

5. Лопатин Д.В., Шавель Н.И. Агинская центрозоная криптоморфная тектоно-магматическая структурная форма Юго-Восточного Забайкалья // Исследование Земли из космоса. 2009. № 1. С. 1–9.
6. Лопатин Д.В., Шавель Н.И. Региональный анализ центрозоновых криптоморфных геоморфологических инфраструктур глубинного строения земных недр в целях прогнозирования рудных полезных ископаемых (на примере Агинской тектоно-магматической структурной формы Юго-Восточного Забайкалья) // Геоморфология. 2009. № 4. С. 29–37.
7. Флоренсов Н.А. К геологии верхней части бассейна р. Аги. Свердловск–М.: ОНТИ, 1937. 41 с.

Санкт-Петербургский госуниверситет

Поступила в редакцию
16.02.2010

**PECULIARITIES OF EXODYNAMIC MORPHOLITHOGENESIS
OF THE ORLOVSKO-SPOKOINENSKI RARE-METAL ORE FIELD
(SOUTH-EAST ZABAIKALIE)**

D.V. LOPATIN, N.I. SHAVEL

Summary

Structural-geomorphologic indicators of the covered stocks in poorly exposed areas are very important for rare-metal ore-bearing stocks prospecting. Orlovsko-Spokoinenski ore field in the northern sector of the outer zone of the Aginskaya Late Mesozoic macro structural form with a central-type symmetry was taken as a test site. At the first stage investigation of exogenic processes was fulfilled. Creep, sheet wash and linear erosion are the main processes in the area, especially intense during heavy rains. Frost processes like solifluction and congelifluction are of some importance too.

УДК 551.435.4(–923.1/.2)

© 2012 г. С.В. ПОПОВ, П.И. ЛУНЁВ

**ОРОГРАФИЯ КОРЕННОГО РЕЛЬЕФА РАЙОНА ПОДЛЕДНИКОВОГО
ОЗЕРА ВОСТОК (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА)¹**

Введение

Повышенный интерес к району российской станции Восток (Восточная Антарктида) возник в 1993 г., когда к северу от нее в ходе анализа данных спутниковой альтиметрии, была обнаружена плоская субгоризонтальная ледяная равнина [1]. Вскоре выяснилось, что она приурочена к обширному подледниковому водоему, названному впоследствии *озером Восток* [2]. Практически сразу после открытия этого природного феномена началось его планомерное изучение, при этом первенство принадлежало нашей стране. В сезон 41 РАЭ (1995–96 гг.) Полярная морская геологоразведочная экспедиция (ПМГРЭ) совместно с Российской антарктической экспедицией (РАЭ) начала исследование этого района посредством проведения сейсмических зондирований методом отраженных волн (МОВ), а с 1998 г. (44 РАЭ), эти работы осуществлялись в комплексе с наземным радиолокационным профилированием (РЛП) [3–8]. В ходе проведенных исследований были разработаны уникальные методические подходы, позволившие получать качественные сейсмические и радиолокационные данные в суровых

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-05-91330-ННИО_а).

условиях центральной Антарктиды при температурах ниже -35°C и мощностях ледника более 4000 м. Следующим крайне важным научным результатом стало инструментальное подтверждение наличия водного слоя в районе станции Восток. Для этого был проведен целый комплекс сейсмических исследований [5, 9]. Кроме того, были проведены специальные высокоточные измерения, направленные на определение физических свойств ледника, что существенно увеличило точность всех последующих сейсмических и радиолокационных исследований [5, 9–11]. В 2008 г. завершился значительный этап отечественных исследований этого района: были закончены комплексные сейсмо-радиолокационные исследования, направленные на картографирование дна озера и его бортов. К этому времени было осуществлено в общей сложности 318 сейсмических (МОВ) зондирований и выполнено 5190 пог. км радиолокационных маршрутов [8]. Главным достижением указанных работ стало *инструментальное* определение глубин оз. Восток, на основе которых было сформировано представление о рельефе его дна [8]. Вторым по значимости результатом стало определение положения береговой линии озера и выяснение, что оно является изолированным водоемом [8, 12, 13]. Последнее обстоятельство является крайне важным, ввиду проникновения в оз. Восток в самое ближайшее время и беспокойства научной общественности в связи с возможным загрязнением антарктических подледниковых озер.

Существенный вклад в изучение этого района внесли американские ученые. В сезон 2000–01 гг. они провели комплексную аэрогеофизическую съемку по регулярной сети маршрутов широтного простирания на территории около 68620 км². Общая протяженность маршрутов (исключая дублирующие и служебные) составила 12464 км. В ходе этих работ, помимо РЛП, были выполнены магнитометрические и гравиметрические измерения [14]. Схема расположения отечественных и американских геофизических работ приведена на рис. 1.

Завершение картировочного этапа отечественных исследований и сотрудничество в рамках Международного Полярного Года с американскими учеными создали предпосылки к формированию целостного представления о геологическом строении района подледникового оз. Восток. В ходе сопоставления отечественных и американских данных и последующего их обобщения была уточнена береговая линия озера [13], и сформировано законченное представление о мощности ледника, подледном и коренном рельефе, а также о глубинах оз. Восток [15].

Объединение отечественных и зарубежных геофизических данных по району оз. Восток позволило сформировать комплект кондиционных карт м-ба 1:500000 [15]. Для антарктических исследований, за исключением весьма малочисленных локальных географических объектов, этот масштаб съемки является наиболее крупным. Из чего следует, что в обозримом будущем не предвидится никаких работ, которые могли бы сколь-нибудь заметно изменить построенные карты. В частности, в ближайшем будущем отечественные исследования в этом районе планируется выполнять исключительно с целью решения сугубо конкретных задач, направленных на изучение глубинного строения. Таким образом, геофизические карты, представленные в работе [15], коренной рельеф из которых представлен на рис. 2, являются окончательными на ближайшую перспективу.

Краткий обзор представлений о коренном рельефе района

Первые представления о характере коренного рельефа этого района относятся к 1960–1970 гг. В это время в ходе отечественных исследований в районе станции Восток были выполнены сейсмические зондирования МОВ [16, 17] и проведена англо-американская аэрогеофизическая съемка регионального масштаба [18]. Эти материалы легли в основу карт коренного рельефа, вошедших в первый в мире атлас Антарктики, изданный в Советском Союзе [19, с. 66], а также в более поздний уточненный отечественный [20] вариант и карту восточной части индоокеанского сектора Антарктики, изданную в Англии [21]. На них эта территория представлена равнинной

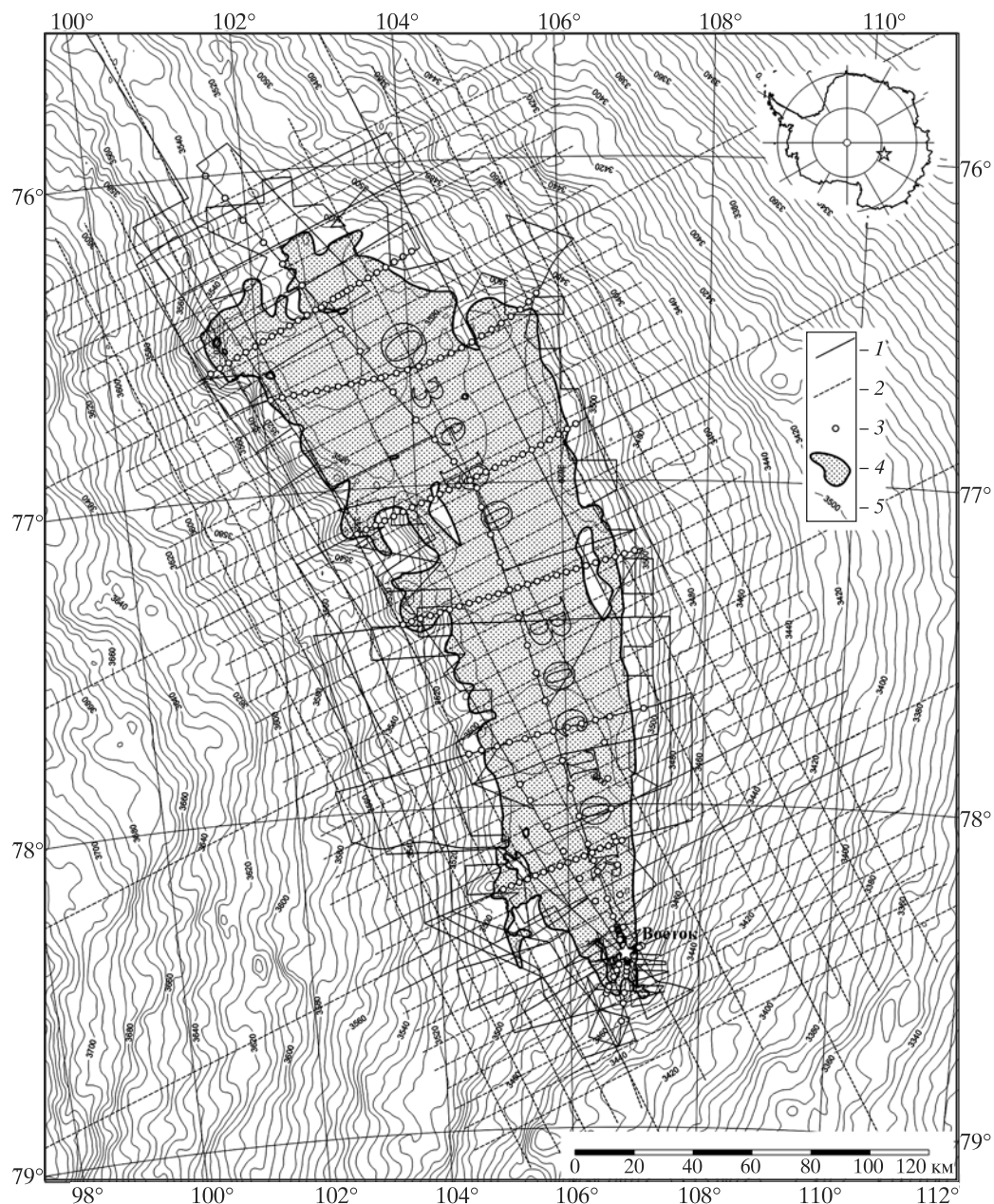


Рис. 1. Схема расположения современных геофизических работ в районе подледникового оз. Восток
 Маршруты: 1 – отечественных РЛП 44-53 РАЭ (1998–2008 гг.), 2 – американской аэрогеофизической съемки полевого сезона 2000–2001 гг.; 3 – пункты отечественных сейсмических зондирований МОВ 41-53 РАЭ (1995–2008 гг.); 4 – акватория подледникового оз. Восток; 5 – изогипсы высот дневной поверхности, м (сечение изолиний 5 м)

областью, расположенной выше уровня моря [19, с. 66]; по другим источникам [20, 21] она осложнена двумя котловинами незначительной глубины, расположенными в южной и северной частях желоба Восток. Сходный ландшафт приведен и на наиболее современных картах Антарктиды, изданных в рамках международного проекта BEDMAP (“Топография коренного ложа Антарктики”) [22, 23] и нового Атласа Ан-

тарктики [24, с. 186]. Эта ситуация вполне понятна, поскольку до начала современных планомерных исследований представления об этом районе складывались из крайне немногочисленных источников. Материалы о коренном рельефе района оз. Восток [15] вошли только в работу, посвященную рельефу индоокеанского сектора Антарктики, созданную в рамках проекта ABRIS (“Коренной рельеф и ледовый щит Антарктиды”) [25].

По вышеназванным причинам, геофизические исследования в этом районе после значительного перерыва продолжились только в 1995 г. Вплоть до последней работы по коренному рельефу (рис. 2) в том или ином виде был опубликован ряд карт коренного рельефа [4, 5, 8, 26], сопровождавшихся орографическими и морфоструктурными схемами [16, 26–29]. Эти построения, по своей сути, являются промежуточными, прежде всего, в силу незавершенности изучения района на момент их составления. Обсуждаемая ниже орографическая схема – это первый шаг большой работы по геоморфологической интерпретации новых материалов по коренному рельефу и изучению геологического строения района оз. Восток.

В силу физической сущности метода данные РЛП использовались для измерения мощности ледникового покрова и определения положения зеркала подледникового оз. Восток. Материалы сейсмических зондирований применялись для определения глубины озера и последующего картографирования его дна. При выполнении этой задачи авторы столкнулись с известной проблемой адекватного отображения геофизической информации. С появлением вычислительной техники карты рельефа создаются достаточно формальным образом. Путем гридирования формируется прямоугольная матрица, заполняемая некоторыми эффективными значениями. Указанная процедура позволяет получить приемлемый результат лишь в случае хорошей обеспеченности данными и их равномерного распределения по всей территории. К сожалению, это условие не выполняется для акватории оз. Восток, где рельеф дна определяется по сейсмическим профилям, расстояние между которыми составляет около 50 км (рис. 1). Это привело к необходимости рисовки рельефа дна ручным способом с последующей стыковкой с картой подледного рельефа, составленной путем гридирования данных РЛП. Методические аспекты сопоставления и объединения отечественных и американских данных, а также процедура формирования грида коренного рельефа детально изложены в работе [15].

Орография района

Как было показано в [30], коренной рельеф индоокеанского сектора Антарктики уверенно подразделяется на две обширные области: “западную” (относительно приподнятую и более расчлененную) и “восточную” (относительно низкую и выположенную). Их границей является глубинный разлом регионального масштаба с грабеном, к которому приурочено подледниковое оз. Восток. Таким образом, то обстоятельство, что характер коренного рельефа к западу и к востоку от желоба Восток принципиально различен (рис. 2), непосредственно связано с глобальными процессами формирования Восточной Антарктиды. В свете изложенного, на орографической схеме (рис. 3), выявляются *три региональных геоморфологических комплекса*: *VB – желоб Восток*, *SSB – равнина Шмидта*, *KSM – горы Комсомольские*. Они, в свою очередь, подразделяются, на ряд комплексов экзогенных форм мезорельефа [31] в соответствии с градацией, изложенной в [30], отличающихся высотным положением, степенью вертикальной расчлененности, а также общим типом формы (плоская горизонтальная, плоская наклонная, выпуклая, вогнутая).

Для отрогов Комсомольских гор (KSM), расположенных к западу от желоба Восток, характерен преимущественно горный ландшафт. Абс. высоты достигают 1580 м. Привершинный ярус представлен характерными для экзарационной деятельности плоскими слаборасчлененными (перепад высот менее 100 м) поверхностями. К меж-

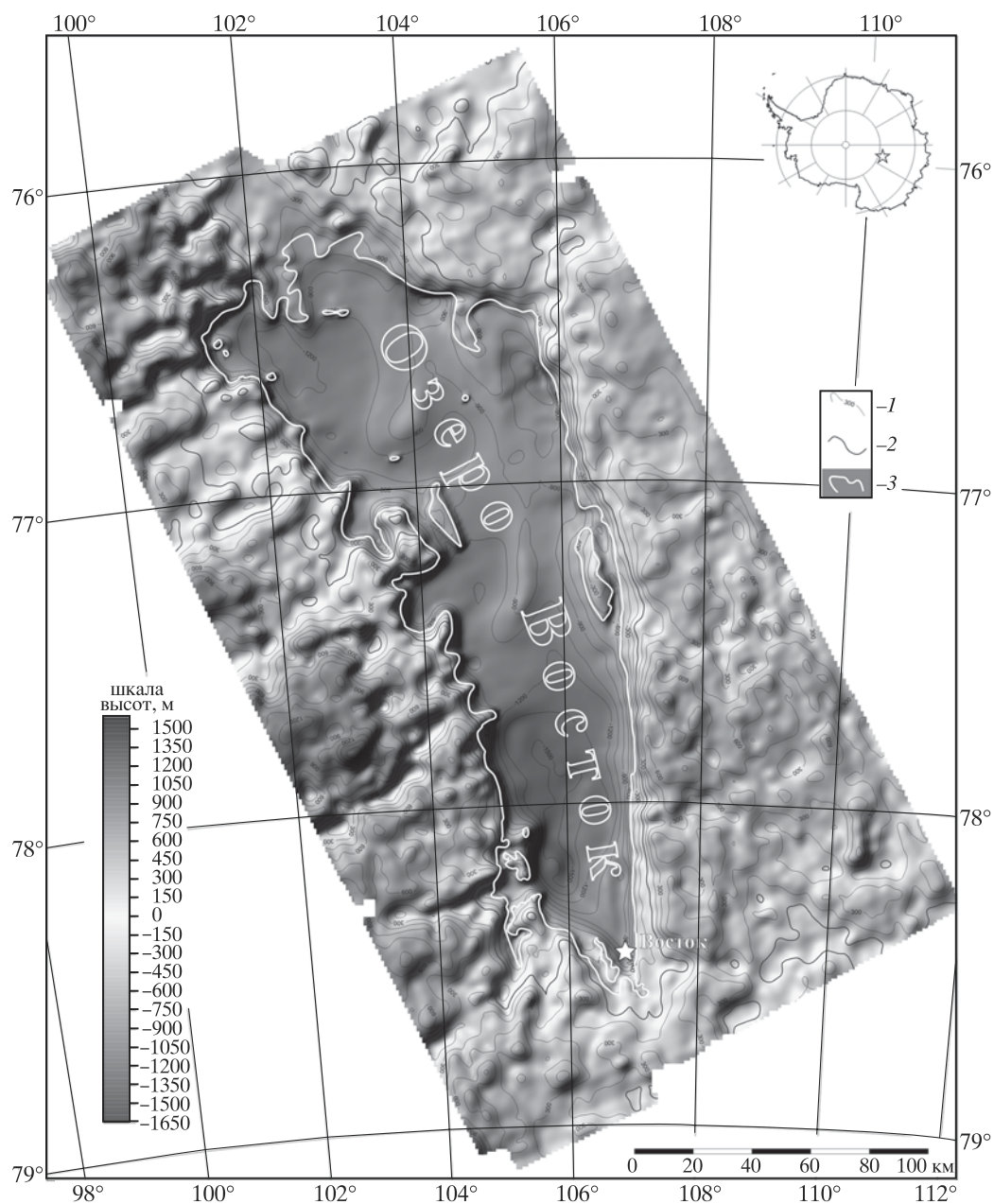


Рис. 2. Коренной рельеф района подледникового озера Восток

1 – изогипсы коренного рельефа, м (сечение изолиний 150 м), 2 – уровень моря (поверхность WGS-84), 3 – береговая линия оз. Восток

горным прогибам приурочены многочисленные троговые долины преимущественно северо-восточного простирания. Некоторые из них имеют (наблюдаемую) протяженность около 40 км при ширине от 5 км и более. Придонная часть долин располагается на абс. высотах, соответствующих, главным образом, уровню моря (поверхности геоида WGS-84). Склоны долин достаточно пологи; уклоны не превышают 5° при высоте склонов около 300 м [25, 30].

К востоку от желоба Восток развит слаборасчлененный холмистый ландшафт без ярко выраженного простираения морфоструктур. Абс. высоты преимущественно составляют около 300 м и лишь в районе 77°45' ю.ш. имеется поднятие высотой около 600 м. В целом, перепады высот составляют около 100 м [25, 30]. В региональном отношении эта область относится к равнине Шмидта (SSB).

Желоб Восток (VB) занимает доминирующее положение на рассматриваемой территории и представляет собой опущенный блок земной коры в протяженной субмеридиональной области деструкции литосферы. Размеры желоба составляют примерно 310×100 км [15]. Площадь придонной части (между склонами) около 12.9 тыс. км². Внешняя граница желоба маркируется бровкой горных массивов и прочих положительных форм, ее обрамляющих. Северная часть озера мелководная (преимущественные глубины около 300 м); южная часть глубоководная (средняя глубина порядка 800 м) [8]. На акватории озера имеется ряд островов. Моделирование, выполненное по данным аэрогеофизических работ [12] и на основе отечественных сейсмических материалов, показывает, что на дне желоба имеется осадочный чехол [5]. Его мощность можно оценить от 210–240 м в южной части, до 350–380 м в северной [32]. Тем не менее, окончательно вопрос о наличии и мощности осадочных пород на дне оз. Восток не решен и специализированные сейсмические работы, направленные на его изучение, продолжаются.

К желобу Восток приурочено одноименное подледниковое озеро, водное зеркало которого не является ровным и горизонтальным, как у обычных водоемов нашей планеты. Абс. высоты его поверхности в генеральном плане изменяются приблизительно от –600 м в северной части до –150 м в южной; наклон поверхности озера около 6 угловых минут. Данное обстоятельство объясняется законами гидростатики [15].

Согласно расчетам, площадь водного зеркала озера (с учетом островов) составляет 15425 км² [13]; объем водного тела примерно 6100 км³; средняя глубина озера около 400 м. В генеральном плане оно подразделяется на две неравные по размерам части. Первая из них (южная) является наиболее глубоководной, но меньшей по размеру – приблизительно 70×30 км. Средняя глубина составляет около 900 м, максимальная – до 1200 м. Вторая часть (северная) относительно мелководная. Она расположена на территории площадью приблизительно 150×70 км. Ее средняя глубина около 300 м при максимальных отметках до –600 м [15].

Коренной рельеф (рис. 2) позволил на новом, более детальном уровне рассмотреть особенности орографии района подледникового озера и более объективно выявить экзогенные формы мезорельефа. В соответствии с рекомендациями [31, 33, 34], орографическое районирование основано на двух основных параметрах: абсолютной и относительной высотах (рис. 3). Границами районов являются линии выпуклых и вогнутых перегибов, определяющие в масштабе исследований структурный план территории; они наносились в соответствии с общепринятой методикой [33–35]. С целью улучшения восприятия схемы, на ней отсутствует явное подразделение на склоны, привершинные и придонные части. Это позволило, как и в случае региональных построений [30], не перегружать ее структурными линиями и четче выделять главные формы коренного рельефа. Явным образом на приведенной схеме в силу своих значительных размеров выделяется только склон желоба Восток. Границами положительных форм являются тыловые швы, а отрицательных – бровки; в случае сопряжения положительных и отрицательных форм, границы располагаются по середине склонов.

В придонной части желоба Восток выделяются *глубоководные котловины, мелководные желоба, подводные гряды, подводная равнина и внутриозерные островные поднятия*. Глубоководные котловины (DD, рис. 3) развиты, главным образом, на севере и юге акватории подледникового озера и занимают приблизительно 34% ее придонной части, что составляет около 7% всей рассматриваемой территории. На севере располагаются три из них, тяготея к склону желоба. Самая большая, размерами около

85×40 км и глубиной до 400 м расположена в СЗ части и характеризуется вытянутой формой. Она находится на высоте около –1300 м относительно уровня моря и отличается ярко выраженным северо-западным простираем. В южной части акватории, приблизительно в 30 км к северу от станции Восток, выявляется котловина округлой формы размерами около 70×35 км. Глубина котловины примерно 300 м, дно располагается на абс. высоте около –1550 м. Эта подводная структура – наиболее глубоководная часть всего оз. Восток. Степень расчлененности незначительная.

Мелководные желоба (SW, рис. 3) развиты на юге, западе и востоке озера. Они занимают приблизительно 4% его придонной части, что составляет около 1% всей рассматриваемой территории. Первый из названных, размерами около 7.5×30 км, располагается непосредственно в районе станции Восток. Он характеризуется субмеридиональным простираем, глубиной порядка 200 м и располагается на абс. высоте около –900 м. Два остальных, глубиной около 300 м, находятся между островными поднятиями и склоном желоба Восток. Расчлененность поверхности желобов невелика.

Подводные гряды (SR, рис. 3) в центральной и северной частях озера занимают приблизительно 9% его дна (около 2% всей рассматриваемой территории). Они отличаются ярко выраженным меридиональным простираем, средними размерами 45×10 км и перепадами высот порядка 300 м при средней абс. высоте около –600 м. Степень расчлененности поверхности гряд незначительная.

Подводная равнина (SP, рис. 3) занимает большую часть дна озера (47% или 10% всей рассматриваемой территории). Ее структуры имеют слабовыраженное меридиональное простираем; абс. высоты составляют около –900 м, достигая в южной части –1400 м. Степень расчлененности поверхности мала.

Внутриозерные островные поднятия (LI, рис. 3) возвышаются нунатаками над водной поверхностью озера. Они развиты повсеместно и занимают приблизительно 6% его придонной части (около 1% рассматриваемой территории). Для поднятий характерны крутые склоны (до 10°) высотой иногда более 500 м. Привершинная поверхность островов уплощенная и пологая. Она располагается на абс. высотах в среднем около –250 м в южной части и около –500 м в северной, незначительно (до 100 м), возвышаясь над водной поверхностью озера.

Склон желоба Восток (SL, рис. 3) характеризуется крутизной до 10–15° и занимает около 16% всей рассматриваемой территории. Его высота местами превышает 1500 м. Он маркирует глубинные разломы опущенного блока желоба Восток и границы между региональными орографическими комплексами Восточной Антарктиды – горами Комсомольскими и равниной Шмидта.

Выдержанность фрагментов бровки желоба и береговой линии подледникового оз. Восток сами по себе свидетельствуют о тектонической предопределенности этой структуры. Подобные выводы подтверждаются данными отечественных сейсмологических наблюдений [36] и американских аэрогеофизических исследований [12, 37], а также результатами интерпретации аэрогеофизических данных [12], выполненных с учетом сейсмических (МОВ) материалов [38]. Анализ коренного рельефа опосредованно указывает на относительную молодость этой области. Вероятно, формирующие его морфоструктуры образовались сравнительно недавно, а возможно, этот процесс продолжается и по сей день, на что указывает выпуклая форма склонов [38, 39].

За пределами оз. Восток развиты *низменности, низменные равнины, холмистые равнины, холмистые возвышенности и низкие горы*. Данная градация в целом соответствует аналогичной, разработанной для индоокеанского сектора Восточной Антарктиды [30] с некоторыми изменениями, обусловленными особенностями рассматриваемой территории.

Низменности (LL, рис. 3) представлены одним объектом, располагающимся в северной части рассматриваемой территории. По сути, он является придонной частью долины, простирающейся в северном направлении на неопределенное расстояние. В пределах района она занимает около 2% всей территории. Низменность характе-

ризуется крайне незначительными перепадами высот при средней высоте примерно –300 м и некоторым наклоном в южном направлении. Она непосредственно примыкает к склону желоба Восток и является, вероятно, его дальнейшим продолжением (в геологическом смысле).

Низменные равнины (LP, рис. 3) развиты повсеместно и большей частью непосредственно примыкают к склону желоба Восток. Они составляют около 18% изучаемой территории. Преимущественные высоты низменных равнин (с учетом склонов) составляют от –200 м до 200 м. Это отрицательные формы рельефа со слабо волнистой или вогнутой (чаще) придонной поверхностью. Высота склонов в среднем около 150 м.

Холмистые равнины (PL, рис. 3) распространены преимущественно к востоку и югу от желоба Восток и относятся к равнине Шмидта. Они занимают около 18% рассматриваемой территории. Расчлененность этих форм невелика – около 100 м. Равнины располагаются на абс. высотах от 150 м до 450 м; преимущественные высоты составляют около 200–300 м. Форма придонной части полого-волнистая. Яркие выраженные простирания составляющих ее форм рельефа отсутствуют.

Холмистые возвышенности (HL, рис. 3) развиты повсеместно и занимают большую часть (19%) исследуемой территории. Для этого типа мезоформ характерна повышенная степень расчлененности (более 150 м) при абс. высоте от 150 до 800 м. Для холмистых возвышенностей, расположенных к западу от желоба Восток, свойственны ярко выраженные СВ простирания морфоструктур.

Низкие горы (MT, рис. 3), вероятно, соотносятся с отрогами гор Комсомольских. Они развиты исключительно к западу от желоба Восток и занимают около 6% всей территории. Их структурный план образован формами рельефа преимущественно широтного простирания. Для наблюдаемых фрагментов Комсомольских гор (примерно 40 км в ширину) типичны преобладающие абс. высоты от 500 до 1300 м (порой до 1580 м). Привершинный ярус представлен характерными для экзарационной деятельности плоскими поверхностями с расчлененностью около 50–100 м.

На рис. 3А приведена роза-диаграмма простирания элементов коренного рельефа. Наиболее выраженному направлению 340° – 10° соответствуют линейные элементы желоба озера Восток, определяющие структурный план всей обсуждаемой территории. Группе линейных элементов с преобладающими направлениями 45° – 70° соответствуют элементы коренного рельефа, развитые на низкогорных массивах Комсомольских гор.

Основные выводы

Завершая орографическое описание коренного рельефа района оз. Восток, следует еще раз отметить, что выполненная работа, с одной стороны, подводит итог многочисленным предшествующим орографическим построениям, а с другой – является первым шагом в новом цикле геоморфологических исследований. К основным достижениям этого этапа исследований следует отнести орографическое районирование изученной территории, которое позволяет сформировать представление о пространственном взаимоотношении форм рельефа. Районирование также является основой для дальнейшего изучения рельефа земной поверхности. Такой подход, по мнению авторов, а также согласно современным представлениям [39], является ключевым при изучении земной поверхности геоморфологическими методами.

Анализ карты коренного рельефа показал, что район оз. Восток по высотному признаку в субмеридиональном направлении делится на три больших, примерно равных по площади и различных по строению рельефа, области. Для западной части характерен преимущественно горный ландшафт с абс. отметками до 1580 м. Восточной области присущ преимущественно холмистый и равнинный рельеф. Абс. высоты около 300 м и лишь в районе $77^{\circ}45'$ ю.ш. имеется поднятие высотой около 600 м. В целом, перепады высот составляют около 100 м. Центральная область, примерно соответ-

твующая по положению акватории оз. Восток, в общем плане представляет собой холмистую подводную равнину средней абс. высотой около –900 м, осложненную рядом котловин и поднятий.

Сравнение выявленных форм рельефа с построениями для всего индоокеанского сектора Восточной Антарктиды показало, что они приурочены к региональным геоморфологическим комплексам – соответственно, горам Комсомольским, равнине Шмидта и желобу оз. Восток, которые могут простираются далеко за пределы района исследований. Они, в свою очередь, подразделяются на ряд комплексов экзогенных форм мезорельефа, обоснованное изучение которых как внутри данного района, так и за его пределами, требует применения детальных методов геоморфологических исследований, таких, например, как морфометрический. Выявление и анализ форм мезорельефа с позиции морфометрии, по мнению авторов, должно являться одним из направлений дальнейшего анализа².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ridley J.K., Cudlip W., Laxon W. Identification of subglacial lakes using ERS-1 radar altimeter // Journ. Glaciol. 1993. V. 73. № 133. P. 625–634.
2. Kapitsa A.P., Ridley J.K., Robin G.D. et al. A large deep freshwater lake beneath the ice of central East Antarctica // Nature. 1996. V. 381. № 6584. P. 684–686.
3. Masolov V.N., Kudryavtzev G.A., Sheremetiev A.N. et al. Earth science studies in the Lake Vostok Region: existing data and proposals for future research // SCAR International Workshop on subglacial lake exploration. Cambridge, England, September 1999. P. 1–18.
4. Попов С.В., Миронов А.В., Шереметьев А.Н. Результаты наземных радиолокационных исследований подледникового озера Восток в 1998–2000 гг. // М-лы гляциол. исслед. 2001. Вып. 89. С. 129–133.
5. Масолов В.Н., Лукин В.В., Шереметьев А.Н., Попов С.В. Геофизические исследования подледникового озера Восток в Восточной Антарктиде // ДАН. Сер. геогр. 2001. Т. 379. № 5. С. 680–685.
6. Masolov V.N., Popov S.V., Lukin V.V. et al. Russian geophysical studies of Lake Vostok, Central East Antarctica // Antarctica – Contributions to Global Earth Sciences. Berlin Heidelberg. New-York: Springer, 2006. P. 135–140.
7. Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В., Попков А.М. Отечественные сейсмические и наземные радиолокационные исследования в Центральной Антарктиде накануне Международного полярного года 2007–2008 // М-лы гляциол. исслед. 2007. Вып. 103. С. 107–117.
8. Масолов В.Н., Попов С.В., Лукин В.В., Попков А.М. Рельеф дна и водное тело подледникового озера Восток, Восточная Антарктида // ДАН. Сер. геогр. 2010. Т. 433. № 5. С. 693–698.
9. Попков А.М., Веркулич С.Р., Масолов В.Н., Лукин В.В. Сейсмический разрез в районе станции Восток (Антарктида), результаты исследований 1997 года // М-лы гляциол. исслед. Вып. 86. 1999. С. 152–159.
10. Попов С.В., Миронов А.В., Шереметьев А.Н., Лучининов В.С. Измерение средней скорости распространения электромагнитных волн в леднике в районе станции Восток // М-лы гляциол. исслед. 2001. Вып. 90. С. 206–208.
11. Popov S.V., Sheremetiev A.N., Masolov V.N. et al. Velocity of radio-wave propagation in ice at Vostok station, Antarctica // Journ. Glaciol. 2003. V. 49. № 165. P. 179–183.
12. Попов С.В., Шереметьев А.Н., Масолов В.Н., Лукин В.В. Береговая черта подледникового озера Восток и прилегающие водоемы: интерпретация данных радиолокационного профилирования // М-лы гляциол. исслед. 2005. Вып. 98. С. 73–80.
13. Попов С.В., Черноглазов Ю.Б. Подледниковое озеро Восток, Восточная Антарктида: береговая линия и окружающие водоемы // Лед и снег. 2011. № 1. С. 13–24.
14. Studinger M., Bell R., Karner G.D. et al. Ice cover, landscape setting and geological framework of Lake Vostok, East Antarctica // Earth Planet. Sci. Lett. 2003. № 205. P. 195–210.

² Авторы выражают благодарность М. Студингеру (Колумбийский Университет, Нью-Йорк) за предоставленные материалы по радиолокационному профилированию, а также Н.В. Каачуриной (ПМГРЭ, Санкт-Петербург) за конструктивные замечания.

15. Попов С.В., Масолов В.Н., Лукин В.В. Озеро Восток, Восточная Антарктида: мощность ледника, глубина озера, подледный и коренной рельеф // Лед и снег. 2011. № 1. С. 25–35.
16. Сорохтин О.Г., Авсюк Ю.Н., Коптеев В.И. Результаты определения мощности ледникового покрова в Восточной Антарктиде // Бюл. САЭ. 1959. № 11. С. 9–13.
17. Капица А.П. Новые данные о мощности ледникового покрова центральных районов Антарктиды // Бюл. САЭ. 1960. № 19. С. 10–15.
18. Drewry D.J., Meldrum D.T. SPRI Folio Series // Pol. Rec. 1978. № 19(120). P. 267–278.
19. Атлас Антарктики. М.–Л.: ГУГК, 1966. Т. 1. 238 с.
20. Короткевич Е.С., Кобленц Я.П., Косенко Н.Г. Карта коренного рельефа Антарктиды. М-б 1 : 10 000 000. М.: Союзморниипроект, 1975.
21. Drewry D.J., Robin G. de Q. Antarctica. Radio echo sounding map series A.3. Ice sheet surface and sub-ice relief ~90°E–180°E. Scale 1 : 5 000 000. Cambridge: SPRI, 1974.
22. Lythe M.B., Vaughan D.G. and the BEDMAP Consortium. BEDMAP – bed topography of the Antarctic. Scale 1:10000. BAS (Misc) 9. Cambridge: British Antarctic Survey, 2000.
23. Lythe M.B., Vaughan D.G. and the BEDMAP Consortium. BEDMAP: A new ice thickness and subglacial topographic model of Antarctica // JGR. 2002. V. 106. № B6. P. 11335–11351.
24. Атлас Океанов. Антарктика / В.И. Куроедов. СПб.: ГУ навигации и океанографии Мин. Обороны РФ, 2005. 280 с.
25. Попов С.В., Лейченко Г.Л., Масолов В.Н. и др. Мощность ледникового покрова и подледный рельеф Восточной Антарктиды (результаты исследований по проекту МПГ) // Вклад России в МПГ: строение и история развития литосферы. М.: Paulsen, 2010. С. 39–48.
26. Ласточкин А.Н., Попов С.В., Попков А.М. Рельеф подледниковой котловины озера Восток (Восточная Антарктида) // Вестн. СПбГУ. 2003. Сер. 7. Вып. 3. № 23. С. 38–50.
27. Popov S.V., Lastochkin A.N., Masolov V.N., Popkov A.M. Morphology of the subglacial bed relief of Lake Vostok basin area (Central East Antarctica) based on RES and seismic data // Antarctica – Contributions to Global Earth Sciences. Berlin Heidelberg New-York: Springer, 2006. P. 141–146.
28. Попов С.В., Леонов В.О., Масолов В.Н. и др. Морфология коренного рельефа района подледникового озера Восток (Восточная Антарктида) // М-лы XXX Пленума Геоморфологической комиссии РАН “Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее”. СПб.: 2008. С. 322–323.
29. Попов С.В., Масолов В.Н. Геоморфологический анализ коренного рельефа района подледникового озера Восток (Восточная Антарктида) // Тез. докл. межд. совещ. по итогам МПГ. Сочи: 2009. С. 31.
30. Попов С.В., Леонов В.О. Подледный рельеф центральной части Восточной Антарктиды (по данным проекта ABRIS) // Геоморфология. 2009. № 3. С. 100–111.
31. Симонов Ю.Г. Геоморфология. СПб.: Питер, 2005. 427 с.
32. Filina I., Lukin V., Masolov V., Blankenship D. Unconsolidated sediments at the bottom of Lake Vostok from seismic data // Antarctica: A keystone in a Changing World – Online Proceedings of the 10th ISAES. USGS Open- File-Report 2007-1047. Short Research Paper 031. 5 p.; doi:10.3133/of2007-1047.srp031.
33. Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности. Л.: Недра, 1991. 340 с.
34. Зинченко А.Г., Ласточкин А.Н. Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации (применительно к задачам Госгеолкарты-1000). М.: ЗАО “Геоинформмарк”, 2001. 38 с.
35. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование // М.: Недра, 1975. 292 с.
36. Исанина Э.В., Крупнова Н.А., Попов С.В. и др. О глубинном строении котловины Восток (Восточная Антарктида) по материалам сейсмологических наблюдений // Геотектоника. 2009. № 3. С. 45–50.
37. Studinger M., Karner G.D., Bell R. et al. Geophysical models for the tectonic frameworks of the Lake Vostok region, East Antarctica // Earth Planet. Sci. Lett. 2003. V. 216. P. 663–677.
38. Киселев А.В., Попков А.М., Усов В.В. К вопросу о возможности наличия консолидированных осадочных отложений в депрессии подледникового озера Восток // Тез. докл. междунар. гляциол. симпозиума. Казань: 2010. С. 142.
39. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. М.–Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. 272 с.

OROGRAPHY OF THE BED-ROCK RELIEF OF SUBGLACIAL LAKE VOSTOK AND ITS VICINITY (EAST ANTARCTIC)

S.V. POPOV, P.I. LUNEV

Summary

On the base of topographic maps of 1 : 500 000 scale the regionalization of the territory was fulfilled. Three geomorphic regions were distinguished: 1 – the Vostok trench – submarine hilly plain of abs. height –900 m, with several depressions and rises; 2 – the Komsomolski mountains with abs. height up to 1580 m; 3 – the Shmidt plain with abs. height about 300 m and relief about 100 m. These regions are complexified by exogenic mesolandforms with different heights, depth of dissection and total morphology.

УДК 551.435.1(470.318)

© 2012 г. Е.Д. ШЕРЕМЕЦКАЯ, О.К. БОРИСОВА, А.В. ПАНИН

ДИНАМИКА ПОСЛЕЛЕДНИКОВОГО ВЫРАВНИВАНИЯ РЕЛЬЕФА МЕЖДУРЕЧИЙ В КРАЕВОЙ ЗОНЕ МОСКОВСКОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА р. ПРОТВЫ)¹

Московский ледниковый покров оставил в центральных областях Восточно-Европейской равнины обширные равнины ледниковой и водно-ледниковой аккумуляции, основные морфологические элементы которых представлены пологосклонными моренными и камовыми холмами и пологими ложбинами стока талых ледниковых вод. После деградации ледника в конце среднего плейстоцена (в разных районах – 130–150 тыс. л.н.) начала формироваться эрозионная сеть, стало происходить быстрое углубление речных долин и образование сети их притоков. Основные геоморфологические события с тех пор были сосредоточены в долинной сети, и большинство исследований истории развития рельефа полосы, лежащей между границами валдайского и московского оледенений, фокусируются именно на флювиальной истории [1–3 и др.]. Развитие рельефа междуречий оставалось в тени событий, происходивших в речных долинах – эрозионно-аккумулятивных циклов с амплитудами в десятки метров, обусловивших формирование сложно построенных долинных комплексов с лестницами террас и глубокими погребенными врезами. На этом “драматическом” фоне медленная эволюция междуречных пространств оставалась слабо изученной. В целом установлено, что после деградации московского оледенения и роста общей глубины расчленения в пределах междуречий происходило последовательное сокращение размаха высот, продолжавшееся на протяжении межледниковых и ледниковых эпох позднего плейстоцена и голоцена [4, 5]. Новые данные, полученные авторами, позволяют более детально реконструировать механизм и хронологию процессов планации междуречий.

Объект исследования

Бутовское верховое болото (площадь 15 га, Боровский район Калужской области, 55°10'с.ш.; 36°25'в.д.) занимает озеровидное расширение в ложбине стока талых ледниковых вод (рис. 1). Ложбина длиной 2.5 км с абс. высотами дна 197–200 м тянется субмеридионально и разделяет поверхность междуречья на изометричные возвышенные массивы с высотами 205–208 м. Днище ложбины субгоризонтальное, шириной около 200 м; ширина ложбины по бровкам – до 1.2 км, глубина – 6–9 м, кру-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-05-00340).