопе МИН-8.

Проведен диатомовый анализ осадков керна BDP-97 (20 проб), колонок ВАИК97-7 (через 2 см) и ВАИК03-26 (через 1 см) по общепринятой методике [Грачев и др., 1997].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Литологическая характеристика осадков, вскрытых скв. BDP-97.** В интервале 0—8.3 м донные отложения (скв. BDP-97) представлены переслаиванием биогенно-терригенных осадков, накопленных в спокойных условиях седиментации, и турбидитов [Kuzmin et al., 2000]. Ниже по разрезу (интервалы 8.3—9.5 и 24.0—27.8 м) залегают глины (вязкие пластичные породы) с песчаными прослоями и турбидиты (рис. 2). Для последних характерен более крупнозернистый гранулометрический состав по сравнению с



**Рис. 2. Гранулометрический состав отложений оз. Байкал и содержание в них минералов тяжелой фракции (скв. ВDP-97).**

Литологическая характеристика осадков (согласно [Kuzmin et al., 2000], с незначительными авторскими изменениями): 1 — пелагический биогенно-терригенный ил, 2 — турбидит, 3 — глина (предположительно позднеплейстоценовая), 4 — песчаные слои; 5 — диатомеи.

вмещающими осадками. Содержание песчаной фракции варьирует от 3 % в верхней части до 95 % в основании турбидитовых слоев. Песок мелко- и тонкозернистый с незначительной примесью среднезернистого. Пелитовая составляющая обратно пропорциональна содержанию песка и колеблется от 73 до 3 %. В пелагических биогенно-терригенных осадках (интервал 0—8.3 м) преобладает пелит (47—80 %), примесь тонко- и мелкозернистого песка составляет 0.5—8 %. Максимальное содержание пелитовой компоненты (до 93 %) отмечено в интервалах 8.3—9.5 и 24.0—27.8 м и соответствует слоям глин. Песчаная примесь в глинах не превышает 2 %. Содержание алеврита по разрезу колеблется от 2 до 45 % (см. рис. 2).

Легкая фракция в пелагических биогенно-терригенных илах и турбидитах состоит из кварца, плагиоклазов, калиевых полевых шпатов и слюд (биотит, мусковит). Отмечены глинисто-слюдястые и слюдясто-глинистые агрегаты (табл. 1). Такие агрегаты характерны для донных отложений Байкала и обусловлены коагуляцией глинистого материала в воде [Ломоносов и др., 2001]. В тяжелой фракции доминируют минералы, неустойчивые к выветриванию: амфиболы (главным образом роговая обманка), эпидот, пироксены (в основном диопсид). Кроме того, встречаются ильменит, гранат, магнетит, сфен, апатит, циркон и др. (табл. 2). Выход минералов тяжелой фракции варьирует по разрезу от 0.2 до 5.9 % (фракция 0.25—0.05 мм), при этом максимальные его значения соответствуют турбидитовым слоям (см. рис. 2).

**Литологическая характеристика верхней части (0—1 м) разреза голоценовых отложений Южной и Средней котловин Байкала.** Донные отложения, отобранные колонковыми трубами в Южной и Средней котловинах озера, также представлены переслаиванием пелагических биогенно-терригенных илов и турбидитов с градационной текстурой, свидетельствующей об их генетической связи с суспензионными потоками. Подробно структурно-текстурные особенности байкальских турбидитов описаны в [Карабанов, 1984].

Максимальная глубина отбора колонок донных осадков в Южной котловине Байкала на границе вода—дно составила 1430 м (колонки ВАК97-7, ВАК97-9, ВАК03-26). В верхних слоях осадков выделяется до четырех слоев турбидитов, мощность которых изменяется от 2 (ВАК97-9) до 55 см

Таблица 1. Минеральный состав легкой фракции (0.25—0.05 мм) осадков Южной котловины Байкала, вскрытых скв. ВDP-97 и колонкой ВАК03-26

Глубина, см	Минералы, %					
	кварц	плагиоклаз	калишпаты	биотит	мусковит	агрегаты
<b>Скважина ВDP-97</b>						
177	44.8	24	21.6	8.4	0.4	Знаки*
194	16	11.6	5.2	41.6	8.4	6
246	34.4	20.4	24.8	11.6	0.8	3.2
287	15.6	10.8	6	26.4	2.8	31.2
347	10.4	3.6	4.4	22.8	2.4	47.6
445	7.2	2.4	2.4	8.8	3.6	70.4
487	36	16.4	16.8	5.6	0.4	1.2
535	13.2	4.8	4	60.8	10.4	2
572	5.6	3.2	1.6	40.4	10.8	25.2
642	12.8	6	7.2	33.6	4	30
682	35.2	16.8	19.2	22.8	3.2	—
753	4	3.6	3.2	29.2	4	40
796	19.2	13.6	12.8	43.2	4	1.2
860	30	26.4	26.4	9.6	1.6	4.4
916	17.2	10.4	8.8	56	4	—
2447	37.2	35.2	22	1.2	0.8	Знаки*
2505	24	9.6	9.2	41.6	11.6	—
2558	11.6	6.8	6	44.8	4	15.6
2633	17.2	18	6.4	40	11.2	3.6
2708	10	4.4	3.6	60.8	7.6	2.4
2784	3.2	1.2	1.2	84.8	4.8	—
<b>Колонка ВАК03-26</b>						
0—4	34	9.2	8.4	38.4	4	—
4—8	34.4	11.2	8	27.6	2.4	12
8—12	18.4	4.4	1.6	21.2	2.4	40.8
12—16	8	3.2	0.8	10	0.8	58
16—20	11.2	5.2	2	8.4	0.4	50.8
20—24	13.6	3.6	1.2	14.4	2.4	49.2
24—28	14.8	3.2	2	16	0.8	44.8
28—32	22	5.2	2	11.2	2.8	41.6
32—36	12.4	4	1.6	25.6	2.8	40
36—40	16.8	5.6	2.4	26.4	3.6	32
40—44	13.2	3.6	0.8	28.8	2.8	34
44—48	37.2	10.4	4	20.8	2.8	12.8
48—52	26	11.2	4.8	16.4	4	27.2
52—56	26	10.8	3.2	21.2	3.2	22.8
56—60	22.4	10	2.8	24.8	3.6	24
60—64	27.2	10	4	31.2	2.4	15.2

\* В знаках присутствуют хлорит и графит.

(ВАК03-26) (рис. 3, а). В керне ВАК03-26 на глубине 3—5 см встречена песчаная линза, песок обнаружен также выше и ниже этого интервала, что, вероятно, связано со сложной конфигурацией линзы. Верхняя часть разрезов всех колонок окислена. Окисленные осадки имеют светло-коричневый, желтовато-коричневый, темно-рыжий, темно-коричневый цвета. Иногда наблюдаются черные марганцевые прослои. Мощность окисленных горизонтов изменяется от 1.5 (ВАК03-26) до 6.5 см (ВАК97-4, 7). Внутри окисленной зоны (ВАК97-4, 9) встречаются фрагменты Fe-Mn корок, приуроченные к геохимическому барьеру. В разрезах некоторых колонок (ВАК97-8, 9) сохранились реликты окисленных зон (цвет от желтовато-коричневого до оливково-серого), захороненные в восстановленном осадке (см. рис. 3, а).

Отложения, вскрытые колонковыми трубками в Средней котловине Байкала (максимальная глубина озера в точках отбора проб — 1630 м), также представлены пелагическими биогенно-терригенными илами

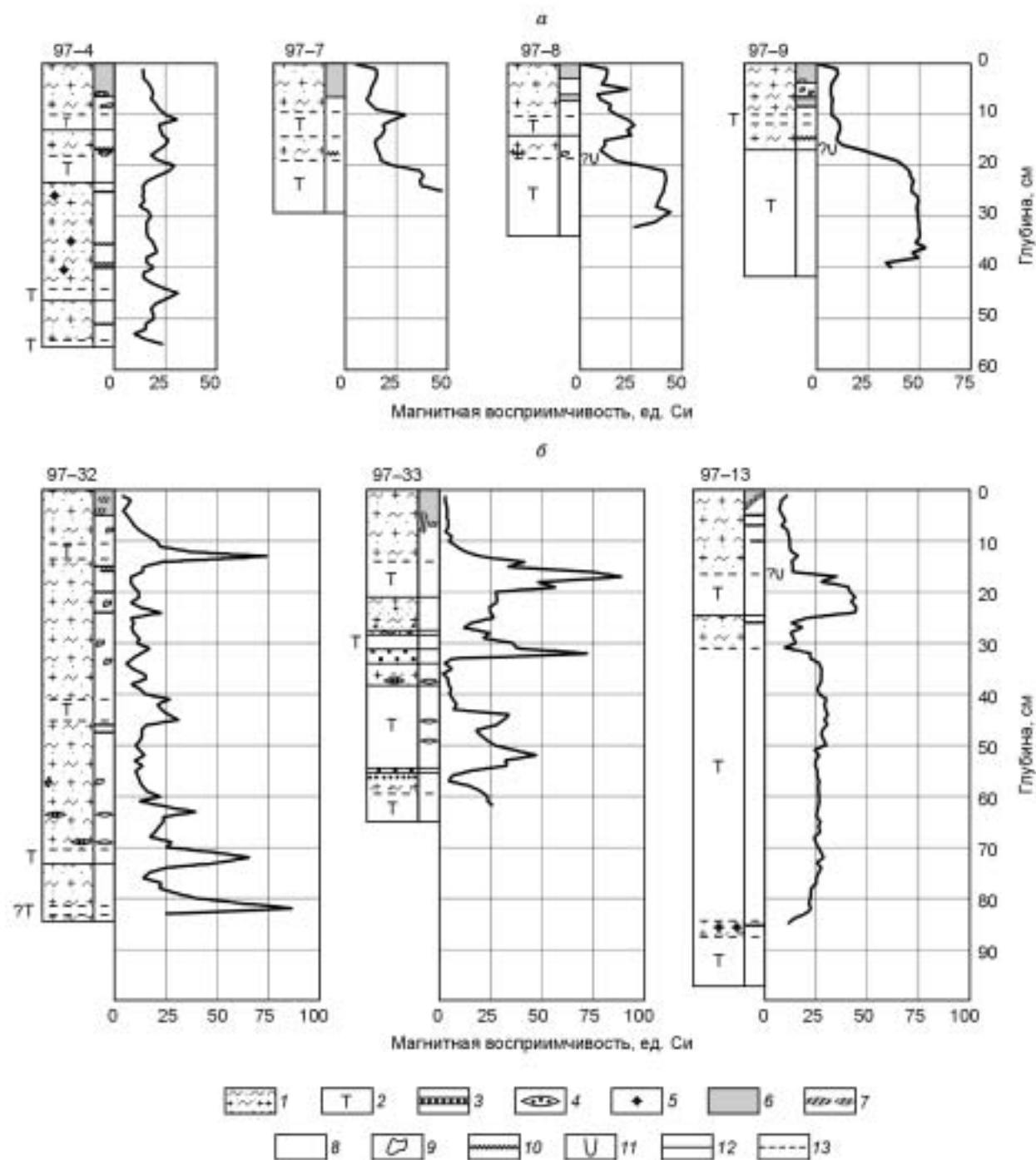
Таблица 2. Минеральный состав тяжелой фракции (0.25—0.05 мм) осадков Южной котловины Байкала, вскрытых скв. BDP-97 и колонкой ВАК03-26

Глубина, см	Минералы*, %								
	роговая обманка	эпидот	диопсид	ильменит	гранат	магнетит	сфен	апатит	циркон
<b>Скважина BDP-97</b>									
177	61.6	7.6	11.4	4	1.6	3	4.2	2.4	0.4
194	50.2	13.8	12	5	6	0.2	5.4	2.2	0.2
246	47.6	14.4	6.4	5.6	4.2	3.6	5.4	4	0.6
287	40.4	20.8	11	7.4	6.2	1	5.2	3.2	1.2
347	12	10	5	10	5	27	7	3	1
445	17.8	27	5.4	18.6	3.4	8.2	6	2.4	1.6
487	40.6	20.6	6.2	8	4.4	3	4	3.6	2
535	23.8	23.2	9.6	11.6	7.4	1.8	4.4	1.8	0.8
572	30	16.4	5	3	17.8	0.4	4.6	3.2	1.2
642	42	21.6	10.4	7.6	5.4	0.4	6.6	1.4	0.2
682	50.6	13.2	12.2	8	4.8	1	6.4	1	0.2
753	11.6	9.2	4.8	4.4	25.6	2.4	2.2	3	0.8
796	51.2	16.6	5.8	5.4	5.2	0.6	5.4	3	1
860	52.6	11.8	3.2	3.8	3.8	7.6	8	3.4	0.4
916	48	19.6	11.8	3.2	4.4	Знаки	5	2	0.2
2447	49.2	13	7	5.8	3.8	6.4	4.8	2.4	1
2505	25.6	4.8	0.8	1.4	13.8	0.2	2	5.8	1.4
2558	43.6	17	1.1	4.2	9.6	4.2	1.1	1.1	2.1
2633	17.2	21.2	6.8	2.2	7.7	16.2	8	2.8	1.6
2708	24	9.6	4	14	13	13.4	9	1.2	2.8
2784	16.2	9.5	6.7	20.2	9.4	9.2	8.5	1.5	3.1
<b>Колонка ВАК03-26</b>									
0—4	31.2	8.6	16.4	4	16.4	2	2	2.6	2.4
4—8	25.4	7.2	28.8	6.4	12.2	1.4	3.2	2.4	1.8
8—12	3.6	6.2	5.6	2.8	12.4	1.2	4.4	0.6	2.6
12—16	20.6	18.6	10	16.4	13.6	2	4.2	2.2	1.6
16—20	38	12.8	9.6	12.6	10.2	1	6.2	1.2	1.8
20—24	16.8	14.4	13.6	20	12	6	5	2	2.8
24—28	27.2	14.8	7	12	8.2	7	8.8	4.8	1.6
28—32	14.6	15.2	15.4	1.6	13	6	4.4	2.4	1.6
32—36	22	7.4	8.6	3.6	8.2	6	3	0.8	0.6
36—40	19.6	12	14.4	15.4	13	1.2	9.2	2	3
40—44	21.2	15.2	12	11.4	8.2	2.4	8	3.8	1.2
44—48	35.2	17.4	13	8	15.2	2	6	2.4	0.8
48—52	13.6	16.6	8.4	15.6	12	6	10	1.8	2
52—56	15.4	18.2	14.4	12.8	9.2	2.4	8	1.2	1.2
56—60	37.2	16.2	18	2.8	14.8	1	5.4	3.4	1
60—64	8.8	9	9.2	22.4	14	8	8	1.4	3.8

\* Кроме того, встречаются: лейкоксен, актинолит, гиперстен, силлиманит, пирит, гетит, рутил, ставролит, сидерит.

и турбидитами. Мощность турбидитов колеблется от 3 (ВАК97-32) до 53 см (ВАК97-13); окисленная зона составляет 2—7.5 см (ВАК97-13 и ВАК97-33 соответственно). Во всех разрезах содержатся темно-коричневые (до черных) уплотненные Fe-Mn корки, приуроченные к основанию рыжевато-коричневого окисленного слоя (см. рис. 3, б).

**Магнитная восприимчивость голоценовых отложений.** Значения магнитной восприимчивости максимальны (до 75—85 ед. СИ) в песчаных и турбидитовых слоях (см. рис. 3 а, б). В том случае, когда в основании турбидитов залегает грубозернистый песок, эта величина значительно выше. Для пелагических биогенно-терригенных илов она не превышает 10—25 ед. СИ. Пики магнитной восприимчивости,



**Рис. 3. Магнитная восприимчивость голоценовых донных осадков из Южной (а) и Средней (б) котловин Байкала.**

Литологическая характеристика отложений (левый столбец): 1 — пелагический биогенно-терригенный ил, 2 — турбидит, 3 — песчаные слои, 4 — линзы песка, 5 — конкреции. Правый столбец: 6 — окисленный осадок, 7 — фрагменты окисленной корки, 8 — восстановленный осадок, 9 — пятна, 10 — уплотненные зеленоватые прослои, 11 — биотурбация. Границы между слоями: 12 — четкие, 13 — нечеткие.

отмеченные в пределах илов, приурочены к линзам песка (колонка ВАК97-32, см. рис. 3, б). Для турбидитов Средней котловины Байкала характерны более высокие величины магнитной восприимчивости по сравнению с Южной котловиной.

**Гранулометрический и минеральный состав отложений (колонка ВАК03-26).** Гранулометрический состав осадков, вскрытых колонкой ВАК03-26, приведен на рис. 4. Максимальное содержание

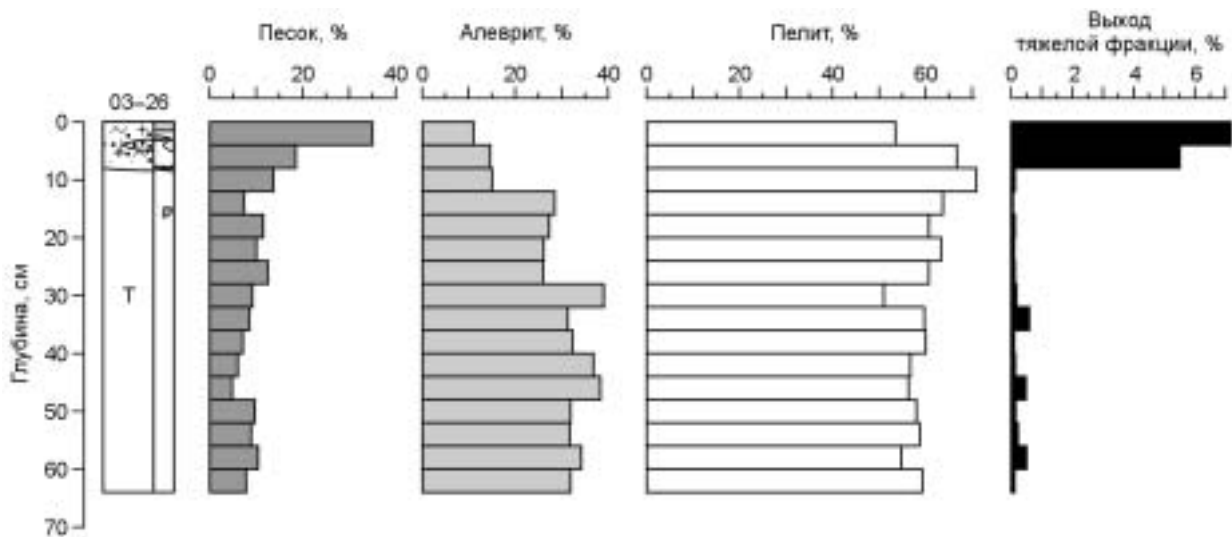


Рис. 4. Гранулометрический состав донных отложений оз. Байкал и содержание минералов тяжелой фракции (колонка ВАК03-26).

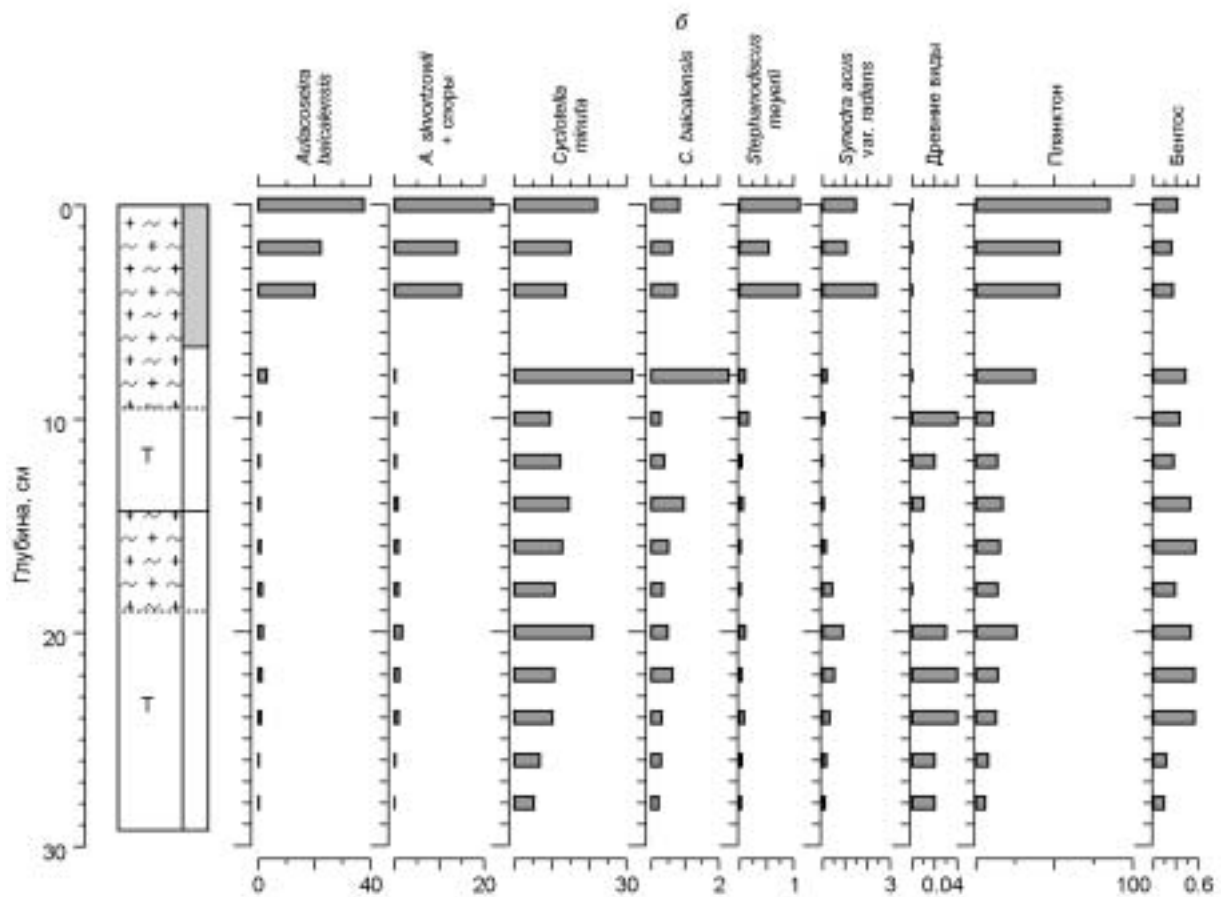
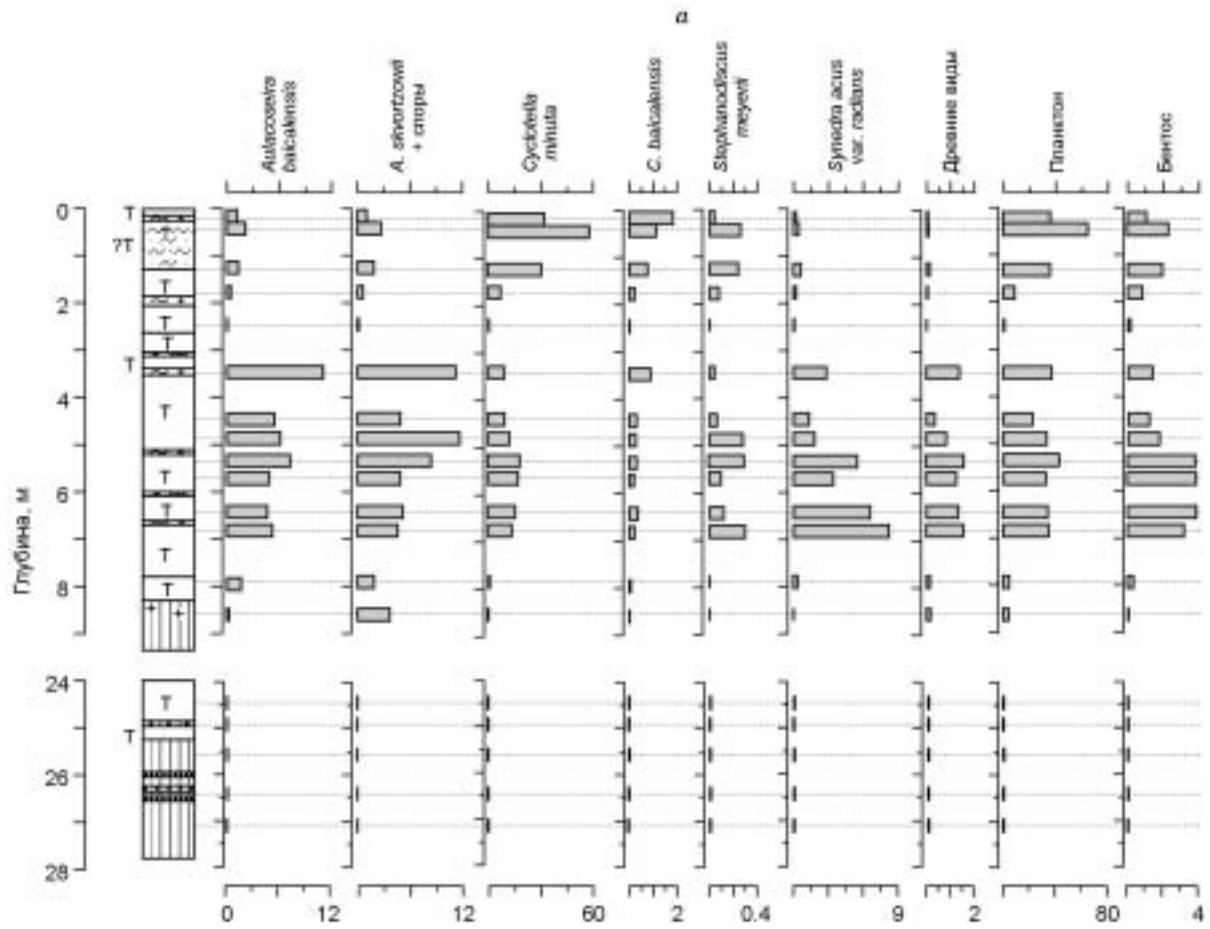
Усл. обозн. см. рис. 3.

песчаной фракции (до 35 %) отмечено в интервале 0—8 см, что связано с наличием здесь линзы песка. Преобладает мелкозернистый песок (до 22 %). Ниже по разрезу примесь песка варьирует от 5 до 14 %, преобладает тонкозернистый материал. Содержание глинистой составляющей изменяется от 50 до 70 %, при этом оно максимально в верхней части турбидита. Примесь алеврита минимальна (11—15 %) в верхней части колонки (интервал 0—12 см), а в турбидитовом прослое она достигает 26—39 %.

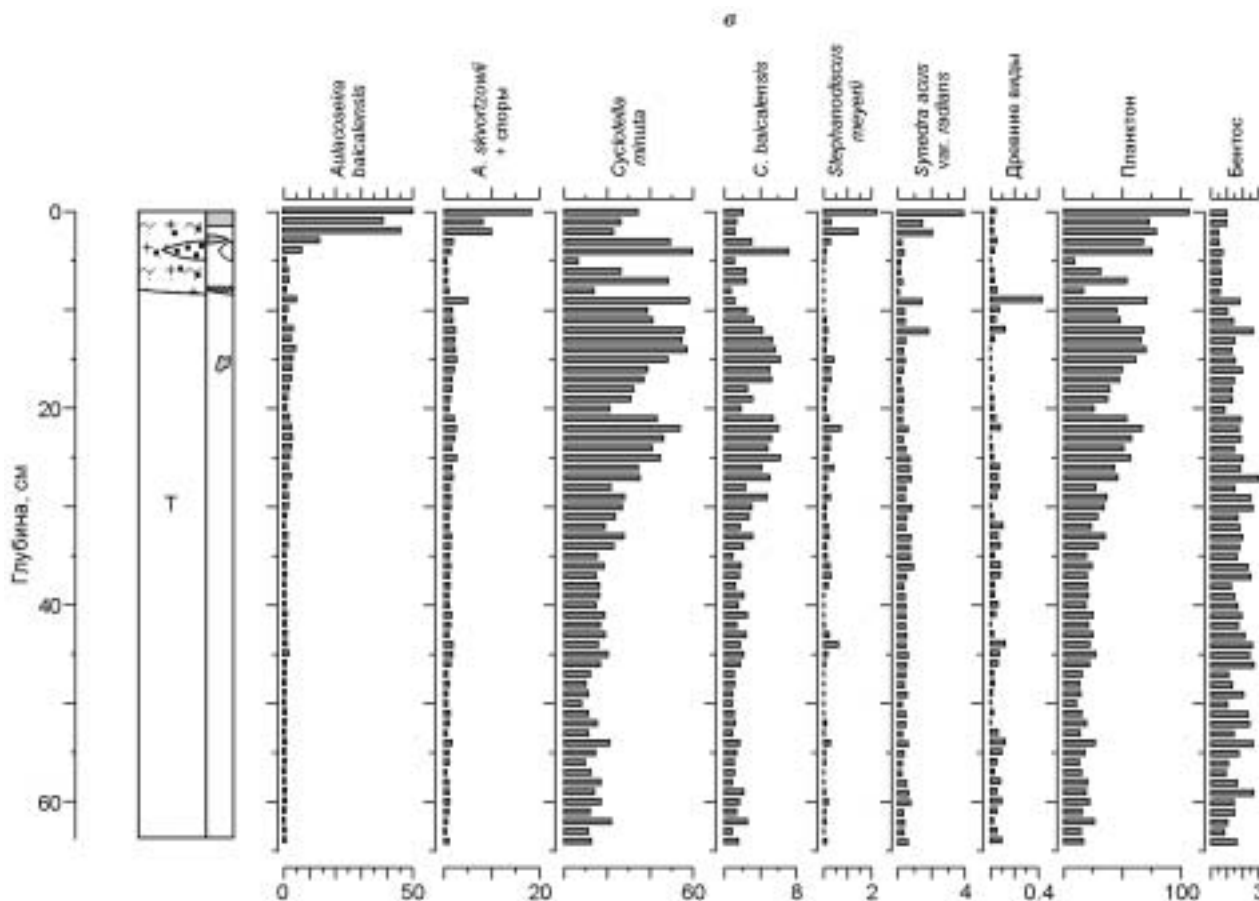
В полимиктовых отложениях основные минералы легкой фракции представлены кварцем, биотитом и плагиоклазом. Почти во всех пробах присутствуют слюдисто-глинистые агрегаты (12—58 %) (см. табл. 1). В турбидитовом слое (интервал 9.0—64.0 см) встречается примесь (до 9 %) растительных остатков (фракция 0.25—0.05 мм). В тяжелой фракции преобладают минералы неустойчивые к выветриванию: амфиболы (главным образом роговая обманка), пироксены (в основном диопсид), ильменит, эпидот, гранат. Кроме того, встречаются сфен, пирит, магнетит, гетит, апатит, циркон и др. (см. табл. 2). Выход минералов тяжелой фракции прямо пропорционален содержанию песчаной составляющей в осадках (см. рис. 4). Максимальные содержания тяжелой фракции (5.5 и 7 %, фракция 0.25—0.05 мм) характерны для горизонта 0—8 см.

**Результаты диатомового анализа (кern BDP-97 и колонки ВАК97-7, ВАК03-26).** Данные диатомового анализа верхней части донных отложений, вскрытых скв. BDP-97 (интервал 0—8.3 м) и колонками ВАК97-7, ВАК03-26, подтверждают их голоценовый возраст: *Aulacoseira baicalensis*, *A. skvortzowii*, *Cyclotella minuta*, *C. baicalensis*, *Synedra acus* var. *radians*, *Stephanodiscus meyerii*, *Crateriportula inconspicuus*, *Cyclostephanos dubius* [Bradbury et al., 1994; Грачев и др., 1997, 2002; Mackay et al., 1998].

Анализ бурового керна BDP-97 показал, что в интервале 0—2.5 м преобладают створки представителей родов *Cyclotella* и *Aulacoseira*. Бентосные виды составляют здесь 2.8—19.7 % (рис. 5, а). Встречаются виды плиоценового (*Tertiarius* et var., *Cyclotella praetemperei* et var.) и плейстоценового (*Stephanodiscus baicalensis* var. *concinis*, *S. formosus*, *S. flabellatus*) возраста [Khursevich et al., 2000; Хурсевич и др., 2001; Грачев и др., 2002]. Их содержание составляет 0.03—0.12 млн ств./г (миллионов створок на 1 грамм сухого осадка) (0.09—0.32 % от общего содержания). Общая концентрация створок диатомей варьирует в широких пределах (0.7—67 млн ств./г), уменьшаясь в основании турбидитов. В интервале 3.5—8.3 м (осадки представлены в основном турбидитами) доминируют *Cyclotella minuta*, *Aulacoseira baicalensis*, *A. skvortzowii* со спорами, *Synedra acus* var. *radians*. Численность планктонных диатомей составляет 4.1—42.3 млн ств./г, а бентосных — 0.05—3.87 млн ств./г (1.2—10.7 %). Возрастает доля плиоценовых и плейстоценовых видов (*Cyclotella comtaeformica* et var., *Cyclotella praetemperei* et var., *Tertiarius* et var., *Stephanopsis* et var. и *Stephanodiscus flabellatus*, *S. carconeiformis*, *S. formosus*, *S. grandis*, *S. baicalensis* var. *concinis*, *S. exiguus*, *S. princeps*) — 1.5—4.1 % (0.13—1.55 млн ств./г). В интервале 24—27.8 м осадки, представленные переслаиванием глин и турбидитов, характеризуются бедным составом и низким содержанием диатомей (см. рис. 5, а).







**Рис. 5.** Распределение видов диатомовых (млн ств./г) по разрезам, вскрытым скв. BDP-97 (а) и колонками ВАК97-7 (б), ВАК03-26 (в).

Усл. обозн. см. рис. 2 (для скв. BDP-97) и рис. 3 (для кернов ВАК97-7 и ВАК03-26).

В верхней части разреза колонки ВАК97-7 в пределах пелагических биогенно-терригенных илов (0—9.5 см) доминируют представители родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*, а в интервале 9.5—29 см — виды рода *Cyclotella* (см. рис. 5, б). Общее содержание диатомей варьирует по разрезу. В интервале 0—9.5 см (пелагический ил) оно изменяется от 37.9 до 85.2 млн ств./г; на 9.5—14 см (турбидит) — от 11.3 до 17.4 млн ств./г; на глубинах 16 и 18 см (пелагический ил) — от 14 до 15.7 млн ств./г; в интервале 19—29 см (турбидит) — от 6 до 26.3 млн ств./г. В турбидитах (интервалы 9.5—14 и 19—29 см) встречены древние виды (0.01—0.04 млн ств./г или 0.06—0.4 %), характерные для плейстоцена: *Stephanodiscus flabellatus*, *S. formosus*, *S. baicalensis* var. *concinis* [Khursevich et al., 2000; Хурсевич и др., 2001; Грачев и др., 2002]. Кроме того, в турбидитах повышена доля бентосных видов (1.9—3.8 %) по сравнению с биогенно-терригенными отложениями (интервал 0—8 см), где она составляет 0.4—1.1 % (см. рис. 5, б).

В колонке ВАК03-26 в интервале 0—4 см (пелагический ил) общее содержание диатомей максимально и достигает 67.8—107.3 млн ств./г (см. рис. 5, в). Преобладают планктонные виды родов *Aulacoseira* и *Cyclotella*, а также присутствуют бентосные виды (0.6—1.3 %). На глубине 5—8 см происходит снижение концентрации диатомей и ее значительные колебания (от 8.7 до 53.4 млн ств./г), что связано, вероятно, с наличием песчаной линзы в этом интервале. Определяющими в осадках становятся виды рода *Cyclotella*. В турбидите (интервал 9.0—64.0 см) доминируют створки видов рода *Cyclotella* с небольшой примесью представителей родов *Aulacoseira*, *Stephanodiscus*, *Synedra*. Общая концентрация створок диатомовых водорослей изменяется от 72.3 млн ств./г в верхней части турбидита до 11.1 млн ств./г на глубине 50 см. Кроме того, в турбидитовом прослое повышена доля бентосных видов (2.2—13.5 %) по сравнению с пелагическими илами верхней части колонки. По всему разрезу в небольшом количестве (0.01—0.43 млн ств./г или 0.02—0.6 %) отмечены виды диатомей, характерные для плиоцена и плейстоцена: виды родов *Stephanopsis*, *Tertiarius*, а также *Cyclotella praetemperei*, *C. comtaeformica* и *Stephanodiscus exiguus*, *S. baicalensis* var. *concinis*, *S. flabellatus*, *S. carconeiformis*, *S. formosus*, *S. grandis*. В пелагических

биогенно-терригенных илах (интервал 0—8 см) их численность составляет 0.02—0.05 млн ств./г. Максимальная концентрация древних видов приходится на турбидитовый прослой, где она достигает 0.43 млн ств./г (см. рис. 5, в).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенные материалы указывают на разнообразие голоценовых отложений Байкала. В пределах плоских глубоководных частей дна котловин озера можно выделить два основных типа осадков: 1) пелагические биогенно-терригенные отложения, формирующиеся в спокойных условиях осадкообразования и состоящие из аллохтонного терригенного и автохтонного биогенного материала; 2) турбидиты — отложения суспензионных потоков, образованные в процессе катастрофических событий. Чередование этих отложений свидетельствует о том, что периоды спокойных условий осадкообразования время от времени сменялись катастрофической седиментацией, которая могла быть спровоцирована береговыми оползнями, перемещением материала по подводным склонам и каньонам внутри озера и селями на водосборе.

На подводных возвышенностях толща байкальских осадков представлена ритмичным чередованием слоев, обогащенных остатками диатомовых водорослей, сформированных в теплые межледниковья, и терригенных глин, накопленных в холодные ледниковые периоды [Безрукова и др., 1991; Грачев и др., 1997; Хурсевич и др., 2001]. Таким образом, можно считать, что граница между голоценовыми и позднплейстоценовыми отложениями соответствует границе между биогенно-терригенными илами и глинами. В котловинах Байкала пелагические биогенно-терригенные илы содержат турбидиты. В осадках, вскрытых скв. BDP-97, глины появляются на горизонте 8.3 м. Поэтому можно предположить, что отложения, перекрывающие глины, имеют голоценовый возраст. Этот вывод подтверждается следующими фактами. Измеренные скорости осадконакопления в Южной котловине Байкала составляют 0.2 [Купцов, Богданов, 1991] — 1 мм/год [Вологина и др., 2003]. При таких скоростях в голоцене должны накопиться отложения мощностью от 2 до 10 м (грубая оценка), что в целом согласуется с мощностями осадков керна BDP-97 (0—8.3 м — предположительно голоценовые отложения, из них биогенно-терригенные илы, накопленные в спокойной обстановке, не превышают 2 м; см. рис. 2). Кроме того, диатомовый анализ показал, что в интервале 0—8.3 м в отложениях доминирует голоценовый комплекс диатомей. Таким образом, литологические данные, оценка скоростей осадконакопления и результаты диатомового анализа указывают на голоценовый возраст верхней (0—8.3 м) части разреза, вскрытого скв. BDP-97.

Результаты гранулометрического анализа свидетельствуют о том, что турбидиты содержат более крупнозернистый материал по сравнению с вмещающими пелагическими илами. Так, максимальное содержание песка в донных отложениях (скв. BDP-97) приходится на турбидитовые слои (см. рис. 2). К основанию турбидитов обычно приурочен песок, переходящий в алевропелитовый ил, а наверху залегает тонкий (0—1.5 см) слой пелитового ила (см. рис. 2, 4).

Минеральный состав донных осадков, вскрытых скв. BDP-97 и колонкой ВАК03-26, отобранной в точке бурения скважины, в целом аналогичен. Он идентичен таковому в отложениях Южной котловины Байкала и твердого стока его притоков [Голдырев, 1982; Кашик, Мазилев, 1997; Ломоносов и др., 2001]. Главными компонентами донных осадков являются кварц, полевые шпаты и слюды. Среди минералов тяжелой фракции распространены амфиболы, пироксены, гранат, ильменит, эпидот, сфен, циркон, магнетит, рутил и др. [Голдырев, 1982], что подтверждено и нашими данными (см. табл. 1, 2). Несколько отличается минеральный состав отложений, вскрытых скв. BDP-93 на Бугульдейской перемычке вблизи северо-западного берега Байкала [Кашик, Мазилев, 1997]. Здесь в тяжелой фракции встречается хлоритид, источником которого, вероятно, являются хлоритидные сланцы анайской свиты (верхний протерозой), имеющие локальное распространение на северо-западном побережье Среднего Байкала [Геологическая..., 1983]. Минеральный состав твердого стока рек Южного Байкала (Бугульдейка, Голоустная, Утулик, Хара-Мурин, Снежная, Переемная, Селенга (Мурзино)) в целом одинаков [Ломоносов и др., 2001]. Он хорошо соотносится с полученными нами данными для кернов BDP-97 и ВАК03-26.

Диатомовый анализ изученных донных отложений свидетельствует о том, что в основном это — голоценовые осадки. В отличие от отложений, накопленных в спокойной обстановке, для турбидитов характерно снижение общей численности диатомей и повышение доли бентосных видов даже на значительных расстояниях от берега и устьев притоков [Вологина и др., 2003]. Кроме того, в голоценовых турбидитах Южной котловины Байкала обнаружены диатомей плиоценового и плейстоценового возрастов. Вероятно, это связано с переотложением более древнего осадочного материала, источником которого могли служить плиоценовые и плейстоценовые толщи, широко распространенные в прибрежной зоне Южной котловины [Мац, 1985; Иметхенов, 1987; Атлас..., 1993; Мац и др., 2001]. Так, вдоль южного и юго-восточного побережий протягивается серия плейстоцен-голоценовых террас [Иметхенов, 1987; Мац и др., 2001], слагающие их отложения находятся в зоне действия байкальских прибоев. Кроме того, в прибрежной зоне южного побережья Байкала обнажены отложения танхойской (верхний олигоцен—

нижний плиоцен), осиновской (миоцен—средний плиоцен) и шанхаихинской (верхний плиоцен—эоплейстоцен) свит [Мац, 1985; Мац и др., 2001]. В береговом обрыве Байкала, в цоколе байкальской террасы вблизи устья Дулихи выявлен богатый комплекс диатомей, среди которых описаны виды *S. carconeiformis*, *S. grandis* [Попова и др., 1989], встреченные также нами в керне BDP-97 и колонке ВАК03-26. Возраст этих отложений  $N_2^2 - Q$  [Попова и др., 1989]. Те же осадки, что и у устья Дулихи, обнаружены также на реках Аносовка, Осиновка, Кедровая и др. вблизи берега Южной котловины. В них описаны диатомеи и палиноспектры верхнего плиоцена [Белова, 1985; Мац и др., 2001]. Таким образом, наличие древних диатомей в голоценовых турбидитах можно объяснить переотложением плиоценовых и плейстоценовых осадков, обнаженных на склонах Южной котловины Байкала.

Плиоценовые и плейстоценовые диатомеи отмечены также в пелагических илах (скв. BDP-97 и колонка ВАК03-26), при этом их содержание ниже, чем в турбидитовых слоях. Их наличие мы объясняем переотложением материала за счет абразии склонов и переноса течениями. Большая энергия суспензионных потоков, формирующих турбидиты, обеспечивает привнос более значительной массы вещества, чем и объясняется повышенное содержание древних диатомей в пределах турбидитовых слоев.

С другой точки зрения [Клеркс и др., 2003], наличие диатомей плиоценового возраста в поверхностных донных отложениях Южной котловины Байкала, отобранных в районе проявления газовых гидратов, объясняется влиянием метановых флюидов, выносящих на поверхность дна потоки более древнего материала (подводные грязевые вулканы). Однако механизм дестабилизации газовых гидратов до конца не изучен. Кроме того, этот процесс, вероятнее всего, носит локальный характер. Следует также отметить, что грязевые вулканы не могут служить причиной образования турбидитов. Достаточно четко проявленная градиционная текстура свидетельствует о принадлежности этих осадков к отложениям суспензионных потоков. Доказательством того, что в турбидитах присутствует материал, поступающий из литорали и с наземных склонов впадины Байкала, является также тот факт, что все выделенные нами турбидиты характеризуются высокой магнитной восприимчивостью, содержат растительные остатки (обломки древесины, веточки растений), пониженные концентрации створок планктонных диатомовых водорослей и повышенные содержания бентосных форм.

Магнитная восприимчивость байкальских турбидитов достигает 225 ед. СИ [Lees et al., 1998]. Это связано как с высоким содержанием минералов тяжелой фракции, среди которых преобладают среднемагнитные разности (см. табл. 2) [Копченова, 1979], так и с уменьшением роли биогенного немагнитного материала в турбидитовых слоях [Вологина и др., 2003].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные, полученные в процессе комплексного исследования голоценовых осадков в Южной и Средней котловинах Байкала, позволяют сделать следующие выводы.

Ранее выявленные признаки байкальских турбидитов [Вологина и др., 2003] дополнены новыми данными. В частности, турбидиты верхнего слоя донных отложений оз. Байкал характеризуются: 1) повышенным содержанием минералов тяжелой фракции и, как следствие этого, высокими значениями магнитной восприимчивости, 2) наличием древних диатомей.

Плиоценовые и плейстоценовые виды диатомей, отмеченные в голоценовых отложениях (главным образом в турбидитах), являются свидетельством переотложения более древних осадков, обнаженных на склонах Южной котловины Байкала.

Минеральный состав голоценовых отложений из Южной котловины Байкала отражает соотношение минералов в окружающем горном обрамлении и твердом речном стоке [Ломоносов и др., 2001].

Авторы благодарны В.Д. Мацу за советы и обсуждение полученных материалов, С.П. Сумкиной за выполнение гранулометрического анализа, а также Т.О. Железняковой за помощь в проведении диатомового анализа.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 05-05-97229-р\_байкал\_а) и EAWAG (Швейцарский федеральный институт науки и технологии окружающей среды), грант № 85145.

## ЛИТЕРАТУРА

Атлас Байкала (Межведомственный научный совет по программе „Сибирь“ СО РАН). М., Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993, 160 с.

Безрукова Е.В., Богданов Ю.А., Вильмс Д.Ф., Гранина Л.З., Грачев М.А., Игнатова Н.В., Карбанов Е.Б., Купцов В.М., Курылев А.В., Летунова П.П., Лихошвай Е.В., Черняева Г.П., Шимараева М.К., Якушин А.О. Глубокие изменения экосистемы Северного Байкала в голоцене // Докл. АН СССР, 1991, т. 321, № 5, с. 1032—1037.

Белова В.А. Растительность и климат позднего кайнозоя юга Восточной Сибири. Новосибирск, Наука, 1985, 160 с.

**Вологина Е.Г., Штурм М., Воробьева С.С., Гранина Л.З., Тошаков С.Ю.** Особенности осадконакопления в озере Байкал в голоцене // Геология и геофизика, 2003, т. 44, (5), с. 407—421.

**Геологическая карта Прибайкалья.** М-6 1:1 000 000 / Ред. П.М. Хренов. Иркутск, Восточно-Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья Министерства геологии СССР, ИЗК СО АН СССР, 1983.

**Голдырев Г.С.** Флишевый тип седиментации в Северной котловине Байкала // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Лиственничное на Байкале (Тез. докл.). Иркутск, Лимнолог. ин-т СО АН СССР, 1977, с. 87—88.

**Голдырев Г.С.** Осадкообразование и четвертичная история котловины Байкала. Новосибирск, Наука, 1982, 182 с.

**Голдырев Г.С., Выхристюк Л.А., Лазо Ф.И., Шимараева М.К.** Особенности состава и строения верхней части осадочной толщи в котловине Байкала // V всесоюз. симпозиум (Тез. докл.). Иркутск, 1979, с. 37—42.

**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.М., Летунова П.П., Отиннов 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.

**Грачев М.А., Горшков А.Г., Азарова И.Н., Гольдберг Е.Л., Воробьева С.С., Железнякова Т.О., Безрукова Е.В., Крапивина С.М., Летунова П.П., Хлыстов О.М., Левина О.В., Чебыкин Е.П.** Регулярные осцилляции климата в масштабе тысячелетий и видообразование в озере Байкал // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири, Вып. 1. Новосибирск, ИАЭТ СО РАН, 2002, с. 107—121.

**Дмитриев А.Г., Колокольцева Э.М.** Темпы и типы осадконакопления в озере Байкал // Донные отложения Байкала. М., Наука, 1970, с. 69—81.

**Иметхенов А.Б.** Позднекайнозойские отложения побережья озера Байкал. Новосибирск, Наука, 1987, 151 с.

**Карабанов Е.Б.** Суспензионные потоки и их роль в формировании осадочных толщ // Литодинамика и осадкообразование Северного Байкала / Ред. Г.И. Галазий. Новосибирск, Наука, 1984, с. 223—240.

**Кашик С.А., Мазиллов В.Н.** Литология четвертичных отложений в разрезе глубокой скважины в акватории озера Байкал // Литология и полезные ископаемые, 1997, № 5, с. 484—491.

**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.

**Копченова Е.В.** Минералогический анализ шлихов и рудных концентратов. М., Недра, 1979, 247 с.

**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., Манаков 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.

**Купцов В.М., Богданов Ю.А.** Изотопная геохронология поверхностного слоя донных отложений озера Байкал // Докл. АН СССР, 1991, т. 319, № 5, с. 1226—1229.

**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.

**Мац В.Д.** Новые данные по стратиграфии миоценовых и плиоценовых отложений на юге Байкала // Вопросы геологии и палеогеографии Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, Изд-во Иркут. ун-та, 1985, с. 36—53.

**Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М.** Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: Строение и геологическая история. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал „Гео“, 2001, 252 с.

**Попова С.М., Мац В.Д., Черняева Г.П., Шимараева М.К., Кульчицкий А.А., Воробьева Г.А., Климанова В.М., Кононов Е.Е., Кравчинский А.Я., Кулагина Н.В., Лазо Ф.И., Орлова Л.А., Паньчев В.А., Сизиков А.М., Шибанова И.В.** Палеолимнологические реконструкции. Байкальская рифтовая зона. Новосибирск, Наука, 1989, 111 с.

**Хурсевич Г.К., Карабанов Е.Б., Прокопенко А.А., Вильямс Д.Ф., Кузьмин М.И., Феденя С.А., Гвоздков А.Н., Кербер Е.В.** Детальная диатомовая биостратиграфия осадков озера Байкал в эпоху Брюнес и климатические факторы видообразования // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (1—2), с. 108—129.

**Bartington** Instruments Limited. Preliminary Specification for the MS2E Sensor. Bartington Instruments Limited. Oxford, 1995, 2 p.

**Bradbury J.P., Bezrukova Ye.V., Chernyaeva G.P., Colman S.M., Khursevich G.K., King J.W., Likhoshway Ye.V.** A synthesis of post-glacial diatom records from Lake Baikal // *J. Paleolimnol.*, 1994, v. 10, p. 213—252.

**Khursevich G.K., Karabanov E.B., Williams D.F., Kuzmin M.I., Prokopenko A.A.** Evolution of freshwater centric diatoms within the Baikal rift zone during the Late Cenozoic // *Lake Baikal* / K. Minoura (ed.). Elsevier Science B.V., 2000, p. 146—154.

**Kuzmin M.I., Karabanov E.B., Prokopenko A.A., Gelety V.F., Antipin V.S., Williams D.F., Gvozdkov A.N.** Sedimentation processes and new age constraints on rifting stages in Lake Baikal: results of deep-water drilling // *Intern. J. Earth Sci.*, 2000, v. 89, p. 183—192.

**Lees J.A., Flower R.J., Ryves D., Vologina E., Sturm M.** Identifying sedimentation patterns in Lake Baikal using whole cores and surface scanning magnetic susceptibility // *J. Paleolimnol.*, 1998, № 20, p. 187—202.

**Mackay A.W., Flower R.J., Kuzmina A.E., Granina L.Z., Rose N.L., Appleby P.G., Boyle J.F., Battarbee R.W.** Diatom succession trends in recent sediments from Lake Baikal and their relationship to atmospheric pollution and to climate change // *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, 1998, v. 353, p. 1011—1055.

*Рекомендована к печати 3 ноября 2005 г.  
Н.А. Берзиным*

*Поступила в редакцию  
15 июня 2005 г.*