

EVALUATION OF THE MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE FLOODPLAIN TO DISTINGUISH IT'S DIFFERENT-AGE GENERATIONS (THE UPPER KAMA AS AN EXAMPLE)

N.N. NAZAROV, S.V. KOPYTOV

Summary

Researches of floodplain relief were surveyed on the upper Kama from the Bondyug village to the Vishera mouth. Current aerial photographs, space images and topographic maps were used. An absolute and relative elevation, the ratio of low levels of Kama river and the edges of the water surface of oxbow lakes, the radii of curvature of oxbow lakes, old river beds and dry ones can be used as morphometric characteristics of floodplain topography, reflecting the geomorphological differences and the uniqueness of different age floodplain generations. The most stable geomorphological indications of identity, by which one may establish and if necessary adjust relative age of the floodplain generations are present in the first, third and sixth generations.

Keywords: floodplain, floodplain generation, morphometry, Kama river

doi: 10.15356/0435-4281-2015-4-79-85

УДК 551.4.03

© 2015 г. С.В. ПОПОВ

ГИПСОГРАФИЧЕСКАЯ КРИВАЯ ПОДЛЕДНО-ПОДВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ¹

ПМГРЭ, СПб., Ломоносов, Россия; sporov67@yandex.ru

Введение

Исследования полярных областей нашей планеты за последние два десятилетия ознаменовались большими достижениями. Особенно значимые результаты были получены при изучении рельефа территорий, перекрытых ледником. Ведущая роль при этом, принадлежит работам на острове Гренландия и в Антарктиде. Изучение подледно-подводного рельефа последней выполнялось в рамках международного проекта *BEDMAP* (“*Топография коренного ложа Антарктики*”). Он был завершен в 2000 г. созданием базы данных и изданием карты высот подледно-подводной поверхности [1, 2]. Эти материалы стали основой геоморфологической интерпретации, приведенной, в частности, в [3–6].

В 2011 г. была инициирована вторая генерация проекта *BEDMAP*, *BEDMAP2*, завершившаяся в 2012 г. обновлением базы данных и предыдущих карт [7]. Появление новых данных о высотах подледно-подводной поверхности Антарктиды [7, 8] требует обновления существующих геоморфологических карт этого континента и необходимости создания отсутствующей ныне [9–11] единой системы районирования по высотному признаку, которая учитывает скрытый подо льдом рельеф скального основания полярных регионов. При этом нельзя ограничиваться лишь Антарктидой. В Арктике также имеются достаточно мощные и обширные ледники. Прежде всего это о-в Гренландия, архипелаги Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и Северная Земля, а также острова Девон и Элсмир, входящие в состав Канадского арктического архипелага.

В качестве первого шага в создании системы районирования автор видит анализ высот подледно-подводной поверхности нашей планеты и составление новой гипсографической кривой. Она и методика ее построения излагаются в настоящей работе.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-00234-а).

Использованные данные

В современной геофизике цифровые модели полей (в т.ч. и высот) принято создавать на основе интерполяции данных на регулярную сеть (для удобства будем употреблять термин “матрица высотных отметок”). Это позволяет оптимизировать процесс обработки, особенно при наличии значительного объема данных.

Надо отметить, что сводная цифровая модель высот подледно-подводной поверхности нашей планеты, приемлемая для решения поставленной задачи качества, отсутствует. В связи с этим автору пришлось выполнять расчеты по имеющимся отдельным участкам, а затем объединять результаты.

Для формирования гипсографической кривой подледно-подводной поверхности нашей планеты вначале обрабатывались данные спутниковой альтиметрии *EarthEnv-DEM90* [12]. Эта база данных включает в себя три различных источника: материалы проектов *ASTER GDEM2*, *CGIAR-CSI SRTM v4.1* и *GLSDEM*. Материалы представлены матрицами высотных отметок поверхности суши двух размеров: 5×5 угловых градуса в области между 60° ю.ш. и 80° с.ш. и 5×3 угловых градуса в области между 80° с.ш. и 83° с.ш. Таким образом, имеется 2016 т.н. “тайлов” (от англ. tiles – плитки): 72 с запада на восток и 28 с юга на север. Пятиградусные и трехградусные матрицы высотных отметок содержат 36 и 21.6 млн узлов, соответственно, с интервалом между узлами 3 угловых секунды (0.00083°). Таким образом, они содержат в общей сложности 71.539 млрд узлов, построенных в системе координат WGS-84, которые покрывают территорию от 60° ю.ш. до 83° с.ш. Среднеквадратичное отклонение по высоте оценивается в 10.556 м [12].

Далее, из *EarthEnv-DEM90* требовалось изъять часть узлов, которые располагаются в пределах Мирового океана, континентальной гидросети, полярных ледников, а также о-ва Гренландия. Это было выполнено сначала путем маскирования матриц высотных отметок береговыми линиями *GSHHG* (“*Global Self-consistent Hierarchical High-resolution Shorelines*”, “*Всемирная самосогласованная иерархическая береговая линия высокого разрешения*”) [13]. В рамках настоящей работы были использованы база версии 2.3.1 от 1 июля 2014 г., а также два типа наиболее детальных кривых L1 и L2. Они содержат 179819 и 6647 кривых, состоящих в общей сложности из 9437587 и 831536 точек, соответственно.

Учет ледников является главной частью настоящего научного исследования. Ситуация упрощается тем, что подледно-подводный рельеф Антарктиды и о-ва Гренландия известен с достаточной детальностью. Несмотря на то, что Антарктида даже сейчас, в начале третьего тысячелетия, полностью не изучена, на матрицах высот и мощностей ледника, построенных в рамках проекта *BEDMAP2*, нет “белых пятен”. Области, на которых информация отсутствует, представлены интерполированными значениями. Если для нужд глобальных тектонических и гляциологических построений в масштабах планеты в целом это может быть оправдано, то для геоморфологической интерпретации данный подход нельзя считать приемлемым. В связи с этим автор маскировал матрицы высотных отметок, оставив лишь те области, где были проведены геофизические съемки. Результат маскирования представлен в работе [8].

Общая площадь ледников Северной полярной области, исключая о-ов Гренландия, составляет 255.703 тыс. км² [14], т.е. всего 0.2% площади поверхности суши. При этом их мощность порой превышает 800 м [14–20]. Поскольку данные о подледной поверхности этих территорий фрагментарны, они были исключены из рассмотрения. Наиболее современные представления о подледно-подводной поверхности о-ва Гренландия, включая обширный участок дна Северного Ледовитого и Атлантического океанов и окраинных морей, представлены в работе [15].

Оставшаяся площадь горных ледников составляет 280.921 тыс. км² [14]. Обратимся к базе данных [21]. Она включает в себя различную информацию о 132890 ледниках по состоянию на февраль 2012 г. Ее анализ показывает, что средняя мощность горных ледников, расположенных в умеренных и более низких широтах, составляет менее

100 м. Разумеется, отдельные ледники бóльшей мощности имеются, однако ввиду крайне незначительной занимаемой территории они никак не могут оказать сколь угодно значимое влияние на наши построения. Таким образом, вклад горных ледников в изменение гипсографической кривой может не учитываться.

Для маскирования областей, занимаемых полярными ледниками, использовались результаты проекта *GLIMS* (“*Global Land Ice Measurements from Space*”, “*Общепланетарные изменения ледников суши из космоса*”). В рамках настоящей работы использовалась версия 3.2 от 06.09.2013 [22, 23]. Она включает в себя в общей сложности 386496 ледников, контуры (шейп-файлы ArcGIS) которых состоят из 34404655 точек.

На следующем этапе были подготовлены данные по глубинам Мирового океана на основе проекта *GEBCO* (“*General Bathymetric Chart of the Oceans*”, “*Сводная батиметрическая карта океанов*”). Его результат – матрица, охватывающая поверхность нашей планеты между $89^{\circ}59'45''$ ю.ш. и $89^{\circ}59'45''$ с.ш. Данные разделены на 10 тайлов протяженностью 180° по долготе и 30° по широте. Границами матриц являются долгота Гринвича и 180° в.д. Интервал между узлами составляет 30 угловых секунд (чуть менее 1 км в широтном направлении). Таким образом, размер каждого тайла составляет 21600×43200 узлов, т.е. 933120000 точек [24].

На заключительном этапе были подготовлены материалы по высотам подледно-подводной поверхности Антарктиды [8] и о-ву Гренландия [15].

Методика построения гипсографических кривых

Гипсографическая кривая – это, согласно [25], «...кривая, показывающая в прямоугольных координатах относительное площадное распределение высот суши и глубин моря на поверхности “твердой” Земли. Строится путем отложения по оси ординат высот и глубин, а по оси абсцисс – площадей распространения (в процентах или абсолютных величинах) определенных высот и глубин». Для ее построения, каждая матрица пересчитывалась в файл, содержащий значение высоты в ее узле и его площади. При вычислении последней предполагалось, что область, соответствующая узлу с координатами (x, y) , характеризуется координатами юго-западного и северо-восточного углов $(x-dx, y-dy)$ и $(x+dx, y+dy)$, где dx и dy – половина расстояния между узлами матрицы по осям абсцисс и ординат, соответственно.

Матрица отметок высот подледно-подводной поверхности Антарктиды построена в прямоугольных координатах, и вычисление площадей каждого узла является тривиальной задачей. Остальные матрицы представлены в географических координатах. Это означает, что площадь каждого узла различна, и для ее вычисления необходимо использовать геодезические расчеты на эллипсоиде WGS-84.

Анализ высот поверхности суши

На рис. 1 представлены кривые распределения высот и гипсографические кривые подледно-подводной и “твердой” (т.е. вместе со всеми ледниками) поверхности нашей планеты. При составлении последней была использована дневная поверхность Антарктиды по данным проекта *RAMP2* [26], которой была заменена подледно-подводная поверхность по данным *VEDMAP2* [8] в пределах береговой линии континента.

Из графиков видно, что вклад ледников заметен. Видимые наибольшие различия имеются в интервале высот приблизительно от 1500 до 4000 м. Они связаны главным образом с внутренними районами Антарктиды, где мощности ледника превышают 3500 м. Различия также имеются в интервале абс. высот приблизительно от -1000 до 200 м, которые связаны преимущественно с районами шельфовых ледников Антарктиды.

На рис. 2 показаны кривые распределения высот и гипсографические кривые подледно-подводной и “твердой” поверхности суши (т. е. без учета батиметрии Миро-

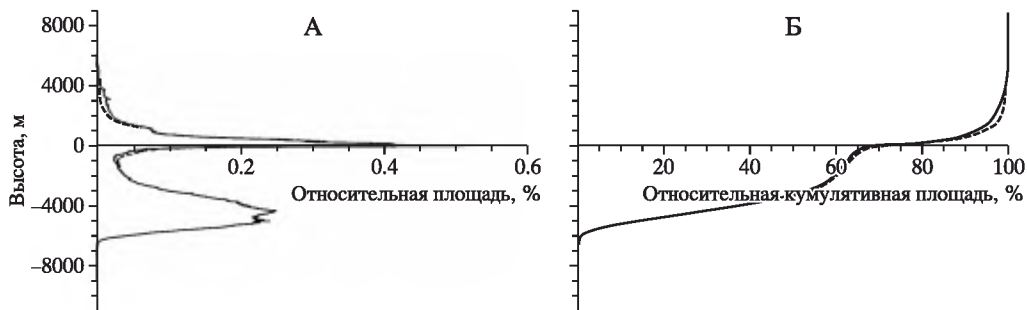


Рис. 1. Кривые распределения высот (А) и гипсографические кривые (Б) нашей планеты. Сплошная линия – кривые, соответствующие “твердой” поверхности; пунктир – кривые, соответствующие подледно-подводной поверхности

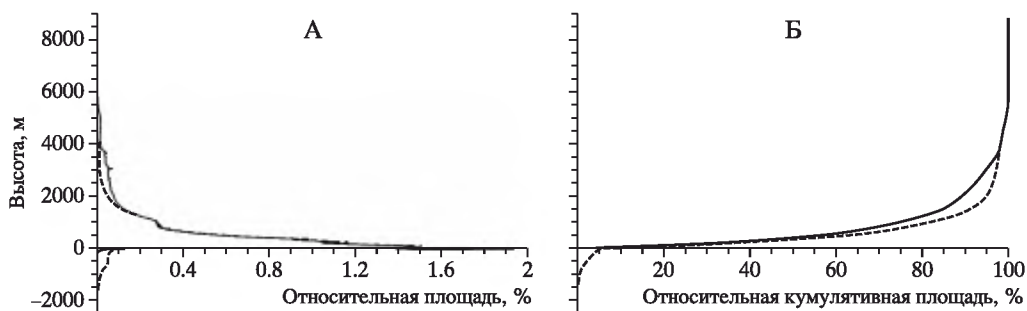


Рис. 2. Кривые распределения высот (А) и гипсографические кривые (Б) суши нашей планеты. Усл. обозначения см. рис. 1

вого океана) нашей планеты. Вклад полярных ледников, особенно Антарктиды, еще более заметен. В частности, область отрицательных высот практически полностью (за исключением низменностей Европы) связана с подледным рельефом внутренних районов этого континента, в частности, районами подледникового озера Восток, подледного бассейна Аврора, котловины Уилкса и проч.

Вычислим средние высоты подледно-подводной поверхности и поверхности суши на основе полученных данных. Для этого требуется по всем интервалам высот просуммировать произведения высоты на занимаемую ей относительную площадь. Расчеты показывают, что они составляют 605 и 800 м, соответственно. Различие в приведенных значениях наглядно демонстрирует, насколько велик вклад ледников нашей планеты.

Заключение

Кривая плотности распределения высот может стать статистически обоснованным критерием для универсального и естественного подразделения земной поверхности по высотному признаку (*таксономии вертикального ряда*, если следовать терминологии Ю.Г. Симонова [10]). Это, в свою очередь, позволит создать геоморфологические карты (и, в частности, орографические) не только Антарктиды, но и Северной полярной области, согласованные в единой легенде с картами на остальную территорию нашей планеты.

Поскольку границы подразделений земной поверхности по высотному признаку должны быть статистически значимыми, в качестве пути автор видит математический

анализ гипсографической кривой. Практически это означает, что границы подразделений будут тяготеть к участкам кривой плотности распределения высот, на которых она изменяет свой характер. Однако это вопрос отдельного научного исследования².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lythe M.B., Vaughan D.G., the BEDMAP Consortium.* BEDMAP: A new ice thickness and subglacial topographic model of Antarctica // *Journ. Geophys. Res.* 2001. V. 106. № B6. P. 11335–11351.
2. *Lythe M.B., Vaughan D.G., the BEDMAP Consortium.* BEDMAP- bed topography of the Antarctic, 1: 10 000 000 scale map. BAS (Misc) 9. Cambridge: British Antarctic Survey, 2000.
3. *Ласточкин А.Н., Попов С.В.* Геоморфологическое районирование Антарктики // *Вестн. СПбГУ.* Сер. 7. 2004. № 3. P. 26–42.
4. *Ласточкин А.Н., Попов С.В., Мандрикова Д.В.* Обзорное аналитическое картографирование подледно-подводного рельефа Антарктики по системно-морфологическому принципу // *Геоморфология.* 2005. № 3. P. 87–97.
5. *Ласточкин А.Н.* Орографическая карта Антарктики // *Вестн. СПбГУ.* Сер. 7. 2005. № 3. С. 49–61.
6. Геоморфологический атлас Антарктиды. СПб.: ЗАО “Карта”, 2011. 256 с.
7. *Fretwell P., Pritchard H.D., Vaughan D.G. et al.* Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica // *Cryosph.* 2013. V. 7. P. 375–393.
8. *Попов С.В.* Ландшафт каменной поверхности Антарктиды (по данным международного проекта BEDMAP2) // *Геоморфология и картография / Мат-лы XXXIII Пленума геоморфологической комиссии РАН.* Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. С. 230–234.
9. *Ласточкин А.Н.* Системно-морфологический подход к определению сложных геоморфологических образований (в связи с картографированием подводно-подледного рельефа Антарктики). I. Место и значение орографии в науке и практике // *Вестн. СПбГУ.* Сер. 7. 2004. № 1. С. 33–45.
10. *Симонов Ю.Г.* Геоморфология. СПб.: Питер, 2005. 427 с.
11. *Шукин И.С.* Общая геоморфология. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1960. 616 с.
12. *Robinson N., Regetz J., Guralnick R.P.* EarthEnv-DEM90: A nearly-global, void-free, multi-scale smoothed, 90 m digital elevation model from fused ASTER and SRTM data // *ISPRS Journ. Photogramm. Remote Sens.* 2014. V. 87. P. 57–67.
13. *Wessel P., Smith W.H.F.* A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database // *Journ. Geophys. Res.* 1996. V. 101. № B4. P. 8741–8743.
14. *Williams R.S. Jr., Ferrigno J.G. (eds)* State of the Earth’s cryosphere at the beginning of the 21st century – Glaciers, global snow cover, floating ice, and permafrost and periglacial environments // *U.S. Geological Survey Professional Paper 1386–A.* 2012. 546 p.
15. *Bamber J.L., Griggs J.A., Hurkmans R.T.W.L. et al.* A new bed elevation dataset for Greenland // *Cryosph.* 2013. V. 7. № 2. P. 499–510.
16. *Леонов В.О., Попов С.В.* Коренной рельеф Земли Франца-Иосифа по данным радиолокационного и магнитного зондирования // *Мат-лы гляциологич. исслед.* 1997. № 82. С. 208–212.
17. *Попов С.В., Щеринов А.С., Петухов В.Н. и др.* Ледниковый покров и подледный рельеф островов Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа и Новой Земли // *XIII Гляциологический симпозиум “Сокращение гляциосферы факты и анализ”.* СПб. 2004. С. 112.
18. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: Наука, 1997. 392 с.
19. *Dowdeswell J.A., Benham T.J., Gorman M.R. et al.* Form and flow of the Devon Island Ice Cap, Canadian Arctic // *Journ. Geophys. Res.* 2004. V. 109. F02002. doi:10.1029/2003JF000095.
20. *Narod B.B., Clarke G.K.C., Prager B.T.* Airborne UHF sounding of glaciers and ice shelves, northern Ellesmere Island, Arctic Canada // *Can. Journ. Earth Sci.* 1988. V. 25. № 1. P. 95–105. doi:10.1139/e88-010.

² Автор выражает благодарность сотруднику ПМГРЭ О.Б. Соболеву за конструктивную критику настоящей работы, а также рецензентам, рекомендации которых позволили существенно ее улучшить.

21. WGMS and NSIDC. 1989, updated 2012. World Glacier Inventory. Compiled and made available by the World Glacier Monitoring Service, Zürich, Switzerland, and the National Snow and Ice Data Center, Boulder CO, U.S.A. doi: 10.7265/N5/NSIDC-WGI-2012-02.
22. Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 3.2 // GLIMS Technical Report. 31 Aug. 2013. 42 p.
23. Paul F., Barrand N.E., Baumann S. et al. On the accuracy of glacier outlines derived from remote-sensing data // Ann. Glaciol. 2013. V. 54. P. 171–182.
24. The General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO). Digital Media, October 2010.
25. Ахромеев Л.М. Геоморфологический словарь-справочник. Брянск: Изд. БрянскГУ, 2002. 320 с.
26. Liu H., Jezek K., Li B. Development of Antarctic digital elevation model by integrating cartographic and remotely sensed data: A geographic information system based approach // Journ. of Geophys. Res. 1999. V. 104. P. 23199–23213.

Поступила в редакцию 26.08.2014

HYPSOGRAPHIC CURVE OF THE EARTH'S SURFACE WITH ICE AND WATER DELETED

S.V. POPOV

Summary

The distribution curve of the heights and hypsographic curve of the Earth were compiled on the basis of the current data on the surface elevation and the bedrock topography of our planet. The dataset included the satellite data, bathymetry data for the World Ocean and the bedrock topography of Greenland and Antarctica – the most important glaciers of our planet. The results show that taking into account the ice cover has a significant impact on the shape of the curves. The greatest differences are in the ranges of heights between 1500 and 4000 m and between –1000 and –200 m. According to calculations, the average altitude of the land surface and the stone surface is 800 m and 605 m, respectively.

Keywords: hypsographic curve, Earth surface elevation, bedrock of the Earth.

doi:10.15356/0435-4281-2015-4-85-90

УДК 551.435.627(234.9)

© 2015 г. С.В. ШВАРЕВ

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ДРЕВНЕГО КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ОПОЛЗНЯ В ДОЛИНЕ РЕКИ ПСЛУХ (ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

*Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Институт географии РАН,
Москва, Россия; shvarev@ifz.ru, sergeyshvarev@mail.ru*

Введение

Проблема картографирования проявлений катастрофических склоновых процессов продолжает оставаться весьма актуальной, поскольку крупные оползни, сели, обвалы и их парагенетические комплексы – одни из основных агентов разрушения технических сооружений и гибели людей в горных районах при аномальных, преимущественно метеорологических или сейсмических явлениях. Их точное местоположение, тип, особенности развития служат определяющими параметрами для планирования и безопасной реализации различных видов хозяйственной деятельности.