

ВОЗМОЖНОСТИ SAGA GIS ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИИ СЕЛЕВОЙ ОПАСНОСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ

Владимир Павлович Ступин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (964)103-08-17, e-mail: Stupinigu@mail.ru

Рассмотрены возможности и ограничения SAGA GIS для обработки ЦМР и материалов ДЗЗ свободного доступа в интересах специализированного картографирования селевой опасности Прибайкалья. Выполнено сравнение результатов обработки ЦМР SRTM и ASTER GRID, а также спектрозональных снимков, полученных со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 в среде SAGA. Определены наиболее эффективные инструменты ГИС-анализа территорий с точки зрения оценки потенциальной опасности сходов селевых потоков по материалам дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: SAGA GIS, ГИС-анализ ЦМР и данных ДЗЗ, селевая опасность

POSSIBILITIES OF THE SAGA GIS IN THE STUDY AND MAPPING OF THE DEBRIS FLOW HAZARD OF THE BAIKAL MOUNTAIN COUNTRY

Vladimir P. Stupin

Irkutsk State Technical University, 83, Lermontova St., Irkutsk, 664074, Russia, D. Sc., Professor Department of Surveying and Geodesy, phone: (964)106-08-17, e-mail: Stupinigu@mail.ru

The possibilities and limitations of SAGA GIS for processing DEM and remote sensing materials of free access in the interests of specialized mapping of debris flow hazard in the Baikal region are considered. The results of processing the SRTM and ASTER GRID DEMS, as well as the spectrosonal images obtained from the Landsat-8 and Sentinel-2 satellites in the SAGA environment are compared. The most effective tools of GIS-analysis of territories from the point of view of the potential hazard assessment of debris flows based on remote sensing data are determined.

Keywords: SAGA GIS, GIS analysis of DEM and remote sensing data, debris flow hazard

Введение

Исследование, картографирование и мониторинг обширных и труднодоступных горных территорий Прибайкалья требует широкого использования материалов дистанционного зондирования (ДЗЗ) Земли и их обработки с помощью современных ГИС-технологий [1–3]. В первую очередь это касается обработки цифровых моделей рельефа (ЦМР) и спектрозональных снимков. В то же время, известные проблемы экономического характера обуславливают необходимость максимального использования в этих исследованиях материалов ДЗЗ свободного доступа и программного обеспечения с открытым кодом. В связи с этим появляется необходимость исследования возможностей и ограничений указанных материалов и программ. Исходя их вышесказанного, на примере эталонного

участка схода Аршанских селей 28 июня 2014 года [4–6] в данной статье рассматриваются некоторые аспекты специализированной обработки общедоступных исходных материалов: ЦМР SRTM и ASTER GRID, а также спектрально-зональных снимков миссий Landsat-8 и Sentinel-2A в среде SAGA GIS 7.9.0 – ГИС с открытым кодом [7–9] в интересах картографирования селевой опасности Байкальской горной страны.

Методы и материалы

IS обладает достаточно мощным инструментарием, который позволяет по ЦМР создавать производные цифровые геоморфометрические модели земной поверхности, выполнять их математический анализ, а также выявить взаимосвязи между рельефом и другими компонентами ландшафта.

Алгоритмы обработки ЦМР в SAGA используют методы и подходы дифференциальной геометрии, вычислительной математики и геоинформатики, которые позволяют определять атрибуты форм (морфологии) рельефа и (что особенно важно при исследовании селей) гравитационно обусловленные атрибуты потоков вещества и энергии по его поверхности и создать на их основе геоморфометрические карты [10].

Ниже перечислены наиболее эффективные, на наш взгляд, в рамках нашего исследования инструменты SAGA по отображению разных локальных геоморфометрических параметров рельефа.

Terrain Map View. Этот инструмент позволяет создавать по ЦМР различные визуализации рельефа:

- топография: простая карта с горизонталями, непрерывной или градиентной гипсометрической шкалой высот с аналитическим затенением местности;
- морфология: карта, которая визуализирует рельеф, сочетая положительную и отрицательную открытость с крутизной склонов на одной карте. В отличие от обычных методов затенения, этот метод имеет то преимущество, что он не зависит от направления источника света [11].

3D View. Инструмент позволяет создавать трехмерные модели с возможностями вращения, увеличения вертикального масштаба и анаглифического просмотра. В контексте нашего исследования весьма полезная функция, наложения изображений на ЦМР в 3D режиме отображения.

Slope (крутизна склонов). Угол между горизонтальной и тангенциальной плоскостями в данной точке земной поверхности. Определяет скорость потоков, перемещающихся вдоль поверхности под действием гравитации [12].

Plan Curvature (горизонтальная кривизна). Кривизна нормального сечения, выделенного гравитацией, тангенциального горизонтали в данной точке земной поверхности. Мера конвергенции потоков, перемещающихся вдоль поверхности под действием гравитации: конвергируют если коэффициент горизонтальной кривизны меньше нуля; дивергируют, если больше нуля [12].

Profile Curvature (вертикальная кривизна). Кривизна нормального сечения, выделенного гравитацией, имеющего общую касательную с линией скольжения

в данной точке. Мера относительного замедления потоков, перемещающихся вдоль поверхности под действием гравитации: замедляются если коэффициент вертикальной кривизны меньше нуля 0; ускоряются, если больше нуля [12].

Topographic Wetness Index (TWI – топографический индекс влажности) Рассчитывается на основании совместного учета уклона и удельной площади водосбора. Чем больше значение данного параметра на каком-либо участке (ячейки растра), тем более предрасположен данный участок к накоплению воды. Положительные значения (синие) – большая предрасположенность к накоплению воды. Отрицательные значения (оранжевые) – большая предрасположенность к отторжению воды (сток с этих участков) [13, 14].

LC Factor. Коэффициент длины склона, используется для расчета смыва почвы на основе уклона и площади водосбора качестве замены длины склона [8].

Кроме анализа и работы с ЦМР, программа позволяет выполнять многие операции по обработке спектрзональных и панхроматических снимков ДЗЗ, включая их синтез и автоматизированное дешифрирование, а также осуществить наложение снимков на 3D модель на основе ЦМР.

Кратко охарактеризуем исходные материалы, подвергнутые исследованию:

1. Доступная с сайта USGS (США) ЦМР SRTM, построенная методом интерферометрии по радиолокационным снимкам с американского корабля Shuttle. Размер ячейки SRTM на район исследований составляет 3"×3" (90×90 м) [15, 16].

2. ЦМР ASTER GDEM (источник тот же) по фотограмметрическим методам по снимкам, полученным со спутника Terra (Япония, США). Размер ячейки ASTER GDEM 1"×1" (30×30 м) (рис. 1) [17].

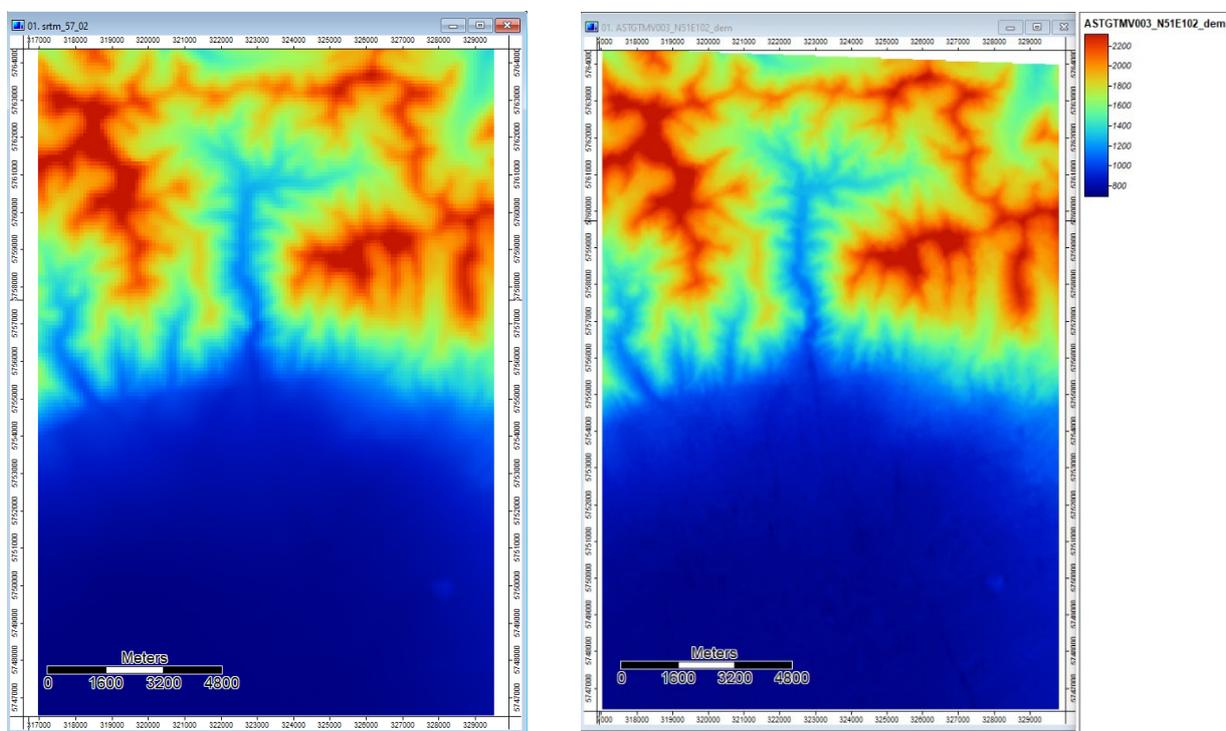


Рис. 1. Фрагменты ЦМР SRTM (слева) и ASTER GDEM (справа) на эталонный участок

3. Спектрозональные снимки с американского спутника Landsat-8 с разрешением 30 м/пикс в видимом диапазоне, ближнем и среднем ИК диапазонах, а также с разрешением 15 м/пикс в панхроматическом [18, 19].

4. Спектрозональные снимки с европейского спутника Sentinel-2 с разрешением 10 м/пикс в ближнем и среднем ИК диапазонах [20] (рис. 2).

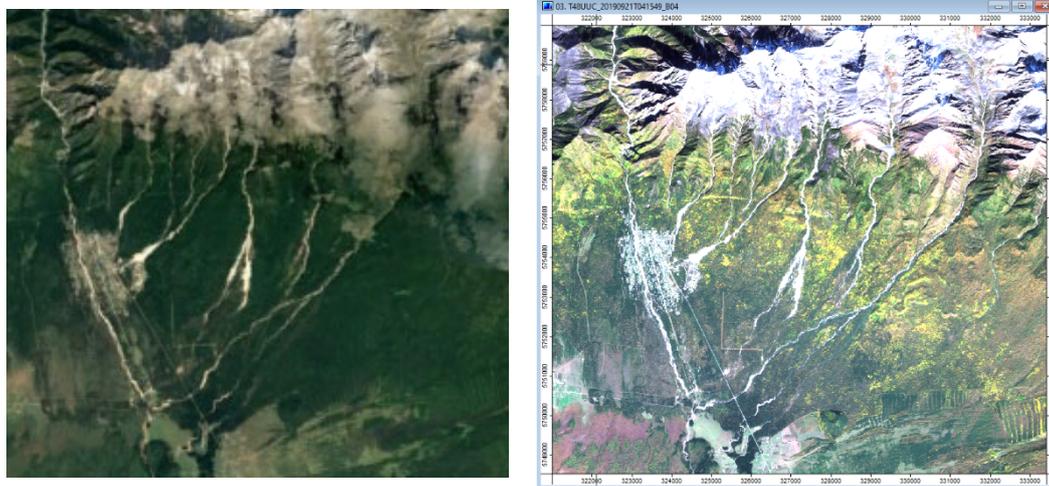


Рис. 2. Фрагменты снимков Landsat-8 (слева) и Sentinel-2 (справа) на эталонный участок

Результаты

1. В модуле Terrain Map по обеим ЦМР построены гипсометрические карты с горизонталями и теневой отмывкой (рис. 3).

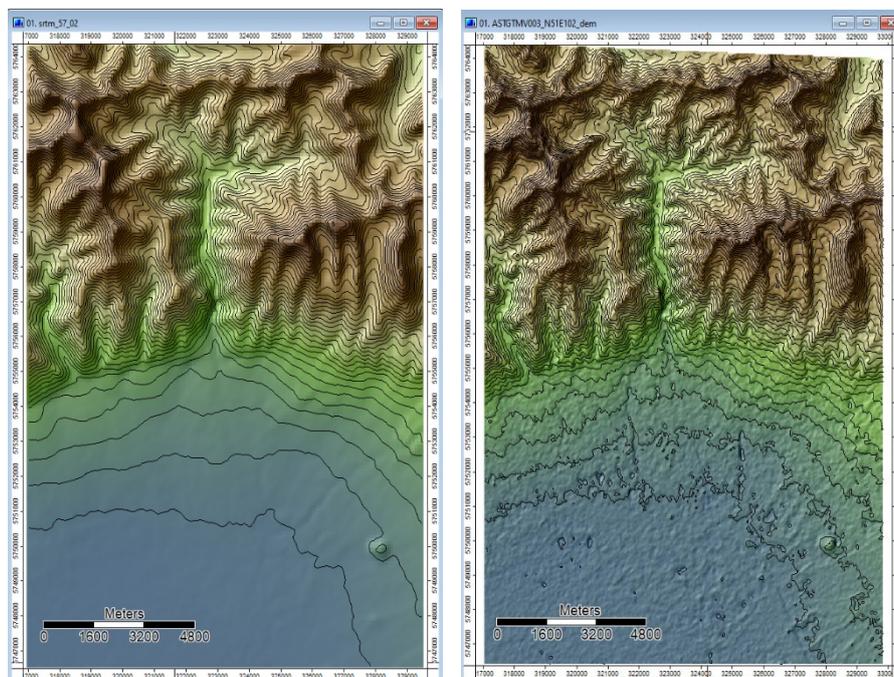


Рис. 3. Гипсометрические карты, построенные по ЦМР SRTM (слева) и ASTER GDEM (справа). Горизонталы проведены через 20 м

2. В модуле Slope построены карты крутизны склонов (рис. 4).

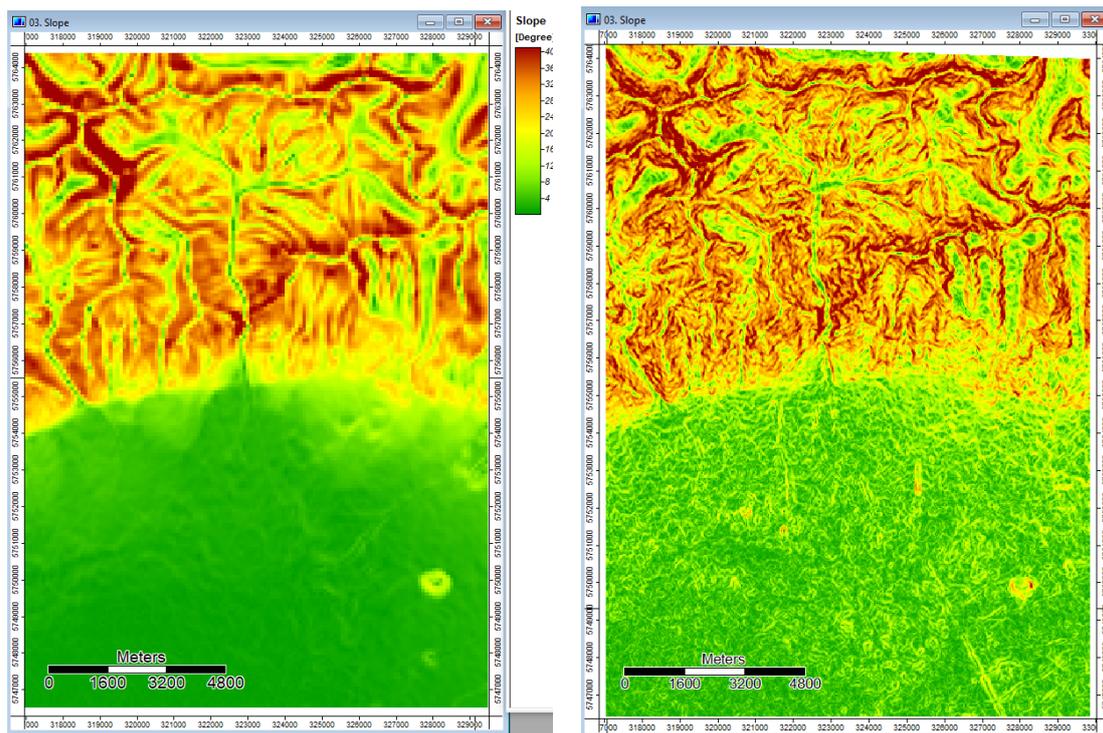


Рис. 4. Карты крутизны склонов, построенные по ЦМР SRTM (слева) и ASTER GDEM (справа).

3. В модуле Plan Curvature построены карты плановой кривизны (рис. 5).

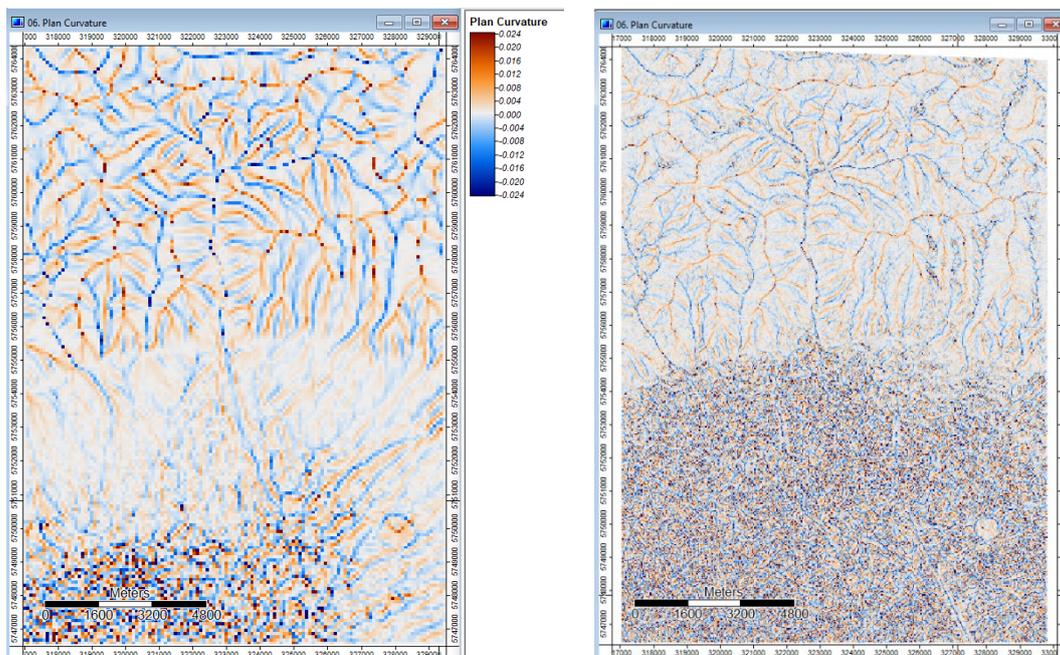


Рис. 5. Карты горизонтальной кривизны, построенные по ЦМР SRTM (слева) и ASTER GDEM (справа)

4. С помощью инструмента Profile Curvature составлены карты профильной кривизны (рис. 6).

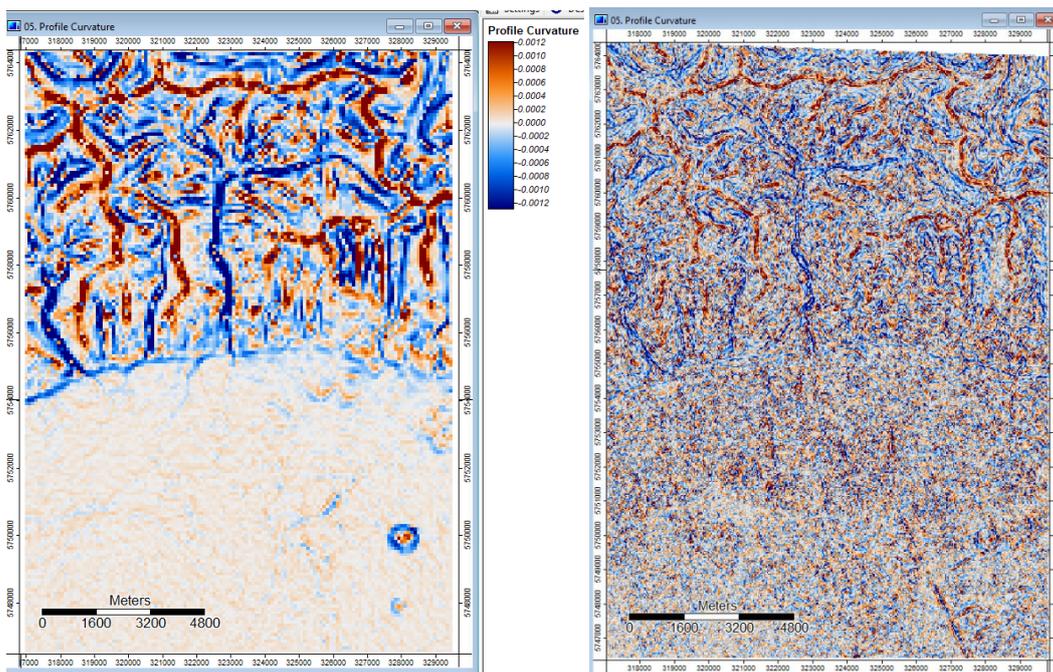


Рис. 6. Карты вертикальной кривизны, построенные по ЦМР SRTM (слева) и ASTER GDEM (справа)

5. С помощью инструмента Total Catchment Area составлены карты водосборных площадей (рис. 7).

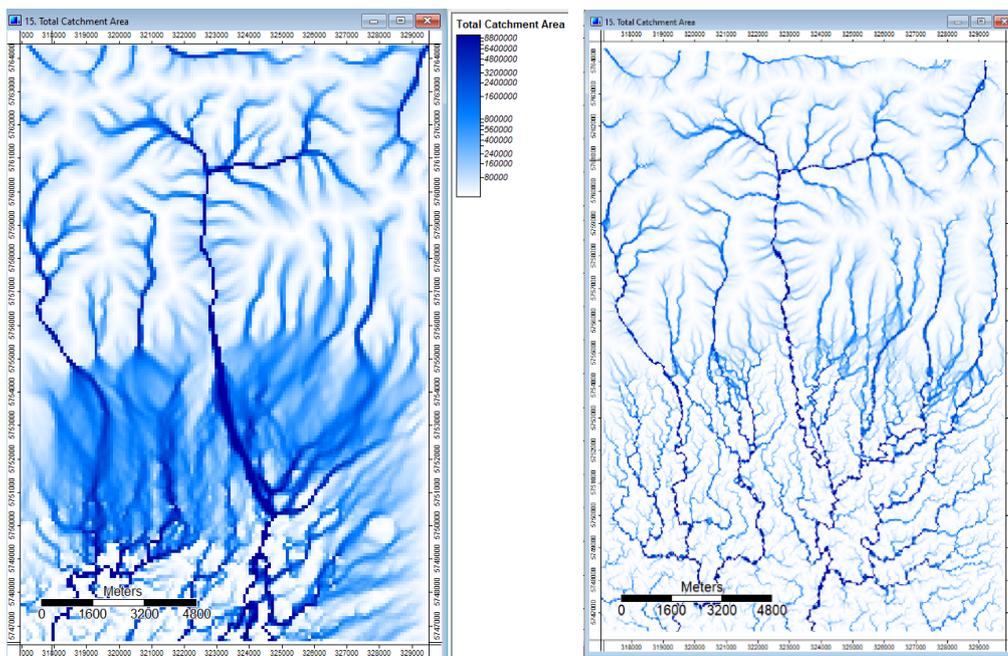


Рис. 7. Карты водосборных площадей, построенные по ЦМР SRTM (слева) и ASTER GDEM (справа)

6. С помощью инструмента Topographic Wetness Index построены карты Топографических индексов влажности (рис. 8).

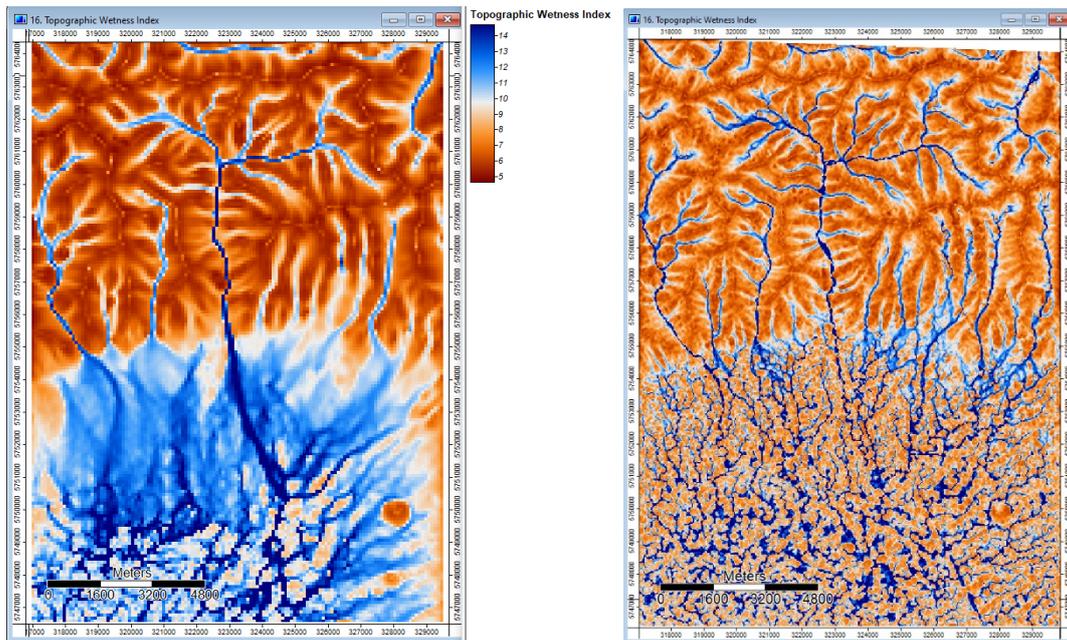


Рис. 8. Карты Топографических индексов влажности, построенные по ЦМР SRTM (слева) и ASTER GDEM (справа)

7. С помощью инструмента LS-Factor построены LS карты (рис. 9).

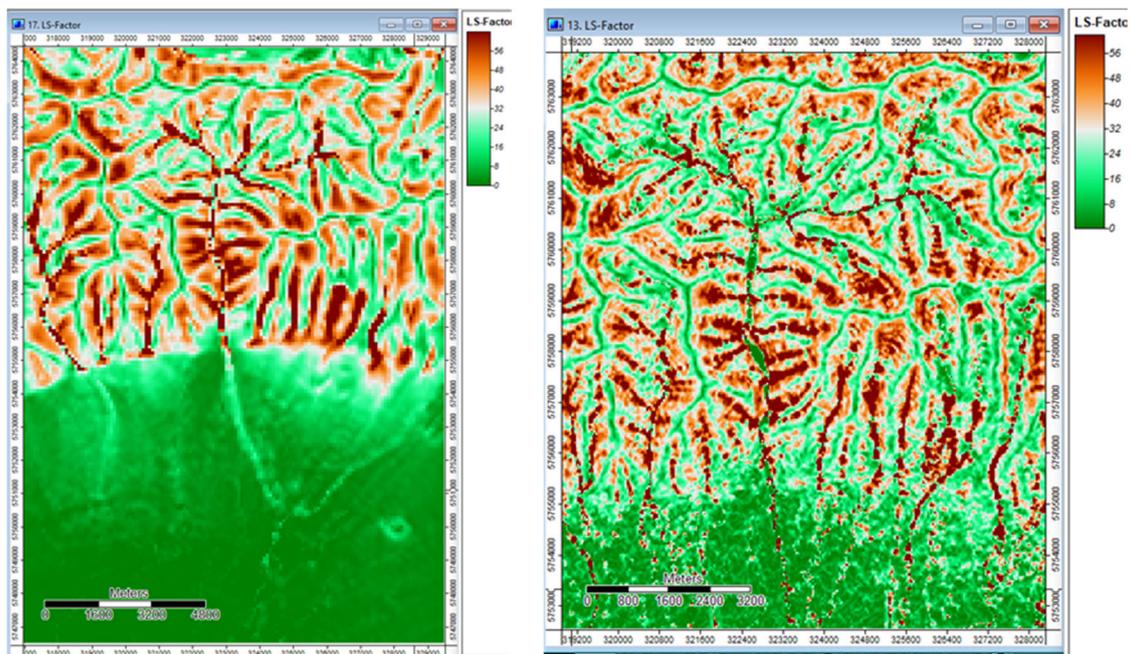


Рис. 9. LS Карты, построенные по ЦМР SRTM (слева) и ASTER GDEM (справа)

Обсуждение

На рис. 3 хорошо видно, что горизонтали на правой карте, несмотря на то, что разрешение ASTER GDEM в три раза выше разрешения SRTM, сильно зашумлены, особенно в пределах ровного пролювиального предгорного шлейфа. По-видимому, это происходит за счет того, что в высотах в модели ASTER GDEM не устранены ошибки, вызванные растительным покровом и постройками.

По той же причине на ЦМР ASTER GDEM сильно зашумлены выровненные котловинные участки на картах крутизны (рис. 4), плановой и профильной кривизны (рис. 4, 5), индексов TWI и LC (рис. 8, 9).

Склоновые селевые русла, столь характерные для трогов и каров исследуемого региона, не отображаются на обеих ЦМР. Русла долинных селей I порядка и выше, в свою очередь, хорошо читаются на морфометрических картах, построенных по обеим ЦМР, причем на построенных по SRTM даже лучше, чем на построенных по более фрагментированной и грешащих артефактами ASTER GDEM.

Наложение материалов ДЗЗ на ЦМР предоставляет дополнительные возможности для интерпретации ЦМР и дешифрирования снимков [3] (рис. 10). На этой 3D модели прекрасно видны сошедшие в 2014 г. сели. Также можно видеть, что эти селевые формы хорошо коррелируют с линейными элементами карт опций Total Catchment Area и Topographic Wetness Index (рис.7, 8).

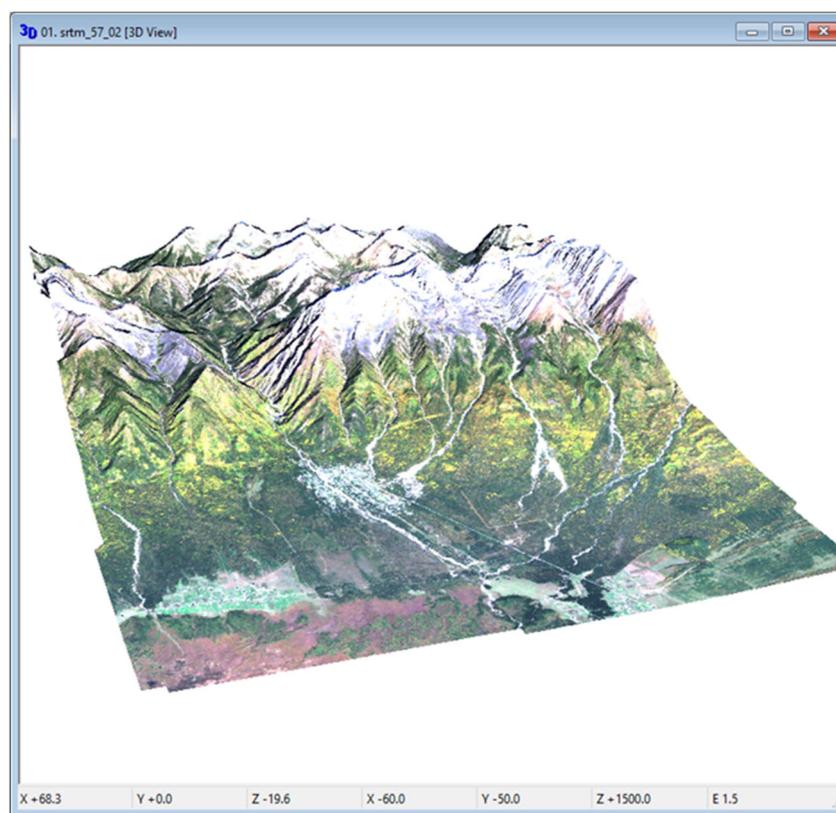


Рис. 10. 3D модель эталонного участка, текстурированная снимком Sentinel

Таким образом, проведенные исследования показали высокую эффективность использования SAGA GIS – геоинформационной системы с открытым кодом при обработке ЦМР свободного доступа, совместно с обработкой свободно распространяемых спектрональных изображений со спутников Landsat и Sentinel в интересах картографирования селевой опасности на региональном уровне с опорой на материалы, полученные при исследованиях и наблюдениях на эталонных участках.

Заключение

Инструменты SAGA GIS позволяют по геоморфометрическим показателям выявлять на ЦМР с шагом сетки 30–90 м потенциально селеопасные русла 1–2 порядков и простые бассейны площадью 10–50 кв. км и, тем более, подверженные селевым паводкам русла и бассейны более высоких порядков. Склоновые сели менее 2 кв. км на таких ЦМР не отражаются. Однако, если их декорировать снимками относительно высокого (Sentinel) или даже среднего (Landsat) разрешения, то на них можно выявлять даже небольшие склоновые сели. Это позволяет составлять по этим материалам среднемасштабные (1:200000–1:500000) и даже крупномасштабные (1:25000–1:50000) специализированные селевые карты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дистанционный мониторинг и картографирование селевой опасности Южного Прибайкалья. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита / Пластинин Л.А., Ступин В.П., Олзоев Б.Н. Сыренов Д.Г. // Материалы IV Международной конференции, Иркутск : 2016, С. 203–207.
2. Ступин В.П., Пластинин Л.А., Олзоев Б.Н. Морфодинамическое картографирование селевой опасности Южного Прибайкалья // Геориск : № 4 – С. 86–95.
3. Ступин В.П., Пластинин Л.А. Олзоев Б.Н. Возможности материалов дистанционного зондирования как информационной основы картографирования селевой опасности Байкальской горной страны // Геориск : 2020, том XIV, №2 – С. 78–87.
4. Опасные геологические процессы в Юго-Западном Прибайкалье / Лапердин В.К., К.Г. Леви, В.С. Имаев, В.Г. Молочный // Институт Земной коры СО РАН, Иркутск: 2016. – С. 206.
5. Охотин А.Л., Токин А.А., Неверова А.Л. Неожиданные результаты съемки катастрофического селя в п. Аршан республики Бурятия // 14-я Международная научно-техническая конференция «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии». – Хайнань : 2014. – С. 21-23.
6. Ступин В.П., Пластинин Л.А., Сыренов Д.Г. Картографирование и морфодинамический анализ селевых процессов Тункинской котловины // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф.: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015.: Т. 2. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 38-42.
7. [Электронный ресурс]. – Welcome to the SAGA Homepage: URL: <http://saga-gis.org/en/index.html> (дата обращения 10.04.2021)
8. Conrad, O. SAGA – program structure and current state of implementation // SAGA – Analysis and Modelling Applications. Göttinger Geographische Abhandlungen, 115, 2006 – P. 39–52.

9. SAGA vs GRASS: A Comparative Analysis of the Two Open Source Desktop GIS for the Automated Analysis of Elevation Data / Hengl, T., Grohmann, C.H., Bivand, R.S., Conrad, O., & Lobo, A. // R. Purves, S. Gruber, R. Straumann, & T. Hengl (Eds.), *Geomorphometry 2009, Conference Proceedings*. – P. 22–27.
10. Florinsky, I.V. Computation of the third order partial derivatives from a digital elevation model. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(2), 2009. – P. 213–231. DOI: 10.1080/13658810802527499.
11. Yokoyama, R., Shirasawa, M., Pike, R.J. Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.68. – P.251–266. Online at ASPRS.
12. Florinsky I.V. *Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology* // Amsterdam: Academic Press, 2012. – P. 379.
13. Beven, K.J., Kirkby, M.J. (1979): A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrology Science Bulletin* 24(1). – P.43–69.
14. Boehner, J., Selige, T. Spatial Prediction of Soil Attributes Using Terrain Analysis and Climate Regionalisation. In: Boehner, J., McCloy, K.R., Strobl, J.: 'SAGA - Analysis and Modelling Applications', *Goettinger Geographische Abhandlungen*, Vol.115, 2006. – P.13–27.
15. A. K. Karwel, I. Ewiak, Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing : 2008. – P. 169–172.
16. SRTM Data in Turkey: Void Filling Strategy and Accuracy Assessment / Oztug Bildirici, Aydin Ustun, Necla Ulugtekin, H.Zahit Selvi, Alpay Abbak, Ilkay Bugdayci, A. Ozgur Dogru // Selcuk University, Faculty of Engineering, Dept. of Geodesy & Photogrammetry, Istanbul Technical University, Civil Eng. Faculty, Dept. of Geodesy & Photogrammetry Eng., Turkey.
17. ASTER Global DEM Validation. Summary Report. // ASTER GDEM Validation Team: METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS, 2009. – P. 28.
18. Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, L8SDS-1574, version 1.0. Sioux Falls, USA: USGS EROS, 2015. – P. 98.
19. [Электронный ресурс]. – Landsat 8 Data Users Handbook - [Электронный ресурс]: URL: <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-data-users-handbook> (дата обращения 15.04.2021).
20. [Электронный ресурс]. – Sentinel Toolboxes. ESA - [Электронный ресурс]: URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/toolboxes> (дата обращения 20.04.2021).

© В. П. Ступин, 2021