

## ГЕОГРАФИЯ

УДК 550.83(99-11)

А. Н. Ласточкин, С. В. Попов, А. М. Попков

**РЕЛЬЕФ ПОДЛЕДНИКОВОЙ КОТЛОВИНЫ ОЗ. ВОСТОК  
(ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)**

**Использованный материал и изученность района.** Советская антарктическая станция «Восток» была открыта в декабре 1957 г. во время санно-тракторного похода второй комплексной антарктической экспедиции СССР. На настоящий момент она является единственной научной внутриконтинентальной станцией России, расположенной в центральном районе Восточной Антарктиды. Ее координаты, согласно измерениям, выполненным авторами в течение летнего полевого сезона 2002/03 года (рис. 1), составляют  $78^{\circ}27,888'$  ю.ш.,  $106^{\circ}49,858'$  в.д. Станция «Восток» находится на высоте 3488 м над уровнем моря. Ближайшие расстояния до побережья составляют 1260 км, до станции «Мирный» — 1410 км, а до Южного Полюса — 1253 км.

Рассматриваемый район относится к зоне развития обширного Восточно-Антарктического ледникового щита средней мощностью около 3500 м. Ландшафт его дневной поверхности характеризуется крайним однообразием. Окрестности станции представляют собой ровное снежное плато с небольшими надувами снега высотой до 20 см. Климат территории отличается крайней суровостью по сравнению с другими регионами Земли. В течение антарктического лета (декабрь-январь) температура воздуха колеблется от  $-40$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Атмосферное давление в среднем составляет 460 мм рт. ст.

Геофизические исследования в районе станции «Восток» были начаты в ходе первых советских антарктических экспедиций (САЭ) 1957–1960 гг. Их целью являлось измерение мощности ледникового покрова и изучение подледного рельефа. В течение летнего полевого сезона 1957/58 года и последующих нескольких лет выполнялись сейсмические зондирования на станции «Восток» и вдоль маршрутов следования санно-гусеничных походов [1 и др.].

В конце 1960-х — начале 1970-х годов для определения мощности ледникового покрова и особенностей строения подледного рельефа стал применяться метод радиолокационного профилирования (РЛП). В течение летнего полевого сезона 1974/75 года сотрудники Института полярных исследований им. Скотта (Великобритания) выполнили аэрогеофизическую съемку. Ими были получены отражения, характерные для границы раздела лед—вода [2 и др.].



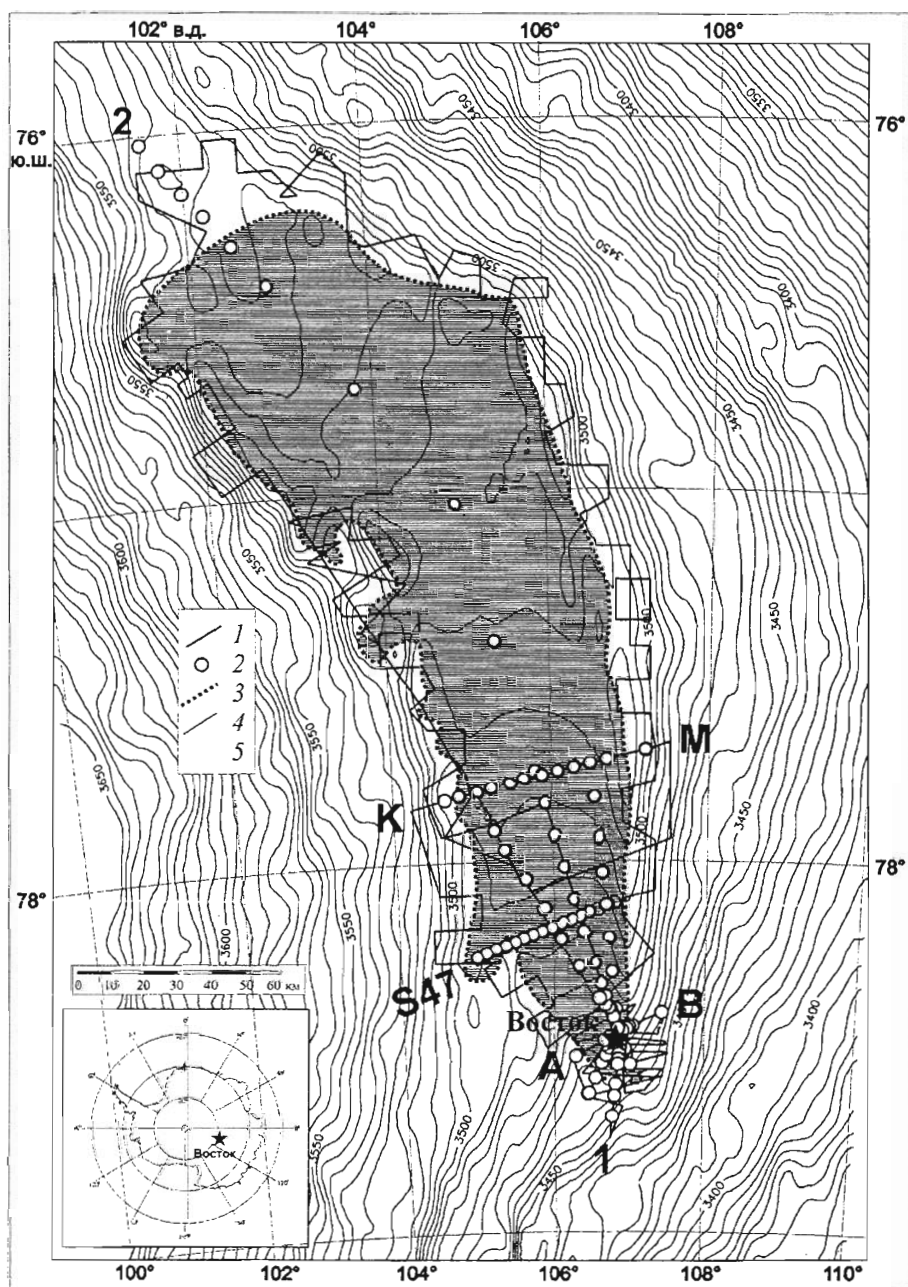


Рис. 2. Схема расположения радиолокационных профилей и пунктов сейсмических зондирований МОВ, выполненных в течение летних полевых сезонов 1995–2002 гг.

1 — положение радиолокационных профилей; 2 — положение пунктов сейсмических зондирований МОВ; 3 — граница подледникового оз. Восток (предварительно); 4 — изогипсы высот дневной поверхности (сечение изогипс 5 м); 5 — зеркало подледникового оз. Восток (предварительно).

ные сейсмические исследования методом отраженных волн (МОВ) в районе станции «Восток», а начиная с летнего полевого сезона 1998/99 года приступили к проведению наземного РЛП [7–12 и др.] (рис. 2). В результате сейсмических исследований было подтверждено предположение о существовании в районе станции подледникового водоема глубиной около 680 м. Целью дальнейших работ являлось определение размеров озера (ширины, длины, глубины), а также особенностей подледно-подводной поверхности озера и озерной котловины.

Следует отметить вклад зарубежных коллег в изучение района. В 1998/99 году аэро-радиолокационное профилирование по отдельным маршрутам было выполнено итальянскими исследователями [13], а в течение 2000/2001 года по регулярной сети маршрутов субмеридионального простирания — американскими учеными [14].

На основе российских материалов была построена гипсобатиметрическая карта подледно-подводной поверхности (рис. 3). Она позволила выявить основные черты морфологии рельефа изучаемой территории. Затем в соответствии с методикой, разработанной на кафедре геоморфологии СПбГУ [15–18 и др.], была построена первая геоморфологическая карта района [19]. Ее основу составили радиолокационные и сейсмические данные, полученные по маршрутам проведенных исследований [7–12 и др.]. В упрощенном виде она представлена на рис. 4.

Ввиду недостаточной освещенности в современной литературе методики построения карт на компьютере и особенно ее сложных разделов — гридирование разноточностных и разномасштабных данных, опишем методику построения карты подледно-подводной поверхности.

**Методика построения гипсобатиметрической карты подледно-подводной поверхности.** В течение семи лет был накоплен обширный материал для построения карты подледно-подводной поверхности дна озера и его бортов. Основная проблема заключалась в совместном гридировании данных, полученных в результате проведения разномасштабных съемочных работ.

На основании радиолокационных материалов за период 1998–2002 гг. была построена сводная карта мощности ледникового покрова изученной территории [8–12]. Исходя из детальности проведенных работ по РЛП и применению метода отраженных волн (типичные расстояния между маршрутами), расстояние между узлами грида было выбрано равным 2 км [20]. Построение грида осуществлялось в несколько этапов.

На начальном этапе был сформирован грид с размером ячейки  $2 \times 2$  км посредством интерполяции всего массива данных РЛП (ввиду однотипности упомянутого материала: единые методики проведения полевых работ и обработки материалов, масштаб съемки и аппаратный комплекс) методом Inverse distance второй степени в программе Surfer 7 (Golden Software Inc.), была выполнена оценка точности построений посредством статистического анализа разности между реальными измерениями и моделью. Гридирование осуществлялось по 468 247 точкам. Невязки располагались в пределах от  $-306$  до  $349$  м. Среднее значение составило  $-1,1$  м при стандартной ошибке  $\sigma = 47$  м.

На следующем этапе грид подвергался сглаживанию. Для этого на каждом отрезке между его узлами вставлены по две точки методом линейной интерполяции. Затем полученный новый грид был осреднен с окном  $3 \times 3$  точки ( $4/3 \times 4/3$  км), после чего он был регридирован с размером ячейки  $2 \times 2$  км. Это преобразование, с одной стороны, отрицательно сказалось на точности определения высот, с другой — рисовка горизонталей приобрела более плавную и «естественную» форму, более соответствующую реальному рельефу. Ошибки для вновь созданной модели располагались в пределах диапазона от  $-308$  до  $372$  м. Среднее значение их составило  $-1,4$  м при  $\sigma = 53$  м. На последнем этапе была осуществлена ручная корректировка грида. Его ухудшение в отношении понижения точности носит чисто символический характер (потеря точности составляет около 0,2%).

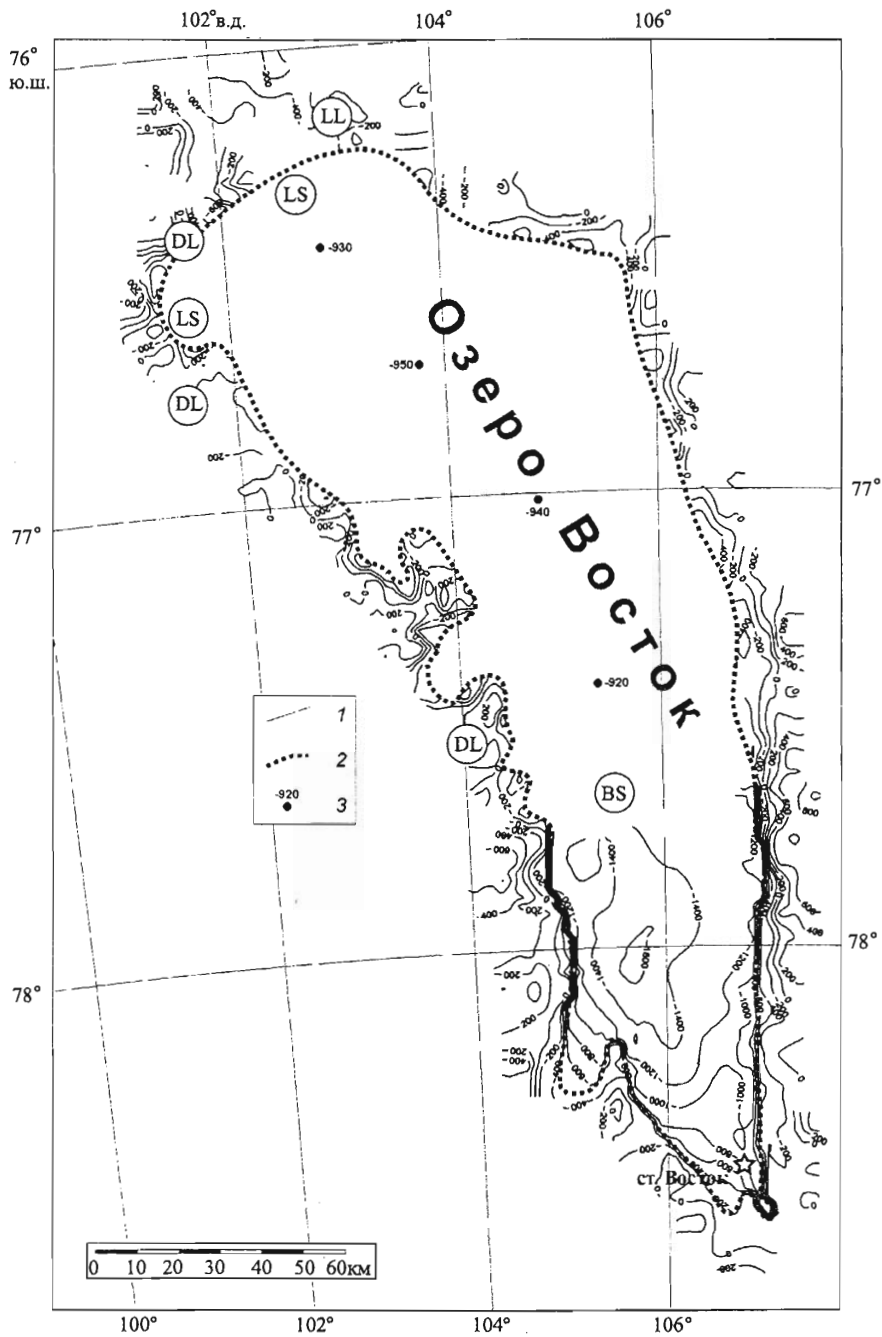


Рис. 3. Гипсобатиметрическая карта подледно-подводной поверхности района подледникового оз. Восток.

1 — изогипсы (сечение изолиний 200 м); 2 — граница подледникового оз. Восток (предварительно); 3 — отдельные пункты зондирования МОВ и абсолютные глубины поверхности дна озера.

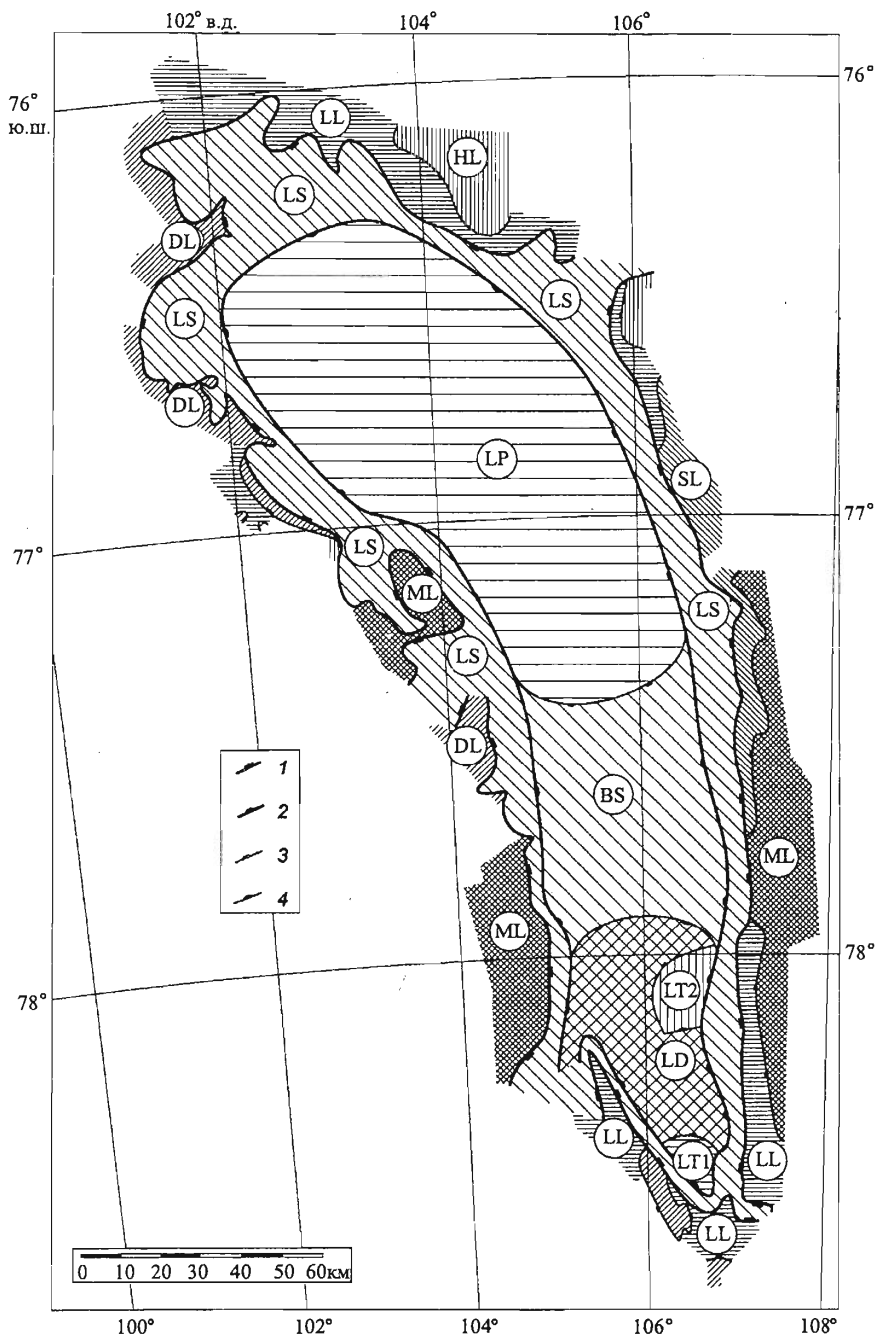


Рис. 4. Геоморфологическая схема.

1, 2 — структурные линии регионального значения: 1 —  $L_5$  (граница котловины «Восток»), 2 —  $L_6$  (граница дна котловины «Восток»); 3, 4 — структурные линии местного значения: 3 —  $L_5$  (линии выпуклых перегибов — бровки), 4 —  $L_6$  (линии вогнутых перегибов — тыловые швы). Остальное объяснение в тексте.

Полученные статистические расчеты свидетельствуют о целесообразности составления карты мощности ледникового покрова с сечением изопакит 150 м (в соответствии с правилами картопостроения  $2,5 \div 3\sigma$ ).

Положение подошвы ледника было определено путем вычитания грида мощности ледникового покрова из грида высот дневной поверхности, любезно предоставленного доктором Ф. Реми (F. Remy, Франция).

Окончательный грид, построенный по радиолокационным материалам, был регридирован по описанной выше методике с добавлением данных МОВ. При этом грид на район радиолокационной съемки изменению не подвергся.

**Рельеф подледно-подводной поверхности.** Выявляемые элементы на геоморфологической карте относятся к двум категориям: *элементарным поверхностям* и *разделяющим их структурным линиям* [15–18]. Последние, с одной стороны, являются границами площадных элементов, с другой — фиксируют формы (хребты, долинообразные понижения и др.), которые в связи со своими малыми размерами не могут быть показаны в масштабе съемки. Из содержания схемы (см. рис. 4) они исключены. Выделение и фиксация структурных линий явились *первым этапом* построения геоморфологической карты.

Имеются два принципиально различных подхода к выделению структурных линий подледно-подводной поверхности: на основе *реальных геофизических профилей* и на основе *карты изолиний* или *грида* (ее математической модели). В первом из них анализируются профили в соответствии с методикой, описанной в работах А. Н. Ласточкина [15–18 и др.], определяется положение особых точек — проекции структурных линий на плоскость профиля. Затем эти точки наносятся в план, после чего выполняется их корреляция — трассирование линейных элементов. При втором подходе структурные линии выделяются визуально по рисунку и заложению изогипс [17] либо программно — по гриду. Последний, однако, уже является некоторым осреднением исходных данных, в результате чего неизбежна частичная потеря информации либо неверное истолкование последней. Ввиду относительно малого объема данных по рассматриваемому району выделение структурных линий выполнялось по профилям с последующей корреляцией.

На профилях выделялись локальные экстремумы и точки выпуклых и вогнутых перегибов. Для упрощения их выделения и последующей корреляции была построена карта профилей, которая по техническим причинам не включена в данную публикацию. В соответствии с основной задачей исследования маршруты должны были быть расположены в плане таким образом, чтобы максимально быстро и качественно определить положение береговой черты подледникового оз. Восток. Для этой цели разработана методика «управляемого эксперимента», предполагающая оперативное изменение положения планируемых маршрутов в зависимости от результатов изучения береговой черты на смежных участках [11, 12 и др.]. Но конфигурация структурных линий не всегда подчинена положению береговой черты. Таким образом, в ряде случаев структурные линии не были прослежены или межмаршрутная корреляция особых точек была затруднена.

Основной формой подледно-подводной поверхности изучаемого района является котловина субмеридионального (на юге) и диагонального (на севере) простирания. К ней приурочено подледниковое оз. Восток, осложненное относительно небольшими бухтами, мысами и полуостровами (см. рис. 4.), получившее свое название от расположенной в его южной оконечности российской станции (см. рис. 2).

Сейсмические разрезы и радиолокационные профили указывают на очевидную тектоническую природу этой контрастной формы подледно-подводной поверхности, ограниченной дизъюнктивно предопределенными крутыми бортами озерной котловины. Данные обстоятельства позволяют рассматривать котловину оз. Восток в качестве отрицательной морфоструктуры — выраженного в рельефе высокоамплитудного грабена.

Возможна рифтовая природа описываемой морфоструктуры, которая предполагает интенсивную вертикальную миграцию флюидов и поступление в подледную часть конвективного тепла. Вместе с тем наличие большего объема водной массы может быть объяснено и без активного участия последнего в таянии льда, учитывая, что мощность ледникового покрова здесь превышает критическую толщину, при которой начинается плавление [21–23 и др.].

Вероятно, имеет смысл данную морфоструктуру называть котловиной «Восток». Как уже упоминалось [12], вопрос о собственных названиях открываемых географических объектов в Антарктике имеет огромное значение для создания впоследствии орографической карты. Более того, без решения этого вопроса создание такой карты вряд ли возможно.

Граница котловины «Восток» маркируется бровкой горных массивов и других обрамляющих положительных форм (структурная линия  $L_5$ ). Радиолокационные данные позволяют оценить размеры котловины приблизительно в  $310 \times 100$  км. В ее пределах выделяются: *озерная равнина (LP)*, *глубоководная впадина (LD)*, *южная (LT1)* и *юго-восточная (LT2) террасы (площадки)*, *центральный продольный склон (BS)* и *нижний нерасчлененный уступ котловины «Восток» (LS)*. Границей днища озера, включающего в себя равнину, впадину, продольный склон и террасы, является тыловой шов (структурная линия  $L_6$ ).

*Озерная равнина (LP)* находится в северной части котловины «Восток». Детально она не изучена и описывается четырьмя точками МОВ (см. рис. 2). По характеру измеренных глубин можно предположить, что она представляет собой субгоризонтальную выположенную поверхность, расположенную на глубине  $-930$  м, и имеет протяженность в длину около  $150$  км (рис. 4, 5). В соответствии с установленной систематикой данная поверхность относится к площадному элементу  $P_{6-5}$ .

*Глубоководная впадина (LD)* грушевидной формы вытянута в меридиональном направлении. Она располагается в южной части котловины «Восток» и занимает приблизительно  $1/5$  часть ее площади. Ее средние глубины составляют от  $-1600$  до  $-800$  м, линейные размеры — около  $40 \times 75$  км. Она имеет сложный рельеф и расчленена хребтами и подводными долинами преимущественно диагонального простирания. Их относительные превышения изменяются от  $150$  до  $400$  м (см. рис. 4, 5). Индекс этой поверхности  $P_{6-}$ .

*Площадка южной террасы (LT1)* размещается в южной части котловины «Восток» в пределах глубоководной котловины LD с характерными глубинами около  $-600$  м. Ее форма близка к треугольной. Линейные размеры террасы составляют приблизительно  $12 \times 16$  км (см. рис. 4, 5).

*Площадка юго-восточной террасы (LT2)* располагается как в юго-восточной части котловины «Восток» в пределах глубоководной котловины, так и в северо-восточной. Ее форма близка к трапециевидной. Она имеет преимущественные абсолютные глубины около  $-1270$  м. Линейные размеры террасы составляют приблизительно  $18 \times 15$  км (см. рис. 4, 5). Обе площадки относятся к элементарным поверхностям  $P_{6-5}$ .

*Центральный продольный склон поверхности дна (BS)* находится в центральной части котловины «Восток» на высотах от  $-1300$  до  $-950$  м. Его форма близка к прямоугольной с уклоном приблизительно  $9,8$  м/км ( $\sim 0,6^\circ$ ) в северном направлении. Линейные размеры склона составляют приблизительно  $60 \times 45$  км (см. рис. 4, 5). Индекс поверхности  $P_{5-6}$ .

*Нижний нерасчлененный уступ котловины «Восток» (LS)* окаймляет озерную равнину, глубоководную котловину и центральный продольный склон, а также к нему прилегают южная и юго-восточная террасы. Он расположен на абсолютных глубинах приблизительно от  $-1300$  до  $-200$  м и характеризуется склонами с крутизной от  $300$  до  $400$  м/км ( $17-22^\circ$ ). Уступ осложнен террасовидными площадками, субпараллельными границе озера, с перепадами высот от  $50$  до  $100$  м (см. рис. 4, 5), а также висячими долинами, выявленными по



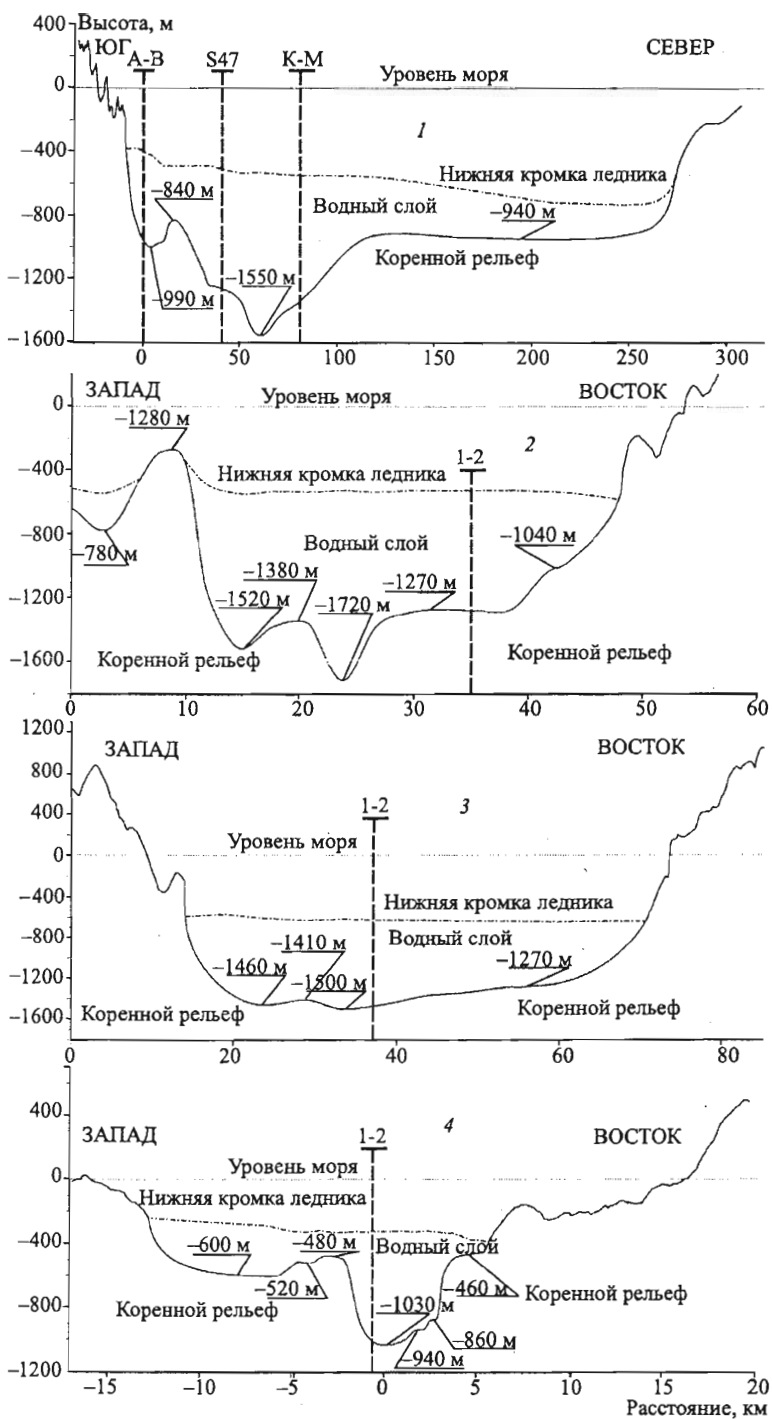


Рис. 5. Разрезы по сейсмическим профилям (положение см. на рис. 2).

1 — разрез 1-2; 2 — разрез S47; 3 — разрез К-М; 4 — разрез А-В.

субширотным профилям, и каньоном шириной около 1,5 км и глубиной около 400 м. Общий индекс данного уступа  $P_{5-6}$ . Предполагается, что он является непосредственным выражением ограничивающих грабен сбросов.

За пределами котловины «Восток» выделяются: *низменная холмистая равнина (LL)*, *полого-волнистая равнина (HL)*, *холмогорье (DL)*, *среднегорный массив (ML)* и *склоновая поверхность (SL)*. Их границами являются линии выпуклых и вогнутых перегибов — структурные линии  $L_5$  и  $L_6$ . Внешние границы HL, DL, SL и ML не установлены ввиду недостатка геофизических данных.

*Низменная холмистая равнина (LL)* непосредственно примыкает к котловине «Восток» с севера (где она наиболее развита), востока и юга (прослеживается фрагментарно). Она расположена на гипсометрических уровнях от  $-600$  до  $0$  м и осложнена ложбинами преимущественно субширотного простирания с глубинами до  $30$  м. В целом по установленной систематике элементов ее отдельные фрагменты относятся к фазам  $P_{5-5}$ .

*Полого-волнистая равнина (HL)* находится в северной части территории на абсолютных высотах от  $-100$  до  $100$  м. Она слабо расчленена и имеет выпуклую форму в плане.

*Холмогорье (DL)* расположено в северо-западной, западной и южной частях территории, непосредственно примыкающей к котловине «Восток», в пределах абсолютных высот до  $400$  м. Его поверхность характеризуется средней степенью расчлененности и осложнена грядами и ложбинами различного простирания с относительными превышениями около  $150$  м.

*Среднегорный массив (ML)* представляет собой структуру субширотного простирания, расположенную по обоим бортам котловины «Восток». Полевыми работами закартирована только часть его склонов. Анализ положения хребтов позволяет высказать предположение, что, вероятно, эти массивы относятся к единой горной системе. По всей видимости, в результате неотектонических опусканий крупного блока земной коры вдоль глубинных разломов была нарушена ее целостность, что привело к созданию грабена — котловины «Восток». Авторы не берутся оценить высоты горного массива, но ее исследованная предгорная часть возвышается более чем на  $500$  м над уровнем моря ( $500-1100$  м в пределах изученной территории). Следует ожидать, что горный массив имеет высокую степень расчлененности, во всяком случае радиолокационные данные показывают наличие каньонов глубиной около  $300$  м и висячих (?) долин, ориентированных ортогонально к береговой линии озера. Относительные высоты превышают  $250$  м. В пределах массива имеется протяженная (около  $24$  км) субгоризонтальная вершинная поверхность, расположенная на высоте  $800$  м. Она осложнена каньонами преимущественно субширотного простирания глубиной до  $250$  м. Их тальвеги образуют субгоризонтальную базисную поверхность на высоте  $560$  м.

*Склоновая поверхность (SL)* ярко выражена в рельефе центральной части восточного борта котловины «Восток». Она находится преимущественно на высотах от  $100$  до  $350$  м. Степень ее расчлененности не превышает  $100$  м. Фрагментарно в ее пределах прослеживается субгоризонтальная вершинная поверхность на высоте около  $230$  м.

Используя систематику элементов земной поверхности и разработанную их символику [15–18] на основе сейсмических разрезов (см. рис. 5) предлагается общая морфологическая характеристика котловины «Восток» путем фиксации рядов этих элементов. Для трех субширотных профилей (см. рис. 5) ее морфология упрощенно описывается с запада на восток в виде рядов:

Профиль 2 ...  $\backslash 2/1 \backslash 6/2/5/1 \backslash 5/2/5/6/5/1 \backslash 5/2/1 \backslash 2/1/2/...$ ,  
 Профиль 3 ...  $\backslash 2/1 \backslash 6/5 \backslash 2/1 \backslash 2/6/5/6/5/6/5/6/5/6/2/1...$ ,  
 Профиль 4 ...  $/1 \backslash 5 \backslash 6/-5/6/5/+ \backslash 5/2/5/6/5/6/5/6/1 \backslash 2/1 \backslash 2/5/+ \backslash 5/2/5/6/5/6/6/1...$ ,

Морфология котловины в меридиональном направлении фиксируется с севера на юг следующим рядом элементов: ...  $6 \backslash 5 \backslash 6 \backslash 5 \backslash 5/2/5/6/1 \backslash 6/2/1 \backslash 2/1 \backslash 2/1 \backslash 2...$

**Рельеф поверхности ледникового покрова.** Единый подход к геоморфологическому картографированию любых поверхностей [18] позволяет сравнить их рельеф

между собой и выйти на обсуждение проблемы происхождения подледникового оз. Восток. Береговая линия озера достаточно точно оконтуривает субгоризонтальную площадку, отчетливо прослеживаемую на дневной поверхности. Она осложняет относительно крутой склон субмеридионального (на юге) и диагонального (на севере) простираения (см. рис. 2). На западе площадку отделяет от вышерасположенного склона линия вогнутого перегиба, а на востоке от нижерасположенной части склона — линия выпуклого перегиба. Вдоль этих перегибов с запада и с востока площадка ограничивается изогипсой 3500 м.

Вогнутый и выпуклый перегибы сопровождаются параллельными им, близко расположенными проходящими внутри контура озера килевой и гребневой линиями соответственно. Эти линейные элементы фиксируют «вдольбереговые» (по отношению к подледниковому озеру) или, точнее, приграничные (по отношению к самой площадке) прогиб (на западе) и вал (на востоке). Обе данные сильно вытянутые формы отчетливо выражены морфологически, хотя и характеризуются превышениями до 10, реже 15 м, которые на фоне незначительных относительных высот и уклонов общего склона дневной поверхности и особенно площадки обращают на себя особое внимание.

В литературе уже отмечалось [21 и др.], что уклоны дневной поверхности над подледниковыми водоемами уменьшаются примерно в 3 раза относительно уклонов осложняемого подобными площадками склона. Применительно к площадке над оз. Восток следует отметить, что ее уклоны вообще не соответствуют уклонам общего склона дневной поверхности не только по абсолютной величине, но и по направлению. Горизонтали на данной площадке проходят вкрест простираению горизонталям склона, отражая ее слабый уклон, измеряемый относительными превышениями у северной оконечности озера над южной немногим более 30 м или уклоном в этом направлении около 0,0001. Следует отметить, что зеркало озерных вод (граница лед—вода) наклонено в обратную сторону (см. рис. 5), и данный уклон измеряется величинами на порядок выше уклона дневной поверхности. В том же направлении увеличиваются (на 650 м и более) глубины подводной поверхности (днища озера).

**О происхождении оз. Восток.** Для каких-либо суждений о происхождении этого озера и подобных подледниковых водоемов в Антарктиде необходимо принять во внимание следующие обстоятельства:

1) озеро находится в той области ледникового покрова, которая характеризуется минимальной подвижностью льда и наличием донного таяния, связанного с большой его мощностью [21–23 и др.];

2) достаточно хорошее совпадение в плане контура подледникового озера и площадки на дневной поверхности свидетельствует об их парагенетической связи и одновозрастности данных геобразований. Площадка могла появиться в результате более интенсивного придонного таяния в пределах контура озерной котловины и изменения (уменьшения) объема соответствующей контурам площадки призмы льда при его фазовом переходе в жидкость (воду);

3) если сама котловина-грабен, судя по маломощности рыхлых осадочных отложений, образовалась хотя и после формирования ледникового покрова, но в геологическом масштабе времени достаточно давно (в новейший тектонический этап), то поступившие в котловину (благодаря донному таянию) массы озерных вод могли накопиться в самые последние эпохи, возраст которых измеряется уже географическим масштабом времени (тысячи лет). Это предположение противоречит представлениям сотрудников Полярного института им. Скотта, по мнению которых возраст озера близок к возрасту существования ледникового покрова (миллионы и первые десятки миллионов лет).

Однако пока только оно как-то отвечает самому факту наличия террасовидной площадки в дневной поверхности, достаточно хорошо совпадающей с контуром озера. Иначе трудно представить себе, что за более длительный срок ее существования идеально выположенная поверхность не была нарушена или сдвинута вниз по склону (относительно контура озера) малоподвижным, но вместе с тем растекающимся в соответствии с уклонами ледниковым массивом;

4) альтернативой представлениям об уменьшении объема призмы льда и о молодом возрасте озера (его водной массы) должна быть гораздо более сложная модель, предусматривающая смещение площадки вниз по склону, а также какой-то механизм ее постоянного выполаживания на одном и том же месте в пределах контура озера;

5) отсутствие следов подводной эрозии и селективной аккумуляции донных осадков не означает, что озеро с момента своего образования не подвергалось каким-либо изменениям. Возможно накопление его водной толщи по мере повышения зеркала озерных вод и достижения ими некоторого порога котловины (который может быть установлен последующими радиолокационными исследованиями) чередовалось со спуском (выдавливанием) из нее воды. При этом через порог переливались верхние слои водной массы, которые не затрагивали донных осадков и днища котловины. Изменение гипсометрического положения озерных вод регулировалось вертикальными смещениями расположенной под озером призмы льда с ограничивающей сверху площадкой, что отразилось в формировании линейных форм дневной поверхности, расположенных вдоль контура площадки при сохранении ее общей выположенности.

## Summary

*Lastochkin A. N., Popov S. V., Popkov A. M.* The bed relief of the Vostok lake subglacial basin (East Antarctic).

The aim of the present work was to map the ice thickness, to determine the grounding line, to study the bed relief and its morphology. The geomorphological map and that of the bed relief were compiled on the basis of data obtained by the above methods. The bed relief and the ice surface were compared to interpret the nature of the Vostok Lake.

## Литература

1. Капица А. П., Сорохтин О. Г. Измерения толщины ледникового покрова в походе по маршруту Восток—Молодежная // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспедиций. 1965. № 51. 2. Oswald G. K. A., Robin G. Q. Lakes beneath the Antarctic ice sheet // Nature. 1973. Vol. 245. 3. Масолов В. Н., Попов С. В., Хлопич Н. И. и др. Краткий обзор основных советских (российских) аэро-радиолокационных работ в Антарктиде // Труды XVI–XIX Всерос. симпозиумов «Радиолокационное исследование природных сред». Вып. 2 / Ред. М. Н. Маров, В. Д. Степаненко, Ю. А. Мельник и др. СПб., 2002. 4. Попов С. В., Филина И. Ю., Соболева О. Б. и др. Мелкомасштабные аэро-радиолокационные исследования в Центральной Восточной Антарктиде // Там же. 5. Kapitsa A. P., Ridley J. K., Robin G. Q. et al. A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica // Nature. 1996. Vol. 381. 6. Ridley J. K., Cudlip W., Laxon W. Identification of subglacial lakes using ERS-1 radar altimeter // J. Glaciol. 1993. Vol. 73, N 133. 7. Попков А. М., Веркулич С. Р., Масолов В. Н. и др. Сейсмический разрез в районе станции «Восток» (Антарктида) — результаты исследований 1997 года // Материалы гляциол. исследований. 1999. Вып. 86. 8. Попов С. В., Миронов А. В., Шереметьев А. Н. Результаты наземных радиолокационных исследований подледникового озера Восток в 44–45 РАЭ // XII Гляциол. симпозиум «Ритмы природных процессов в гляциосфере Земли». Пуццино, 2000. 9. Попов С. В., Шереметьев А. Н., Масолов В. Н. и др. Основные результаты наземных радиолокационных исследований подледникового озера Восток в период 1998–2002 гг. // Гляциологический симпозиум «Будущее гляциосферы в условиях меняющегося климата». Пуццино, 2002. 10. По-

пов С. В., Миронов А. В., Шереметьев А. Н. Результаты наземных радиолокационных исследований подледникового озера Восток в 1998–2000 гг. // *Материалы гляциол. исследований*. 2000. Вып. 89. **11.** Масолов В. Н., Лукин В. В., Шереметьев А. Н. и др. Геофизические исследования подледникового озера Восток в Восточной Антарктиде // *Докл. РАН*. 2001. Т. 379, вып. 5. **12.** Масолов В. Н., Лукин В. В., Попов С. В. и др. Основные результаты сейсмо-радиолокационных исследований подледникового озера Восток // *Разведка и охрана недр*. 2002. № 9. **13.** *Tabacco I. E., Forieri A., Bianchi C. et al.* Bed topography and evidence of possible new subglacial lakes over the region Vostok–Dome Concordia (East Antarctica) inferred by airborne radar survey // *Eos Trans. AGU*. Vol. 83(19). Spring Meet. Suppl. Abstract B21A-12. 2002. **14.** *Peters M. E., Blankenship D. D., Morse D. L. et al.* Airborne radar sounding and ice thickness measurements over Lake Vostok, East Antarctica // *Ibid.* Abstract B22A-05. **15.** *Геоморфологические исследования океанического дна* / Под ред. А. Н. Ласточкина. Л., 1987. **16.** *Ласточкин А. Н.* Рельеф земной поверхности. Л., 1991. **17.** *Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации (применительно к задачам Госгеолкарты-1000)* / Сост. А. Г. Зинченко, А. Н. Ласточкин; Ред. Б. Г. Лопатин. М., 2001. **18.** *Ласточкин А. Н.* Системно-морфологическое основание наук о Земле (Геотопология, структурная география и общая теория геосистем). СПб., 2002. **19.** *Popov S. V., Lastochkin A. N., Popkov A. M. et al.* Results of geomorphologic interpretation of the bed relief in the subglacial Lake Vostok area // *Eos Trans. AGU*. Vol. 83 (19). Spring Meet. Suppl. Abstract B22A-02. 2002. **20.** *Попов С. В.* Методика обработки аналоговых материалов радиолокационного профилирования // *Рос. геофиз. журн.* 2001. Т. 23–24. **21.** *Лосев Н. С.* Антарктический ледниковый покров. М., 1982. **22.** *Попов С. В., Филина И. Ю., Соболева О. з.Б.* и др. Мелкомасштабные аэро-радиолокационные исследования в Центральной Восточной Антарктиде // *Труды XVI–XIX Всерос. симпозиумов «Радиолокационное исследование природных сред»*. Вып. 2 / Ред. М. Н. Маров, В. Д. Степаненко, Ю. А. Мельник и др. СПб., 2002. **23.** *Попов С. В., Масолов В. Н., Лукин В. В.* и др. Центральная часть Восточной Антарктиды: коренной рельеф и подледниковые озера // *Науч. конференция «Исследования и охрана окружающей среды Антарктики»*: Тез. докл. С.-Петербург, 13–15 ноября 2002 г. СПб., 2002.

Статья поступила в редакцию 16 февраля 2003 г.