



УДК 551.3.051 (282.256.341)

Характеристика поверхностных осадков Бугульдейской перемычки оз. Байкал^{*}

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

Н. В. Кулагина (kulagina@crust.irk.ru)

Аннотация. Исследованы поверхностные донные отложения, отобранные на глубине 450 м на Бугульдейской перемычке оз. Байкал. Осадки сформировались в относительно спокойных условиях, на что указывает отсутствие турбидитов в разрезе. Спорово-пыльцевые спектры соответствуют позднеголоценовой растительности. Минеральный состав песчаной фракции в целом аналогичен таковому в отложениях Южного Байкала. Максимальные значения магнитной восприимчивости в интервалах, приуроченных к верхним частям колонки, связаны с повышенными содержаниями песчаной примеси и минералов тяжелой фракции.

Ключевые слова: оз. Байкал, Бугульдейская перемычка, осадконакопление, биогенно-терригенные илы, магнитная восприимчивость, гранулометрический состав, минералы, пыльца и споры.

Введение

В Байкале выделяется пять типов участков с характерными условиями современного осадконакопления: 1) глубоководные равнины с пелагическими илами и турбидитами; 2) литоральные зоны, где турбидитов нет; 3) подводные поднятия (перемычки и хребты) с гемипелагическими илами, образованными в спокойных условиях седиментации; 4) авандельты и участки дна вблизи устьев больших рек, где отложения состоят главным образом из терригенного материала; 5) мелководное Малое Море, для которого характерна низкая степень сортировки терригенного материала и значительная роль песков [3].

В данной статье мы рассмотрим вещественный состав осадков, отобранных на Бугульдейской перемычке Байкала. Бугульдейская перемычка отделяет Южную и Среднюю котловины озера и представляет собой приподнятый участок дна оз. Байкал, образованный отложениями р. Селенги. Современное осадконакопление здесь происходит в сравнительно спокойных условиях, на что указывает отсутствие турбидитовых слоев в самой

^{*} Авторы признательны канд. геол.-минерал. наук Я. Б. Радзиминовичу за обсуждение полученных материалов и полезные советы. Авторы также благодарны канд. биол. наук С. С. Воробьевой и Т. О. Железняковой за выполнение диатомового анализа, Е. Г. Поляковой и С. П. Сумкиной за проведение минералогического и гранулометрического анализов соответственно и О. Н. Шестаковой за подготовку образцов для палинологического анализа.

верхней части разреза [3]. Скорости осадконакопления достаточно высоки – от 0,2 [6] до 0,86 мм/год [3]. В связи с этим Бугульдейская перемычка является одним из ключевых районов Байкала, где можно проводить высококоразрешающие исследования донных отложений для реконструкции условий современного осадконакопления.

Материалы и методы

Керн ВАК11-11 (длина – 64,3 см) был отобран грунтовой трубкой UWITEC на Бугульдейской перемычке в точке с координатами $52^{\circ}26.547'$ с. ш. $106^{\circ}03.018'$ в. д. (рис. 1). Глубина озера в точке отбора составила 450 м. Колонка была разрезана, сфотографирована, выполнено литологическое описание разреза, сопровождаемое просмотром смер-слайдов. Описание смер-слайдов проводилось на световом микроскопе марки SK14 (увеличение $\times 100$) и включало определение основных родов ископаемых диатомовых водорослей и качественного гранулометрического состава терригенной составляющей осадков. С шагом 0,5 см измерена магнитная восприимчивость (МВ) отложений с использованием поверхностного зонда марки Bartington GT-2. МВ – это величина, характеризующая способность вещества намагничиваться в магнитном поле.

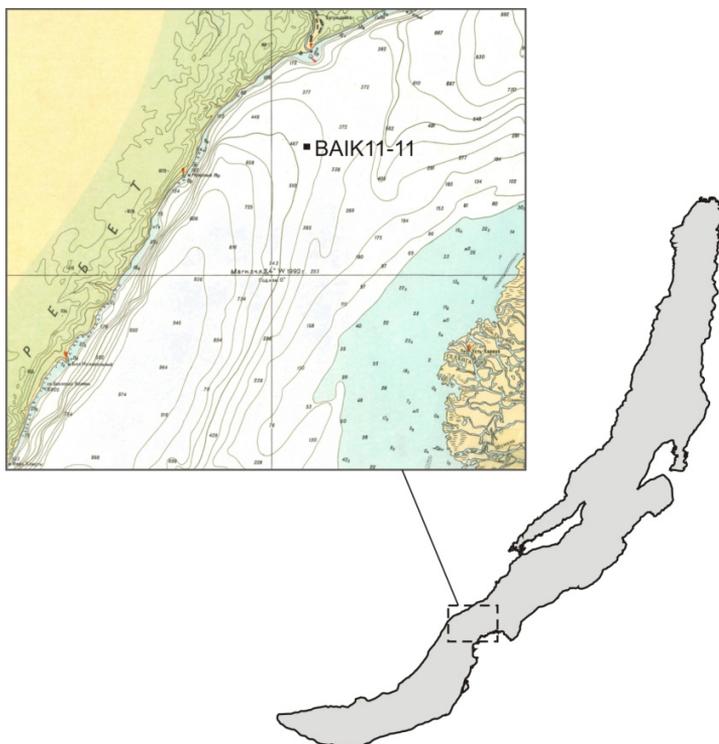


Рис. 1. Схема Бугульдейской перемычки с точкой отбора колонки донных отложений

Данный метод является высокоэффективным для диагностики байкальских осадков и широко применяется нами. В частности, МВ байкальских турбидитов значительно выше, чем вмещающих их пелагических илов. Это связано как с уменьшением роли биогенного немагнитного материала, так и с более крупнозернистым составом и повышенным содержанием минералов тяжелой фракции в турбидитовых слоях [12; 15]. С высокой детальностью (шаг опробования – 1,0 см) проведены диатомовый (результаты изложены в работе [4]) и палинологический анализы отложений. Органическая часть, содержащая пыльцу и споры, отделялась кипячением в 10%-ном растворе едкого калия (КОН) с последующей мацерацией в тяжелой кадмиевой жидкости. В семи пробах из этой колонки проанализирован гранулометрический состав. При этом глинистая фракция была выделена методом отмучивания, а песчано-алевритовый материал рассеян на ситах. Исследован минеральный состав фракции 0,25–0,05 мм. Минералы легкой и тяжелой фракций, разделенные в бромформе, изучены в иммерсионных препаратах на микроскопе МИН-8.

Результаты и обсуждение

Литологическая характеристика осадков колонки ВАК11-11. Отложения представлены биогенно-терригенными илами (рис. 2). Биогенная часть илов состоит главным образом из створок диатомей, реже – из цист золотистых водорослей и спикул губок. Доминирующий комплекс диатомей представлен планктонными видами, характерными для позднего голоцена. Общее содержание планктонных диатомей в разрезе достигает 102,4–300,4 млн створок на грамм сухого осадка (млн ств./г); бентосных – 0,9–4,0 млн ств./г (0,4–2,1 %). В осадках прослеживается влияние речного стока, отмечается незначительное присутствие древних переотложенных видов миоцен-плейстоценового возраста [4]. Терригенная составляющая представлена глинами и минеральными зёрнами алевритовой и песчаной размерности. Верхняя часть колонки окислена. Окисленные осадки имеют темно-коричневый цвет, мощность окисленной зоны составляет 2 см (см. рис. 2).

Магнитная восприимчивость варьирует по разрезу (см. рис. 2). В самой верхней части колонки (0–2 см) МВ имеет минимальные значения – от $1 \cdot 10^{-6}$ ед. до $14 \cdot 10^{-6}$ ед. Максимальные значения МВ отмечаются в интервале 3–13,5 см и достигают $84 \cdot 10^{-6}$ ед. Ниже по разрезу эта величина не превышает $30 \cdot 10^{-6}$ ед.

Данные гранулометрического анализа отложений колонки ВАК11-11 показаны в табл. 1. Осадки состоят главным образом из пелита (от 63,8 до 78,2 %) с примесью алеврита (от 16,8 до 29,0 %) и небольшой примесью песка (от 4,0 до 10,5 %). Песок представлен преимущественно тонкозернистыми разностями (до 9,8 %), мелкозернистый материал не превышает 1,0 %. В интервалах 10–15 и 20–25 см отмечается среднезернистый песок (0,7 и 0,6 % соответственно). Для этих интервалов также характерен повышенный выход минералов тяжелой фракции – 1,2 и 3,8 % соответственно (см. табл. 1). Высокие значения МВ в интервале 3–13,5 см колонки,

очевидно, связаны с повышенными содержаниями здесь песчаной примеси и минералов тяжелой фракции. При скорости современного осадконакопления 0,86 мм/год [3] возраст осадков на глубине 13,5 см составляет 156 лет, что близко ко времени возникновения катастрофического Цаганского землетрясения 12 января 1862 г. ($M = 7,5$), в результате которого в пределах дельты р. Селенги, на месте Цаганской степи, образовался залив Провал [7; 13]. Землетрясение сопровождалось значительным опусканием и затоплением большого участка дельты общей площадью $\sim 200 \text{ км}^2$ [7].

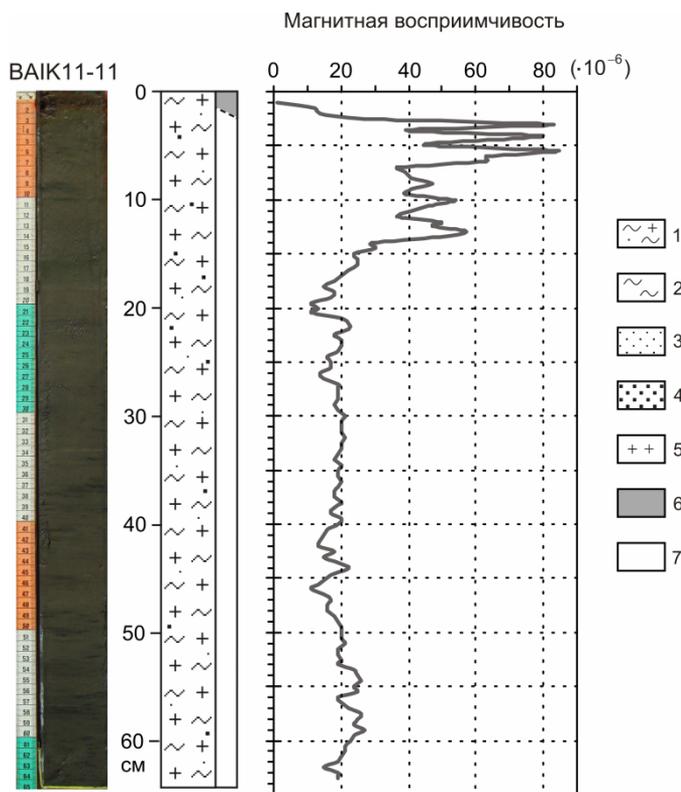


Рис. 2. Фотография, литологическое строение разреза и магнитная восприимчивость осадков, отобранных на Бугульдейской перемычке (колонка ВАИК11–11).

Условные обозначения. Литологическая характеристика (левый столбец): 1 – биогенно-терригенный ил; 2–4 – типы осадков (фракции): 2 – пелит, 3 – алевроит, 4 – песок; 5 – диатомеи. Правый столбец: 6 – окисленные осадки, 7 – восстановленные осадки

Вполне возможно, что Цаганское землетрясение могло спровоцировать повышенное поступление терригенной составляющей (в частности, песчаной примеси) в донные осадки Бугульдейской перемычки. Данный вывод носит предварительный характер и требует дополнительного исследования. Стоит отметить, что за последующее столетие в районе исследования отмечалось еще несколько сильных землетрясений (1871, 1885, 1903, 1959 гг., $M = 6,5\text{--}6,8$) [9]. Кроме того, во второй половине XIX в. в бассей-

не р. Селенги произошло два мощных наводнения – в 1869 и 1897 гг. Во время первого из них уровень оз. Байкал поднялся на 2 м [10], во время второго – на 1 м [16]. Во второй половине XX в. уровень оз. Байкал повысился после строительства Иркутской ГЭС. В этот промежуток времени произошло затопление и подтопление пониженных прибрежных и дельтовых речных зон побережья Байкала, при этом наибольшие площади были затоплены в дельте р. Селенги – более 350 км² [8]. Все перечисленные факторы могли способствовать увеличению объемов терригенного материала, поступающего в район Бугульдейской перемычки. Это в особенности касается сильных наводнений на р. Селенге, обеспечивающей основной приток твердого стока во впадину оз. Байкал [11].

Таблица 1

Гранулометрический состав донных осадков Бугульдейской перемычки (колонка ВАК11-11)

Интервал, см	Песок, %			Алеврит, %	Пелит, %	Выход тяжелой фракции, %
	ср.	м.	т.			
0–5	–	1,0	3,0	16,8	78,2	0,6
10–15	0,7	0,9	7,3	17,3	73,3	1,2
20–25	0,6	1,0	5,0	29,0	63,8	3,8
30–35	–	0,7	9,8	23,8	65,4	0,3
40–45	–	0,5	5,9	21,8	71,4	0,2
50–55	–	0,5	6,4	27,0	65,6	0,3
60–64,3	–	0,6	4,5	21,0	73,3	0,7

Примечание: ср. – средний, м. – мелкий, т. – тонкий.

Минеральный состав песчаной (0,25–0,05 мм) фракции донных осадков приведен в табл. 2 и 3. Преобладают минералы легкой фракции: кварц, плагиоклаз, калиевые полевые шпаты, слюды (биотит, мусковит). В незначительных количествах в легкой фракции присутствуют вивианит (до 0,4 %), графит (единичные знаки), спикулы губок (до 0,8 %), углефицированные растительные остатки (до 0,4 %) и хлорит (единичные знаки в интервале 0–5 см). Во всех пробах наблюдается большое количество створок диатомей (16,8–58 %) и слюдисто-глинистых агрегатов (40,4–70,4 %). Последние характерны для байкальских отложений и образуются при коагуляции глинистого материала [14]. Тяжелая фракция представлена магнетитом (11,8–51,6 %), пиритом (0,2–47,6 %), гётитом (3–42,4 %), ильменитом (1,6–16,6 %), гематитом (1,2–12 %), эпидотом (1,2–10,2 %), амфиболами (главным образом роговой обманкой; 1–9,2 %), гранатом (0,8–7,4 %), сфеном (1–7 %), пироксенами (0,2–3,6 %), турмалином (0–2,2 %), цирконом (0,2–1,2 %), лейкоксеном (0–1 %). В незначительных количествах (менее 1 %) присутствуют апатит, метеориты, биотит, рутил, брукит, ставролит, силлиманит.

Таблица 2

Состав и содержание (%) легкой фракции в донных осадках
Бугульдейской перемычки (колонка ВАК11-11)

Состав	Интервал, см						
	0–5	10–15	20–25	30–35	40–45	50–55	60–64,3
Кварц	13,2	7,2	4,0	2,8	2,0	0,8	3,2
Плагиоклазы	3,2	0,8	2,0	1,2	0,4	0,4	2,4
Калишпаты	0,4	0,4	0,8	редкие зерна	редкие зерна	редкие зерна	0,8
Биотит	4,0	1,6	0,4	1,2	0,8	0,4	1,6
Мусковит	1,6	0,4	–	0,4	0,4	–	0,4
Графит	редкие зерна	редкие зерна	–	–	–	–	–
Углефицированные растительные остатки	редкие зерна	0,4	редкие зерна	–	–	редкие зерна	редкие зерна
Вивианит	–	редкие зерна	0,4	0,4	0,4	редкие зерна	–
Хлорит	редкие зерна	–	–	–	–	–	–
Агрегаты	60,8	60,4	70,4	52,4	49,6	40,4	68,0
Диатомовые	16,8	28,8	22,0	40,8	46,4	58,0	23,2
Спикулы	редкие зерна	–	–	0,8	–	редкие зерна	0,4

Таблица 3

Минеральный состав и содержание (%) минералов тяжелой фракции
(0,25–0,05 мм) в донных осадках Бугульдейской перемычки (колонка ВАК11-11)

Минералы*	Интервал, см						
	0–5	10–15	20–25	30–35	40–45	50–55	60–64,3
Магнетит	40,0	40,8	51,6	27,8	16,0	17,6	11,8
Ильменит	13,8	5,4	1,6	11,6	16,6	5,6	7,2
Группа гранатов	7,2	2,0	0,8	7,4	4,4	3,0	1,6
Циркон	1,2	0,2	0,2	1,0	1,0	0,8	1,2
Сфен	7,0	3,2	1,0	5,8	2,8	1,8	3,4
Лейкоксен	0,4	0,6	–	1,0	–	0,6	0,2
Группа амфиболов	4,2	1,6	1,0	9,2	1,0	8,0	1,8
Группа пироксенов	1,2	1,0	0,4	3,6	0,2	3,0	0,8
Группа эпидота	8,0	5,0	1,6	9,0	1,2	10,2	5,4
Апатит	редкие зерна	0,2	–	0,6	–	0,4	0,4
Пирит	0,2	1,4	3,4	4,2	47,6	42,0	21,4
Гематит	3,0	12,0	10,6	6,0	4,6	1,2	1,6
Гётит	12,2	26,0	27,0	9,8	3,0	3,0	42,4
Турмалин	0,6	0,2	–	2,2	0,2	2,0	0,4
Рутил	редкие зерна	–	0,2	0,4	0,2	–	–
Биотит	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2
Метеориты	0,6	редкие зерна	редкие зерна	редкие зерна	0,6	0,2	–

* *Примечание:* в незначительных количествах (до 0,2 %) присутствуют брукит, ставролит, силлиманит.

Палинологический анализ керна ВАК11-11 (рис. 3) показал следующее. Содержание пылицы и спор колеблется от 905 до 1360 зерен. В целом для вскрытых осадков характерно преобладание пылицы деревьев, особенно сосны обыкновенной, незначительное участие спор (1–5%), присутствие зеленых водорослей (*Pediastrum sp.*). На некоторых глубинах встречены переотложенные неогеновые формы.

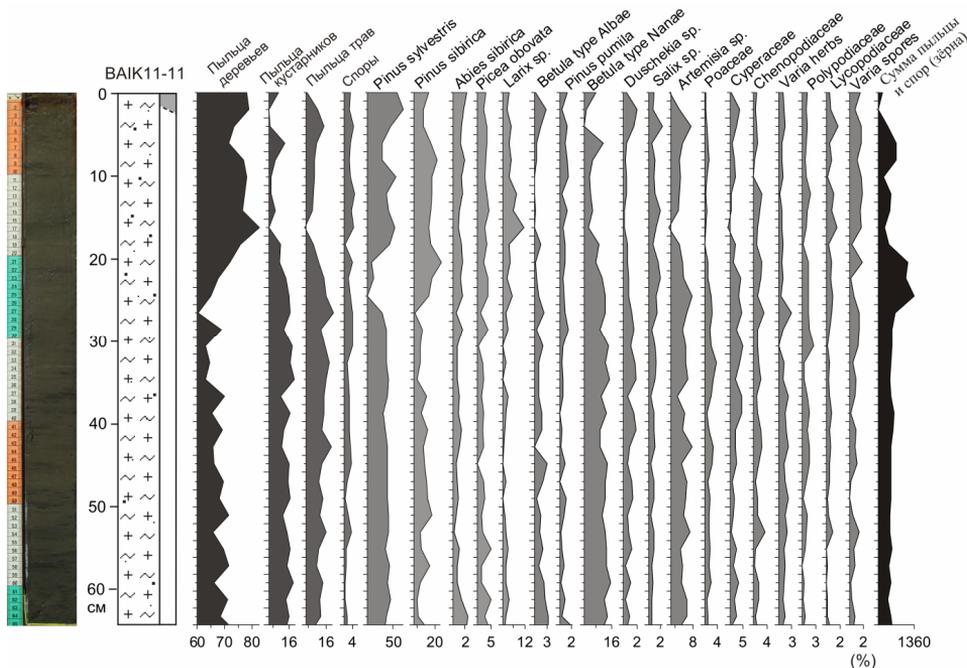


Рис. 3. Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений Бугульдейской перемычки (колонка ВАК11-11). Условные обозначения к литологической колонке см. на рис. 2

Вариации количественных соотношений среди сопутствующих сосне обыкновенной видов позволяют выделить три зоны:

1. 0–20 см. *Larix sp.*, *Pinus sibirica* – *Pinus sylvestris*. Для первой зоны характерно доминирование пылицы деревьев (до 83%), в частности сосны обыкновенной (44–55%), ей сопутствуют сосна сибирская или кедр (13–21%), лиственница (3–12%), ель, пихта. Большую часть пылицы кустарников (6–14%) составляют кустарниковые березы, трав (7–15%) – полынь, осоковые, маревые.

2. 21–26 см. *Pinus sylvestris* – *Pinus sibirica*. Кратковременный эпизод изменений в спектрах второй зоны фиксируется по некоторому увеличению числа пылицы сосны сибирской (16–23%) среди темнохвойных деревьев, уменьшению лиственницы. На данный интервал приходится максимум числа пылицы и спор.

3. 27–64,5 см. *Betula type Nanae*, *Pinus sibirica* – *Pinus sylvestris*. Ведущее положение пылицы древесных пород сохраняется (60–72%) за счет

сосен обыкновенной (45–48 %) и сибирской (8–18 %) с примесью ели, пихты, древовидных берез. Увеличивается число пыльцы кустарников (12–19 %), особенно кустарниковых берез, и трав (11–19 %) – полынь, осоковые, маревые, злаковые и другое разнотравье. Содержание пыльцы по интервалу достаточно выдержано, что, возможно, свидетельствует об относительно стабильных условиях для развития растительности.

Известно, что формирование спектров происходит за счет сноса пыльцы и спор продуцируемыми растениями с прилегающих к объекту изучения территорий. Современная горно-таежная растительность долины р. Бугульдейки представлена лиственничными, сосново-лиственничными, кедрово-лиственничными, реже пихтово-кедровыми лесами [1]. Лиственница является основной лесообразующей породой. Наличие пыльцы лиственницы даже в незначительных количествах (ввиду плохой сохранности ее пыльцы) указывает на присутствие в составе лесов.

Судя по спектрам, в растительном покрове за время накопления осадков преобладали те же виды деревьев, что и в современных лесных формациях. На склонах гор росли сосновые, лиственнично-сосновые с кедром, на равнинных участках – лиственничные с участием пихты и ели. К лесным доминантам примешивались березы, в кустарниковом подлеске росли березки, душикия, ива, в травяном ярусе – лугово-степные сообщества. В позднем голоцене в Прибайкалье формируется два ведущих современных комплекса – темнохвойный из сосны сибирской с участием пихты, ели и светлохвойный из сосны обыкновенной и лиственницы с редкой примесью берез [2; 5]. Полученные данные вполне сопоставимы с имеющимися материалами по Прибайкалью для позднего голоцена.

Заключение

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Осадки, отобранные на Бугульдейской перемычке, сформировались в спокойных условиях седиментации, на что указывает отсутствие турбидитов в разрезе.

2. Данные диатомового и палинологического анализов свидетельствуют о позднеголоценовом возрасте изученных отложений.

3. Минеральный состав песчаной фракции в целом аналогичен такому в отложениях Южного Байкала.

4. Максимальные значения МВ в интервале 3–13,5 см разреза связаны с повышенными содержаниями здесь песчаной примеси и минералов тяжелой фракции. Причиной повышенного содержания терригенной составляющей (и, в частности, песчаной примеси) на глубине 13,5 см, возможно, следует считать катастрофическое землетрясение 12 января 1862 г. ($M = 7,5$). Столь мощное сейсмическое событие, безусловно, могло спровоцировать повышенное поступление терригенного материала в водную толщу, его перенос и переотложение в районе Бугульдейской перемычки. Последующие сильные землетрясения наряду с крупными наводнениями на р. Селенге также способствовали более интенсивному привносу твердого материала в район исследования. Для окончательного подтверждения

этого вывода и уточнения количественных оценок объемов поступления терригенного материала необходимы дальнейшие детальные исследования.

Работа выполнена при частичной поддержке интеграционного проекта СО РАН и ДВО РАН № 34.

Список литературы

1. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2004. – 90 с.
2. Безрукова Е. В. Палинология позднеледниковых и голоценовых отложений озера Байкал / Е. В. Безрукова // География и природные ресурсы. – 1998. – № 3. – С. 54–61.
3. Вологина Е. Г. Типизация голоценовых отложений и районирование бассейна озера Байкал / Е. Г. Вологина, М. Штурм // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 8. – С. 933–940.
4. Вологина Е. Г. Биостратиграфия голоцен-позднеплейстоценовых осадков подводных возвышенностей Байкала / Е. Г. Вологина, С. С. Воробьева, Н. В. Кулагина // Стратиграфия осадочных образований верхнего протерозоя и фанерозоя : тез. докл. и станд. сообщений Междунар. науч. конф. – Киев, 2013. – С. 35–37.
5. Высокоразрешающая осадочная запись по керну глубоководного бурения на Посольской банке в озере Байкал (BDP-99) / Е. Безрукова [и др.] // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 2. – С. 163–193.
6. Глубоководное бурение на Байкале – основные результаты / М. И. Кузьмин [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 1–2. – С. 8–34.
7. Голенецкий С. И. Макросейсмические проявления катастрофического Цаганского землетрясения 1862 г. на Байкале // Физика земли. – 1996. – № 11. – С. 3–13.
8. Динамика берегов озера Байкал при новом уровненом режиме / А. В. Пинегин [и др.]. – М. : Наука, 1976. – 88 с.
9. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М. : Наука, 1977. – 535 с.
10. Орлов А. П. Сообщение о бывших в 1869 г. чрезмерных наводнениях в Забайкальской области // Изв. Сиб. отдела Император. Рус. геогр. о-ва. – 1870. – Т. 1, № 1. – С. 12–22.
11. Потёмкина Т. Г. Баланс наносов в дельте Селенги и их распространение в Байкале / Т. Г. Потёмкина, В. А. Фиалков // Водные ресурсы. – 1993. – Т. 20, № 6. – С. 689–692.
12. Результаты седиментологических исследований голоценовых отложений Южной и Средней котловин озера Байкал (на примере скважины BDP-97 и колонковых трубок) / Е. Г. Вологина [и др.] // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 4. – С. 401–413.
13. Сгибнев А. С. О бывшем в Иркутской губернии и Забайкальской области землетрясении. Отчет о действиях Сибирского отдела Императорского русского географического общества за 1863 г. // Записки Император. Рус. геогр. о-ва. Кн. 1. Прил. 1. – СПб. : Тип. В. Безобразова, 1864. – С. 8–25.
14. Сопоставление состава и геохимических особенностей коренных пород и твердого стока крупных рек водосборного бассейна озера Байкал / И. С. Ломоносов [и др.] // Геология и геофизика. – 2001. – № 1–2. – С. 278–297.
15. Identifying sedimentation patterns in Lake Baikal using whole core and surface scanning magnetic susceptibility / J. A. Lees [et al.] // Journal of Paleolimnology. – 1998. – N 20(2). – P. 187–202.

16. Kadetova A. V. The catastrophic flood in Transbaikalia (Central Asia) in 1897: case study / A. V. Kadetova, Y. B. Radziminovich // Natural Hazards. – 2014. – Vol. 72, N 2. – P. 423–441.

Characteristic of Surface Sediments of Bugul'deika Ridge of Lake Baikal

E. G. Vologina, N. V. Kulagina

Abstract. Surface sediments recovered at a depth of 450 m on Bugul'deika Ridge of Lake Baikal were investigated. The deposits were formed in relatively calm conditions of sedimentation, as indicated by the absence of turbidites in the core. Palynological spectra correspond to Late Holocene vegetation. Mineral composition of sand fraction as a whole is similar to that in the sediments of the Southern Baikal. The maximum values of magnetic susceptibility in the intervals timed to the tops of column associated with high contents of sand admixture and heavy minerals.

Keywords: Lake Baikal, Bugul'deika Ridge, sedimentation, biogenic-terrigenous muds, magnetic susceptibility, grain size composition, minerals, pollen and spores.

Вологина Елена Геннадьевна
кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42-69-00

Vologina Elena Gennadievna
Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy)
Senior Research Scientist
Institute of the Earth's Crust SB RASS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42-69-00

Кулагина Наталья Валентиновна
кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42-69-00

Kulagina Natalia Valentinovna
Candidate of Sciences (Geology and
Mineralogy)
Senior Research Scientist
Institute of the Earth's Crust SB RASS
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42-69-00