

СТРОЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ПОДВОДНОГО АКАДЕМИЧЕСКОГО ХРЕБТА (озеро Байкал)

О. М. Хлыстов, В. Д. Мац, С. С. Воробьева, А. В. Климанский,
М. де Батист*, С. Черамикола*

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

** Центр морской геологии, Гентский университет, г. Гент, Бельгия*

Академический хребет — подводный сегмент межвпадинной перемычки, отделяющей более молодую Северо-Байкальскую впадину (мощность земной коры 42—44 км) от древней Центральной (мощность земной коры — 35 км). Его изучение имеет ключевое значение для расшифровки структуры и истории развития Байкальского рифта, а также для палеоклиматических реконструкций. В структуре хребта выделены Северо-Западный (поднятый) и Юго-Восточный (опущенный) блоки. Одноканальным непрерывным сейсмопрофилированием высокого разрешения установлены важные детали строения Северо-Западного блока, где в разрезе осадочного чехла выделены нижне-, среднемиоценовая толща „А“ и верхнемиоцен—плиоцен—четвертичная толща „В“, разделенные угловым и азимутальным несогласием.

Полученные данные позволили предложить палеогеографический сценарий Академического хребта, который до среднего миоцена выступал в качестве сухопутного поднятого плеча Центрально-Байкальской впадины. Позднее шло его разрушение сбоку и сверху, но отдельные острова суши сохранялись на его месте почти до конца плейстоцена.

Рифт, подводный Академический хребет, осадки, разломы, история, Байкал.

STRUCTURE AND EVOLUTION OF THE UNDERWATER AKADEMICHESKY RIDGE (Lake Baikal)

O. M. Khlystov, V. D. Mats, S. S. Vorob'eva, A. V. Klimanskii, M. de Batist, and S. Ceramicola

The Akademichesky Ridge is an underwater segment of the interbasinal uplift that separates the younger North-Baikal basin, underlain with 42-44 km thick crust, and the older Central-Baikal basin (crust thickness 35 km). Studies of the ridge may provide a clue for the structure and evolution of the Baikal Rift and for the history of paleoclimates. The ridge includes a northwestern (uplifted) and a southeastern (subsided) blocks. High-resolution single-channel continuous seismic profiling of the northwestern block imaged two major units of its sedimentary cover, a Lower-Middle Miocene (A) and an Upper Miocene-Pliocene-Quaternary (B) sequences, separated by angular and azimuthal unconformity.

The paleogeographic scenario of the ridge evolution based on these data suggests that till the Middle Miocene it had been a land uplift bounding the Central-Baikal basin. Later on, it became destroyed from aside and from above, but isolated isles of land persisted nearly as long as the late Pleistocene.

Rift, underwater Akademichesky Ridge, sediments, faults, evolution, Baikal

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы выполнены значительные объемы международных междисциплинарных исследований подводного Академического хребта. Интерес к нему обусловлен ключевым значением этой морфоструктуры в строении Байкальского рифта и оптимальными условиями для проведения здесь палеоклиматических реконструкций. Общие особенности строения Академического хребта даны в работах [1—9]. В 1995—1996 гг. Бельгийско-Российской экспедицией проведено детальное одноканальное непрерывное сейсмопрофилирование (НСП) высокого разрешения. Пройдено 400 км профилей и получены высококачественные материалы, позволяющие существенно уточнить, а частью по-новому осветить строение и развитие Академического хребта, в основном его Северо-Западного блока (СЗБ). Технические характеристики использованной аппаратуры приведены в статье [10].

Академический хребет — подводный сегмент межвпадинной перемычки, разделяющей Северную и Центральную впадины. Ее наземный сегмент образован блоком о. Ольхон (рис. 1). Расшифровка развития Академического хребта требует привлечения данных наземных геологических исследований. В предлагаемой статье кратко изложены основные результаты изучения Бельгийско-Российской экспедицией подводного Академического хребта с использованием данных наземных исследований, ранее изложенных в [4, 11—16], и результатов многоканального непрерывного сейсмопрофилирования МОВ ОГТ [1, 3, 5], а также подводных геологических исследований [2] и глубоководного бурения [8, 9].

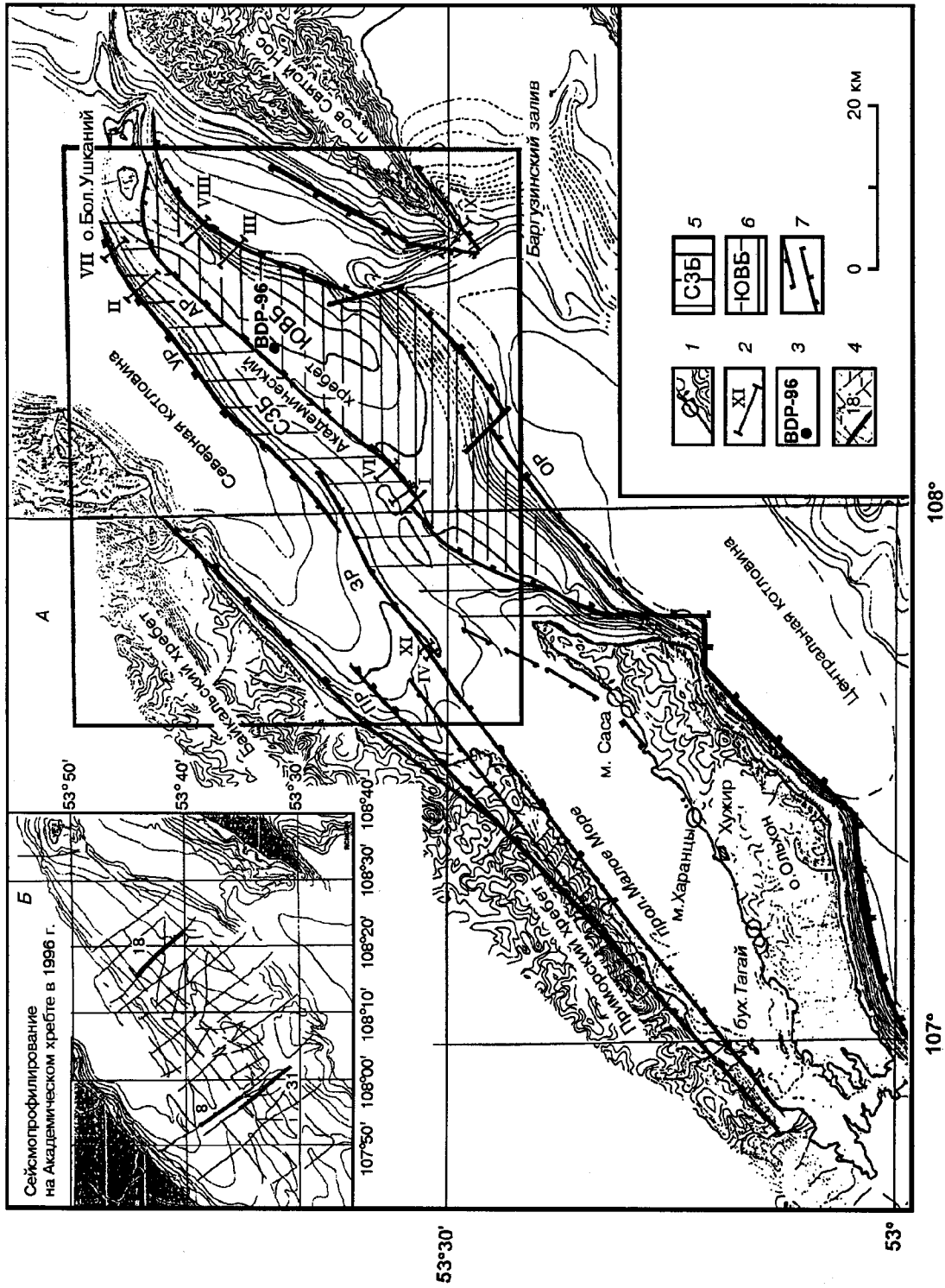


Рис. 1. Обзорная карта (А) межвпадинной перемычки о. Ольхон—подводный Академический хребет и карта фактического материала (Б). 1 — опорные разрезы о. Ольхон; 2 — номера маршрутов ПОА „Пайсис“; 3 — скважина глубоководного бурения и ее номер; 4 — маршруты НСП и их номера, утолщенными линиями отмечены части маршрута, показанные на рис. 2; 5 — СЗБ — Северо-Западный блок; 6 — ЮВБ — Юго-Восточный блок; 7 — разломы: AP — Академический, УР — Ушканский, ЗР — Зундукский, ОР — Ольхонский, ПР — Приморский.

СТРОЕНИЕ АКАДЕМИЧЕСКОГО ХРЕБТА

Академический хребет — тектонический блок, ограниченный с юго-востока Ольхонским разломом (ОР), который разделяет блоки литосферы с разной мощностью земной коры [17] и отделяет более молодую [2, 3] Северо-Байкальскую впадину (мощность земной коры 42—44 км) от Центральной (мощность земной коры 35 км). С северо-запада Академический хребет ограничен второстепенным Ушканским разломом (УР). Рельеф хребта асимметричен [2], еще более резко асимметрия выражена в структуре кровли фундамента [1].

Продольным дугообразным в плане Академическим разломом (АР) Академический хребет делится на Юго-Восточный (ЮВБ) и Северо-Западный (СЗБ) блоки второго порядка (см. рис. 1). Местами зона АР осложнена тектоническими ступенями, перекрытыми маломощным осадочным чехлом. На юго-западном и северо-восточном концах АР примыкает к ОР, при этом поднятие оконечности о. Ольхон и архипелаг Ушканьих о-вов входят в состав СЗБ. Структура блоков осложнена продольными, диагональными и поперечными разрывами.

Юго-Восточный блок глубоко опущен по АР, мощность покрывающих его осадков достигает 1—1,5 км, в связи с чем однокональным сейсмопрофилированием его строение не может быть полностью выявлено и приводимые характеристики основаны главным образом на материалах МОВ ОГТ, изложенных в ряде публикаций [1—3, 5]. Фундамент ЮВБ нарушен системой продольных блоков-пластин, ступенчато опущенных к Центральной впадине. Осадочная толща залегает на коре выветривания фундамента [2]. Структура чехла осложнена разрывами, смятиями. Возраст базальных слоев верхнемиоценовый [2], что согласуется с возрастом осадков южносвятоносской свиты, известной на п-ове Святой Нос [18], но на наиболее опущенных ступенях осадки могут быть древнее — ниже- и среднемиоценовые. Разрез осадочной толщи до глубины 300 м вскрыт скв. ВDP-96. Изученный 200-метровый интервал керна достиг низов плиоцена (около 5 млн лет), а средняя скорость осадконакопления определена в 4 см/тыс. лет [8, 9].

Северо-Западный блок поднят по АР, мощность осадков на нем меняется от близкой к нулю до первых сотен метров. Рельеф поверхности дна и поверхности фундамента осложнен рядом поднятий и понижений. Высшие точки СЗБ обычно непосредственно примыкают к зоне АР. Поверхность дна озера и фундамента этого блока полого погружаются к северо-западу, т. е. к осевой зоне Северо-Байкальской впадины, где их мощность более 350—400 м (т. е. более, чем разрешающая способность использованной нами аппаратуры). Осадки СЗБ залегают на коре выветривания [2], которая формировалась в наземных условиях, что доказывается наличием в ней окремненных фитоолитов, обнаруженных в наших образцах профессором G. Stoops (устное сообщение).

Осадочная толща (СЗБ) расчленяется на две: „А“ и „В“*, разделенные угловым (рис. 2,а) и азимутальным несогласием, что устанавливается по отчетливо видному в ряде случаев залеганию слоистости в толще „А“ и „В“ с разными углами наклона, причем нередко слои в доперерывной толще „А“ лежат положе (см. рис. 2,а). Последнее свидетельствует, что имеет место не только угловое, но и азимутальное несогласие. Толща „А“ характеризуется хаотичным расположением отражений, но со слабо распознающимися маломощными слоями. Акустический сигнал в этой толще прерывистый, низкоамплитудный, с переменной частотой. В плане толща „А“ не образует сплошного покрова. Она залегает в небольших полуграбенах с наклонной поверхностью и в денудационных понижениях, в ее основании видно трансгрессивное подошвенное прилегание и по восстанию кровли фундамента на его поверхность ложатся все более молодые слои. В целом слоистость то субпараллельна поверхности фундамента, то наклонена навстречу.

Толща „В“ сплошным чехлом переменной мощности перекрывает толщу „А“, то непосредственно фундамент и его кору выветривания (см. рис. 2). Для нее характерно параллельное, субпараллельное и расходящееся расположение отражений. Сигнал непрерывный, высокоамплитудный, низкочастотный. Слои параллельны поверхности фундамента и поверхности дна озера и полого наклонены в сторону оси Северо-Байкальской впадины (см. рис. 2,в). На фундамент толща ложится с контактом трансгрессивного подошвенного прилегания. Мощность ее сокращается по восстанию фундамента за счет сжатия расстояний между рефлекторами (уменьшение мощности слоев) и выпадения из разреза нижних слоев и на вершинную зону СЗБ ложатся наиболее молодые слои (они вскрыты грунтовыми трубками и детально изучены [6]), а мощность толщи сокращается до первых метров. Указанные соотношения свидетельствуют о конседиментационном развитии поднятия фундамента и синрифтовой седиментации толщ „А“ и „В“. Наряду с этим видны примеры пассивного заполнения понижений фундамента, где субгоризонтально лежащие слои выклиниваются, примыкая к неровностям фундамента.

* Разделение на толщи „А“ и „В“ применено в данной работе только для обозначения сейсмостратиграфических единиц, выделенных нашими исследованиями, и их объем не соответствует объему толщ А и В в работе [5].

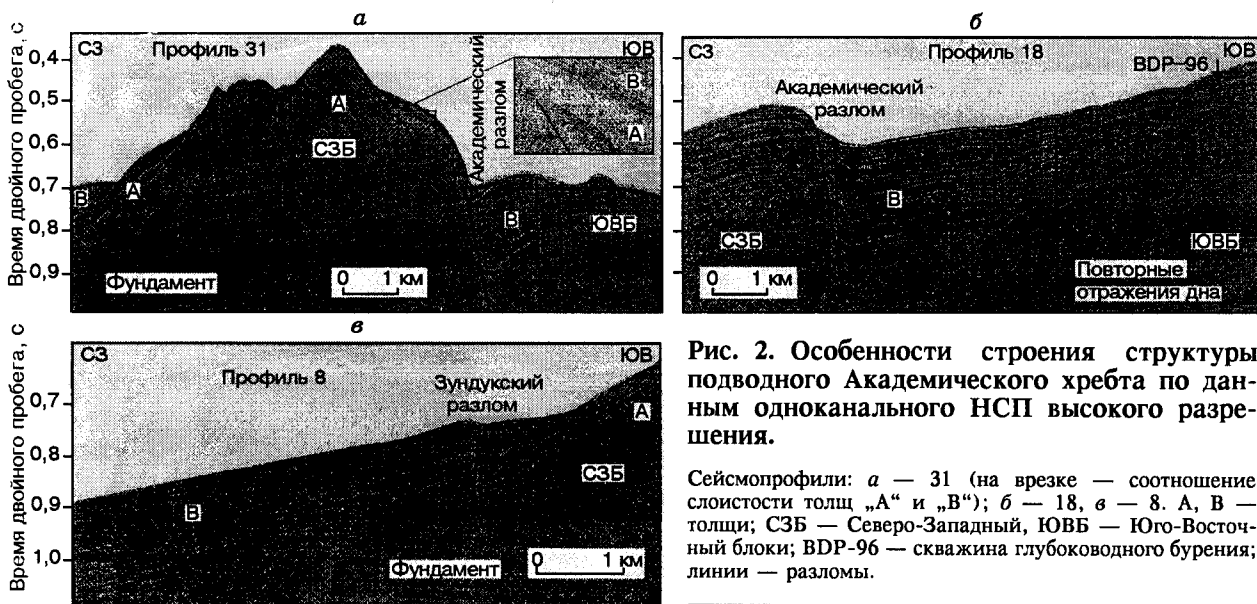


Рис. 2. Особенности строения структуры подводного Академического хребта по данным одноканального НСП высокого разрешения.

Сейсмопрофили: а — 31 (на врезке — соотношение слоистости толщ „А“ и „В“); б — 18, в — 8. А, В — толщи; СЗБ — Северо-Западный, ЮВБ — Юго-Восточный блоки; BDP-96 — скважина глубоководного бурения; линии — разломы.

Академический разлом, разделяющий описанные блоки, имеет шарнирный характер. Его амплитуда максимальна на С-З и С-В окончаниях, т. е. на участках, прилегающих к о. Ольхон и архипелагу Ушканьих о-вов. Высота эскарпа здесь достигает 300 м, на эскарпе обнажен кристаллический фундамент, мощность осадков сокращается и поля осадков ЮВБ и СЗБ пространственно разобщены (см. рис. 2,а). Между этими зонами высота эскарпа понижается до 20 м и уступ целиком сложен осадочной толщей, соединяющей в одно поле осадки ЮВБ и СЗБ (см. рис. 2,б). Соответственно мощность осадочного чехла за счет толщи „В“ возрастает на этом участке до 300—350 м. Это указывает на наличие здесь пролива, разделявшего суходутья, продолжавшего по простиранию современных о. Ольхон и Ушканский массив и соединявшего бассейны Центральной и Северной впадин. Он был подобен проливу Малые Ворота, отделяющему на ю-в о. Ольхон от материка, и может быть назван „Палеоушканским“.

ВОЗРАСТ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО БЛОКА

Возраст толщ „А“ и „В“ может быть определен на основании сопоставления сейсмостратиграфического разреза со стратиграфическими подразделениями, выделенными на о. Ольхон [10—14] с учетом данных по скв. BDP-96 [8, 9] и результатов подводных геологических исследований [2] и стратификации колонок грунтовых трубок [6, 7]. Оставляя аргументацию за более полным изложением результатов исследований, мы сопоставляем толщу „А“ с тагайской толщей [13], возраст которой на основании обширных палеонтологических сборов определен как нижне-, среднемиоценовый [14]. Низы толщ „В“ стратиграфически соответствуют сасинской толще Ольхона, что подтверждено ее прямым прослеживанием НСП. Ее возраст по биостратиграфическим данным верхнемиоцен-нижнеплиоценовый [13]. Сопоставление толщ „А“ и „В“ с элементами ольхонского неогена подтверждается также сходством их геологических соотношений [15]. Возраст основания толщ „В“ в „Палеоушканском“ проливе, где можно корректно применить данные о скорости седиментации (4 см/тыс. лет) по ВДР-96 [9], составляет порядка 7—9 млн лет. Подобные расчеты нельзя использовать для определения возраста осадков в Северо-Байкальской впадине, где развиты турбидитные осадки и грубообломочные трансгрессивные фации. Более высокие горизонты толщ „В“, которые непрерывно наращивают разрез, должны быть отнесены к верхнему плиоцену — плейстоцену. Самые верхние слои толщ „В“, изученные по колонкам грунтовых трубок, по данным диатомового анализа и изотопных датировок отнесены к верхнему плейстоцену — голоцену [6].

РАЗВИТИЕ МЕЖВПАДИННОЙ ПЕРЕМЫЧКИ

Особенности строения перечисленных структур позволяют дополнить и уточнить палеогеографический сценарий региона в кайнозое, изложенный в [2—5, 12, 15, 19, 20]. В палеогене—раннем миоцене существовало глубоководное озеро Палеобайкал, занимавшее Южную и Центральную впадины. Большая часть Северо-Байкальской впадины (возможно, кроме северной оконечности [19])

еще не была сформирована. Палеобайкал ограничивался с запада невысокими краевыми поднятиями Среднесибирского плато, в состав которого входили Ольхонский блок и блок будущего Академического хребта. Суша блока Академического хребта смыкалась с сушей Святоносского блока. В раннем — среднем миоцене в Приольхонье, в том числе на Ольхоне, на месте будущих Малого Моря и Академического хребта, образовывались малые полуграбены, ограниченные листрическими сбросами [15]. На их поверхности возникали мелкие и средние (глубиной до первых десятков метров) озера, временами переходившие в торфяные болота. В зоне, ограниченной Ольхонским и Академическим разломами, началось последовательное опускание продольных блоков-пластин и, таким образом, граница Центральной впадины отодвигалась к западу, к эскарпу АР. Одновременно опускались западные окраины Святоносского блока, куда также с позднего миоцена продвигались воды Палеобайкала. По-видимому, в это же время стал формироваться продольный грабен, отделивший блок Академического хребта от Святоносского блока, и по нему началась трансгрессия в Северо-Байкальскую впадину. Кроме того, в средней части блока Академического хребта, в области снижения амплитуды АР, 7—9 млн лет назад (поздний миоцен) образовался Палеоушканский пролив, по которому воды Палеобайкала также поступали в Северо-Байкальскую впадину. Они затопили в том числе северную половину Маломорского опускания, включая окраину современного о. Ольхона и начали наступать на СЗБ Академического хребта, куда трансгрессия продвигалась с северо-запада. Этот длительный и многофазный процесс развития трансгрессии продолжался до конца плейстоцена и последние острова в области Академического хребта просуществовали до позднего плейстоцена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hutchinson D. R., Golmshtok A. S., Zonenshain L. P. et al. Depositional and tectonic framework of the rift basin of Lake Baikal from multichannel seismic data // *Geology*, 1992, v. 20, p. 589—592.
2. Зоненшайн Л. П., Казьмин В. Г., Кузьмин М. И. и др. Геология дна Байкала, изученная с подводных аппаратов „Пайсис“ // Докл. РАН, 1993, т. 330, № 1, с. 84—88.
3. Казьмин В. Г., Гольмшток А. Я., Клитгорд К. и др. Строение и развитие Академического хребта по данным сейсмических и подводных исследований (Байкальский рифт) // *Геология и геофизика*, 1995, т. 36, № 10, с. 164—176.
4. Agar S. M., Klitgord K. D. Rift flank sedimentation, basin initiation and propagation: a neotectonic example from Lake Baikal // *Quater. J. of the Geol. Soc. of London*, 1995, v. 152, p. 849—860.
5. Moore Jr. T. C., Klitgord K. D., Golmshtok A. J. et al. Sedimentation and subsidence patterns in the central and north basins of Lake Baikal from seismic stratigraphy // *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1997, v. 109, № 6, p. 746—766.
6. Грачев М. А., Лихошвай Е. Е., Воробьева С. С и др. Сигналы палеоклиматов верхнего плейстоцена в осадках озера Байкал // *Геология и геофизика*, 1997, т. 38, № 5, с. 957—980.
7. Grachev M., Vorobyova S. S., Likhoshway Y. V. et al. A high-resolution diatom record of the paleoclimates of East Siberia for the last 2.5 Ma from lake Baikal // *Quatern. Sci. Rev.*, 1998, v. 17, p. 1101—1106.
8. Кузьмин М. И., Грачев М. А., Вильямс Д. и др. Непрерывная летопись палеоклиматов последних 4,5 миллионов лет из озера Байкал (первая информация) // *Геология и геофизика*, 1997, т. 38, № 5, с. 1021—1023.
9. Коллектив участников проекта „Байкал-бурение“. Непрерывная запись климатических изменений в отложениях озера Байкал за последние 5 миллионов лет // *Геология и геофизика*, 1998, т. 39, № 2, с. 139—156.
10. Ceramicola S., Khlystov O., de Batist M. et al. Akademicheskyy Ridge 1995—1998: Seismic and Coring Expedition Report // *IPPCSE Newsletter*, 1999, № 12, p. 104—114.
11. Логачев Н. А., Ломоносова Т. К., Климанова В. М. Кайнозойские отложения Иркутского амфитеатра. М., Наука, 1964, 196 с.
12. Плиоцен и плейстоцен Среднего Байкала / В. Д. Мац, А. Г. Покатилов, С. М. Попова и др. Новосибирск, Наука, 1982, 192 с.
13. Мац В. Д., Воробьева Г. А., Попова С. М. и др. Стратиграфия плиоцен-четвертичных отложений Байкальской впадины и основные геологические события // *Четвертичный период: Стратиграфия (28 МГК)*. М., Наука, 1989, с. 131—138.
14. Вислобокова И. А. О парнопалых из нижнего миоцена бухты Тагай о. Ольхон (Байкал) // *Палеонтол. журн.*, 1990, № 2, с. 134—138.
15. Mats V. D. The structure and development of the Baikal rift depression // *Earth Sci. Rev.*, 1993, v. 34, p. 81—118.
16. Уфимцев Г. Ф. Морфотектоника Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, Наука, 1992, 216 с.

17. Крылов С. В., Мандельбаум М. М., Мишенькина З. Р. и др. Недра Байкала (по сейсмическим данным). Новосибирск, Наука, 1981, 105 с.
18. Мац В. Д., Корнутова Е. И., Покатилов А. Г. и др. К стратиграфии четвертичных отложений Северного Байкала // Динамика Байкальской впадины. Новосибирск, Наука, 1975, с. 258—273.
19. Логачев Н. А. Саяно-Байкальское Становое нагорье / Ред. Н. А. Флоренсов // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М., Наука, 1974, с. 16—162.
20. Бухаров А. А., Фиалков В. А. Геологическое строение дна Байкала. Взгляд из „Пайсиса“. Новосибирск, Наука, 1996, 118 с.

*Рекомендована к печати 3 сентября 1999 г.
Н. А. Берзиным*

*Поступила в редакцию
9 июля 1999 г.*