

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ КОРРЕКТНОЙ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ ГЕОДАНЫХ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ БУРАЛ-САРЬДАГ)

Решается задача построения максимально корректной цифровой модели рельефа (ЦМР), подходящей для трехмерного геоинформационного моделирования месторождений полезных ископаемых (на примере месторождения «суперкварцитов» Бурал-Сарьдаг). Производится сравнение общедоступных источников гео данных: AsterGDEM, SRTM, топокарт М1:100000. Описываются условия их применимости, приводится разработанная методика создания наиболее точной модели рельефа, которая может быть применена для создания ЦМР других высокогорных районов.

Ключевые слова: геоинформационная система, цифровая модель рельефа, данные дистанционного зондирования, «суперкварциты».

Введение

Современный уровень развития ГИС технологий, применение их в проведении исследований по наукам о Земле часто требует получения максимально корректных цифровых моделей рельефа (ЦМР): для научных и прикладных исследований в области геологии, геоморфологии, геофизики, при проведении поисково-разведочных работ (Изотова, Кияшко, 2012). В настоящее время с увеличением быстродействия компьютерной техники появляются новые возможности представления рельефа местности (Алчинов, Кекелидзе, 2006), при этом главной проблемой, с позиции научных исследований в России, является общая закрытость актуальных пространственных данных, по сравнению с рядом других стран. Инициативные научные работы зачастую не предполагают выделения специальных средств на проведение геодезических работ, которые позволяли бы создавать точные ЦМР. В связи с этим, задача разработки методики создания максимально корректных моделей рельефа на основе открытых и доступных всем исследователям источников геоинформации, является актуальной, при этом существуют примеры работ, в которых открытые гео данные позволяли успешно решать задачи, традиционно предполагающие привлечение проприетарных данных высокой точности (Паршин и др., 2012). В данной работе приводится методика построения ЦМР, разработанная для 3d-моделирования месторождения «суперкварцитов» Бурал-Сарьдаг (Бурятия), и выраженная в виде последовательности логических шагов, применимых для создания максимально точного трехмерного информационного обеспечения ГИС-проектов и других высокогорных районов.

Необходимость разработки такой методики и создания максимально корректных ЦМР рельефа для месторождений «суперкварцитов» связана с необходимостью разработки информационных систем, обеспечивающих выход на пространственно-геохимические критерии поисков новых типов месторождений высококачественного кварцевого сырья. Существующая в России минерально-сырьевая база высококачественного кварцевого сырья, основанная на месторождениях кварцевых жил различного генезиса, не

способна в необходимом объеме удовлетворить современные потребности отечественной промышленности в особо чистом кварцевом сырье, в связи с чем в настоящее время возникший дефицит кварцевого концентрата в России восполняется импортом. С 1998 г. сотрудниками Института геохимии СО РАН ведутся работы по исследованию месторождения Бурал-Сарьдаг и других проявлений кварцевого сырья этого региона. Для выяснения механизма формирования месторождений высококачественных кварцитов, определения их типоморфных минералогическо-петрографических и геохимических особенностей, необходимо более четко обозначить их признаки и критерии, необходимые при проведении дальнейших поисково-разведочных работ, что позволит выявлять подобные кварцевые образования как в Восточном Саяне, так и в других регионах России (Федоров, 2012).

Постановка задачи

На протяжении всего времени исследований были предложены разные версии генезиса кварцитов Восточного Саяна. В 2012 г. А.М. Федоровым была предложена новая модель формирования месторождения «суперкварцитов» (Федоров и др., 2012), в которой образование высококачественных кварцитов объясняется воздействием на первичные кремнисто-карбонатные толщи продвигающихся по ним пород офиолитового покрова в ходе динамо-термально-метасоматических процессов. Для подтверждения и развития этой идеи необходимо было произвести более детальное изучение геолого-геохимических данных на основе геоинформационного подхода с обязательным учетом их пространственных характеристик.

Для решения задач изучения описываемых геологических объектов с планируемым выходом на поисковые критерии, на основе всей совокупности данных была разработана и создана геоинформационная система обеспечения геолого-геохимических исследований месторождений кварцевого сырья Восточного Саяна. Она включает в себя многопользовательскую базу данных "Суперкварциты" (свидетельство №2013620877 от 31.08.2013г), объединенную с инструментами простран-

ственного и математического моделирования (Рис.1).

В базе данных хранится разнородная геоинформация (аналитические данные, петрографические и минералогические описания, и т.д.), однако, исходя из особенностей изучаемых объектов и предложенной модели их формирования, было установлено, что особое значение при изучении кварцитов Восточного Саяна имеет Z-координата точек пробоотбора. Таким образом, для решения задач изучения интересующих объектов, необходимо было создать информационно-картографическое обеспечение ГИС, позволяющее отображать и системно анализировать данные из БД с учетом всех трех координат точек опробования.

Для вновь поступающих проб существует теоретическая возможность фиксации высотной отметки точки пробоотбора с помощью GPS. Однако по нескольким причинам такой подход не позволяет решить задачу создания информационного обеспечения для БД. Во-первых, Восточные Саяны представляют собой высокогорную область с сильно пересеченным рельефом. Точность GPS-позиционирования точки в плане, не превышающая 10 метров, удовлетворяет требованиям предложенной модели формирования месторождений, однако качество GPS-привязки по высоте отличается в худшую сторону в два-три раза. Точность GPS в высокогорных областях может быть еще ниже. Во-вторых, значительный объем имеющейся БД представлен архивными данными, для которых высотные отметки отсутствовали - ранее исследователи не придавали значения данной пространственной характеристике. Третий фактор заключается в том, что БД «Суперкварциты» является перспективным геоинформационным средством, служащим для разработки поисковых пространственно-геохимических критериев обнаружения новых месторождений «суперкварцитов» в данном регионе. Для этого желательно иметь непрерывную модель высот, в том числе в тех местах, где пробоотбор ещё не проводился. GPS-привязка

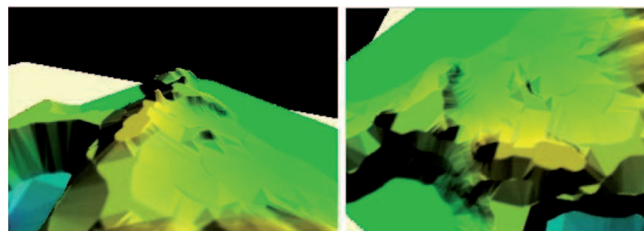


Рис. 2. Фрагмент ЦМР месторождения Бурал-Сарьдаг, построенной на основе топографической карты М 1:100000.

же по своей сути дискретна и очевидно отсутствует в ранее неисследованных участках территории. Таким образом, фиксация Z-координат с помощью GPS не подходит для решения основных задач организации информационного обеспечения ГИС «Суперкварциты» и не позволяет формировать поисковые пространственно-геохимические критерии для обнаружения новых месторождений «суперкварцитов» изучаемого района.

Более подходящим способом, позволяющим комплексно решить задачу пространственной привязки данных из БД, представляется создание информационного обеспечения ГИС в виде цифровой модели рельефа изучаемой территории. Для создания максимально корректной ЦМР, предполагаемой к использованию в формате инициативной НИР, необходимо рассмотреть доступную пространственную информацию: топографические карты «несекретных» масштабов и открытые данные дистанционного зондирования Земли, исследовать их точность и применимость в конкретных региональных условиях (Общее описание AsterGDEM, 2009).

В рамках данного исследования были рассмотрены следующие источники данных, потенциально обладающие своими достоинствами и недостатками применительно к условиям Прибайкальской горной области:

– спутниковые: AsterGDEM (Global Digital Elevation Model) и SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission);

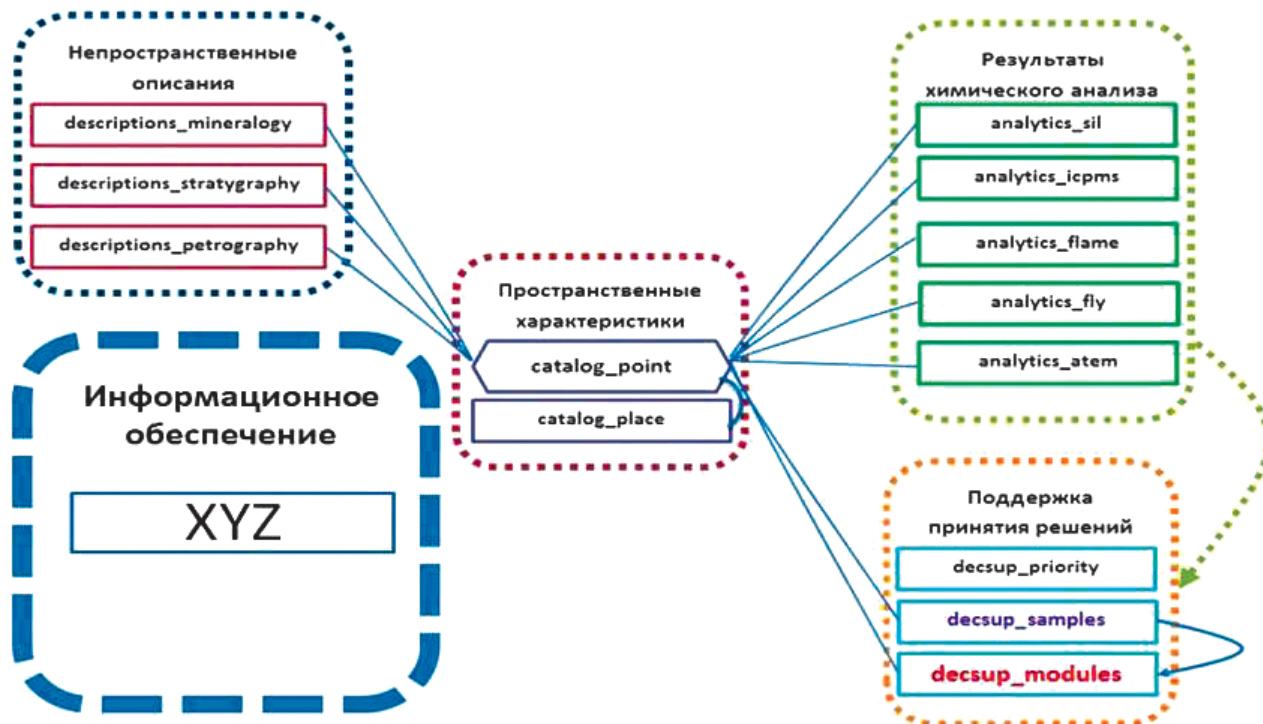


Рис. 1. Структура БД «Суперкварциты».

– топографические карты масштаба 1: 200000, 1:100000.

Как известно, SRTM и AsterGDEM-данные представляют собой матрицы высот, снятые с постоянным (1 или 3 угловых секунды) шагом сетки. Теоретически, для AsterGDEM не гарантированная оценка точности глобального продукта составляет 20 метров (95% доверительный интервал) для данных по вертикали и 30 метров (95% доверительный интервал) по горизонтали (Shuttle Radar Topographic Mission, 2009; Карионова, 2009). Однако вышеприведенные значения являются среднестатистическими и требуют оценки их соответствия решаемой задаче для конкретной территории, с учетом аномальных значений высот, свойственных разным типам рельефа. В данном случае это высокогорные области, в которых средняя вертикальная точность доступных данных еще ниже, что качественно сказывается на исследовании изучаемой территории.

Топографические карты же обладают тем недостатком, что построенные по ним ЦМР, представляющие из себя TIN-модели, характеризуются наличием эффекта линейной аппроксимации и сглаживания находящихся между изолиниями форм рельефа (Рис. 2), что зачастую неприемлемо. Для устранения эффекта аппроксимации необходимо заполнить пространство между изолиниями дополнительными геоданными. Построение же по топоданным GRID-моделей лишает их важнейшего положительного свойства – гарантированной точности изолиний рельефа. Таким образом, топографическая карта М 1:100000 не представляется единственно достаточным источником геоданных, однако ее изолинии необходимы для включения в конечную модель, а кроме того являются этало-

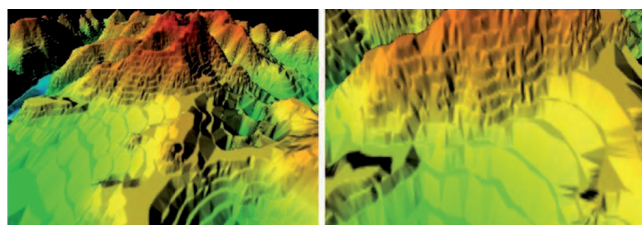


Рис. 5. ЦМР, полученная в результате сложения топо-изолиний с массивом точек высот ДЗЗ-DEM.

ном, позволяющим делать выводы о точности создаваемых ЦМР.

Для построения максимально корректной ЦМР на первом этапе необходимо выбрать из имеющихся источников геоданных наиболее подходящий для комплексирования с эталонными изолиниями топокарты. Для этого необходимо построить модели рельефа интересующих месторождений и проявлений рассматриваемой территории по различным геоданным, произвести их сравнение с ЦМР-топо для выявления наиболее подходящего для каждого конкретного участка рассматриваемой территории набора данных. В данном случае эталонным участком являлось месторождение Бурал-Сарьдаг, в пределах которого имелся весь интересующий диапазон высот, а также как сильно пересеченные, так и равнинные участки. По данным Aster и SRTM были построены ЦМР, и сгенерированы изолинии с шагом через 40 м, которые сравнивались с изолиниями топокарты, принятыми в качестве эталонных.

Визуальный анализ показал, что в более высоких частях рельефа лучшую сходимость с изолиниями топокарты имеет ЦМР SRTM 4.2 (Рис 3а, 3б), в то время как в более

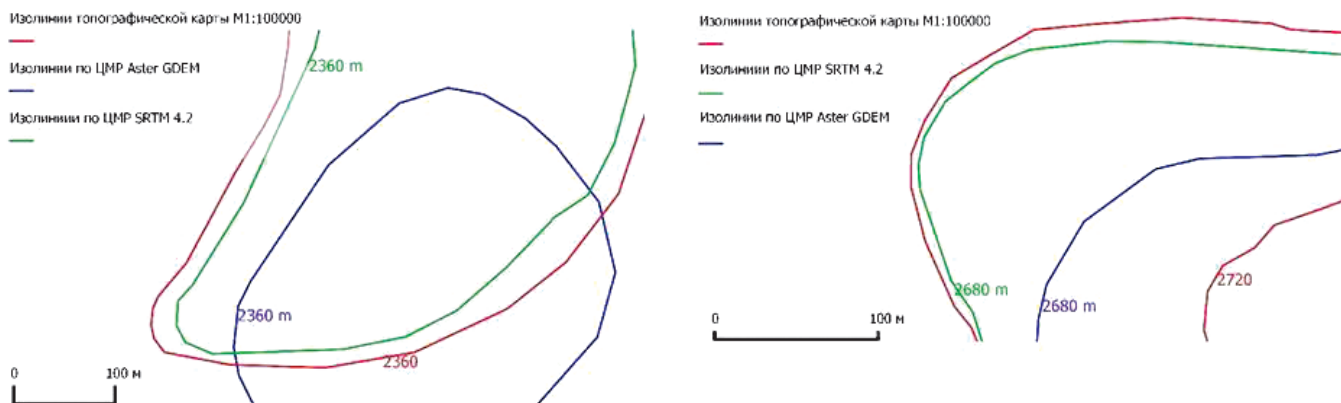


Рис. 3. Преимущество по точности изолиний ЦМР SRTM 4.2 в высоких частях рельефа.

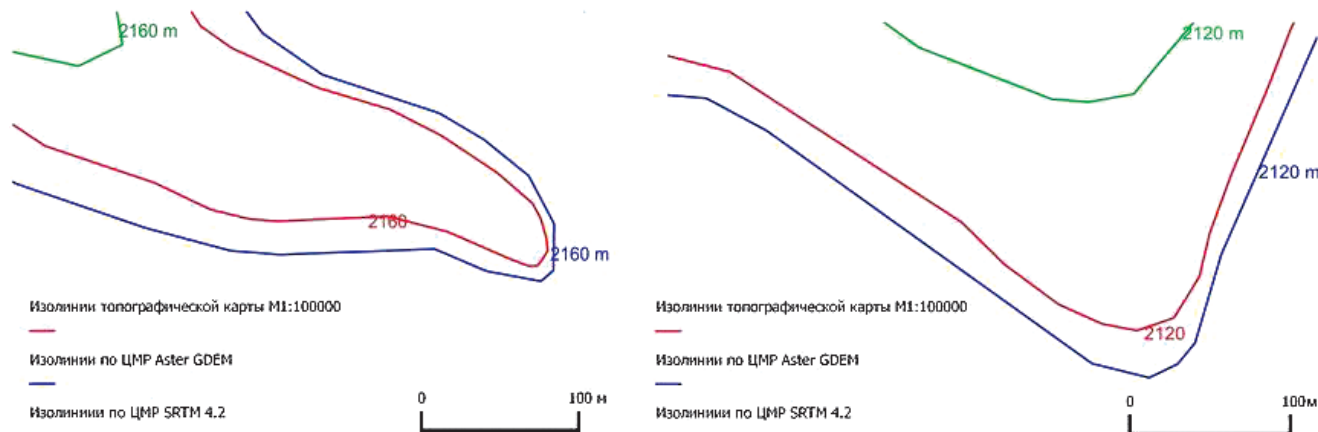


Рис. 4. Преимущество по точности изолиний ЦМР AsterGDEM в низких участках рельефа.

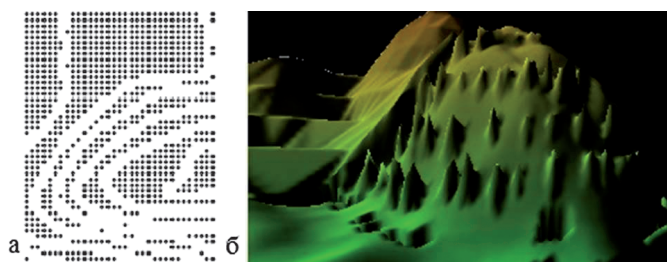


Рис. 6. Пример буферизации топо-изолиний зоной в 10м с последующей вырезкой попадающих в зону точек (а) и полученная в итоге ЦМР (б).

низких плоскостях качество рельефа ЦМР AsterGDEM лучше (Рис. 4а, 4б).

Следовательно, необходимо получить высотную отметку, являющуюся границей между преимуществами обоих типов цифровых моделей. Для этого производился расчет коэффициента линейной корреляции между изолиниями топокарты и изолиниями, полученными по обоим видам ЦМР. Массивы точек каждого вида делились на две части, в результате серии подходов вычислений со смещением границы было установлено, что в изучаемом районе такая граница находится на высоте 2160 м.

Таким образом, для заполнения пространства между изолиниями топографической карты территории Восточного Саяна по высотам до 2160м следует использовать данные AsterGDEM, от высоты 2160 и выше – из SRTM 4.2. Необходимо учитывать, что данные дистанционного зондирования сглаживают высшие формы рельефа: для корректного моделирования горных вершин (от 2720м) в обоих случаях необходимо использовать данные точек высот с топографической карты, в противном случае произойдет их сглаживание.

Следующим шагом является выбор корректного метода комплексирования всех трех типов геоданных. Согласно ранее установленному, для этого необходима разбивка массивов точек дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) на две группы и добавление к ним данных изолиний и точек рельефа. Необходимо учитывать форматы, в которых представлены исходные данные: данные дистанционного зондирования Земли являются DEM-растрами (далее ДЗЗ-DEM), в то время как топокарта представлена векторными линиями и точками.

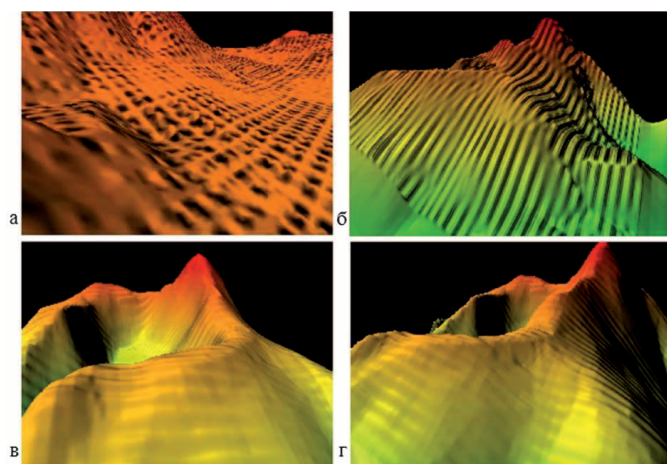


Рис. 7. Сравнение Grid-моделей с ячейками 5x10м(а), 7x7м(б) и 5x5м (в, г).

Наиболее очевидный способ уточнения рельефа – преформатирование ДЗЗ-DEM в массив точек высот XYZ (широта, долгота и высота точки) и его последующее сложение с топо-изолиниями рельефа, разбитыми на точки, ожидаемо не дает приемлемого результата (Рис. 5).

Была произведена серия попыток буферизации изолиний топокарты зонами различного размера с последующей вырезкой из ДЗЗ-DEM попадающих в эту зону точек. Установлено, что такой метод может приводить к положительному результату только в условиях относительно равномерных уклонов, в противном случае применимый для всей территории оптимальный размер буфера не может быть рассчитан. Распространенные методы и средства интерполяции не позволяют придать точкам топокарты вес, достаточный для того, чтобы в результате получалась корректная модель рельефа (Рис. 6).

В итоге, наиболее корректная ЦМР была построена по следующей методике:

1. Построение TIN-модели на основе данных рельефа топографической карты.
2. Резэкспорт полученных топоданных в GRID-массив точек XYZ по регулярной сети 5x5 м. Такая размерность не случайна и получена опытным путём: серия построений моделей с различным размером ячейки показывает, что уменьшение ячейки не приводит к улучшению резуль-

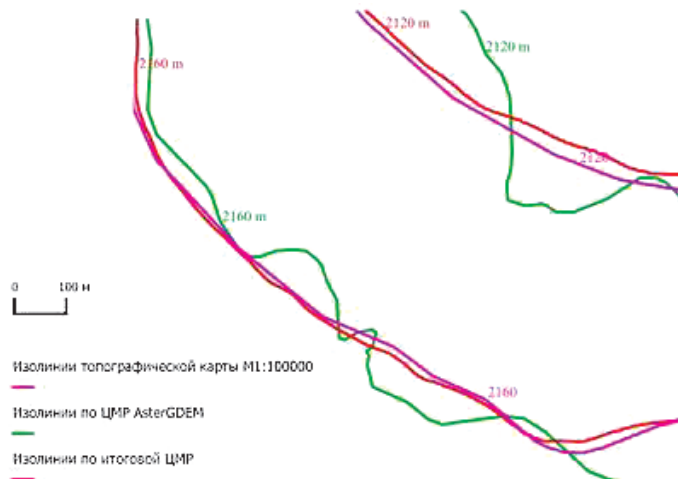
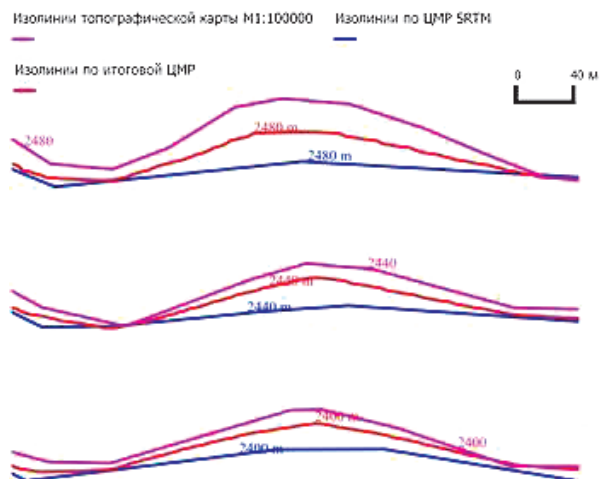


Рис. 8. Сравнение изолиний по трем ЦМР.

тата, но требует значительно больших вычислительных ресурсов. К примеру, для объекта площадью больше 30 кв. км необходимые дальнейшие действия практически не выполнимы (на среднем персональном компьютере, при условии работы с данными на основе технологий файл-сервер). Современные технологии пространственных баз данных, аналогичные тем, на которых реализована БД «Суперкварциты», позволяют обрабатывать и сотни миллионов точек, однако в этом случае решение задачи 3d-визуализации упирается в возможности клиентских сред визуального моделирования. В любом случае, чрезмерное уменьшение сетки XYZ придает задаче моделирования рельефа, не являющейся основной задачей информационного обеспечения геологического анализа, ненужную значимость. С другой стороны, увеличение ячейки уже до 7 метров приводит к качественному ухудшению итоговой ЦМР.

3. Экспорт данных ЦМР SRTM и AsterGDEM в GRID XYZ (в соответствии с критерием полученной ранее высотной границы). Аналогично предыдущему, оптимальной ячейкой также является 5x5 м.

4. Простое комплексирование данных – топо и ДЗЗ, с последующим построением итоговой цифровой модели рельефа (Рис. 7).

По приведенной методике была построена ЦМР месторождения высокочистого кварцевого сырья Бурал-Сардаг, в пределах которого имелось 4 точки с известными авторам координатами по высоте. Установлено, что полученная модель имеет с ними более хорошую сходимость, чем любая из отдельно взятых (SRTM, AsterGDEM, TIN-топо). Имеются все основания предположить, что полученная ЦМР удовлетворяет требованиям моделирования месторождений высокочистого кварцевого сырья; во время полевых работ 2013 года планируется произвести дополнительную проверку её точности.

В настоящее время по предложенной методике производится построение ЦМР для других перспективных на высокочистое кварцевое сырье объектов.

Заключение

Разработана методика построения максимально корректных цифровых моделей рельефа для геоинформационного обеспечения геолого-поисковых работ на основе общедоступных источников геоинформации.

Построена 3D-модель рельефа района месторождения «суперкварцитов» Восточного Саяна. Доказано, что разработанный метод построения ЦМР для рассматриваемого региона обеспечивает большую точность, чем любые другие открытые источники пространственной информации (Рис. 8).

Полученная итоговая ЦМР позволяет реализовать картографическое 3D-представление архивных геолого-геохимических данных, не имеющих высотных отметок; дает возможность проверки и подтверждение предложенной на основе детальных петрографо-геохимических исследований оригинальной концепции формирования высокочистых кварцитов Восточного Саяна, представляет потенциальный выход на пространственно-геохимические критерии поисков месторождений высокочистого кварцевого сырья путём создания геоинформационной системы с функциями поддержки принятия решений.

Литература

ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. 2012. <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (данные спутниковых исследований AsterGDEM).

Shuttle radar topography mission. The mission to map the world. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology. 2009 <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (данные спутниковых наблюдений SRTM).

Алчинов А.И., Кекелидзе В.Б. Современные методы визуализации рельефа. *Геопрофи: Электронный журнал по геодезии, картографии и навигации*. 2006. №1. С.13-14. http://www.geoprofi.ru/technology/Article_2182_10.htm

Изотова Е.А., Кияшко Г.А. Создание трехмерных моделей рельефа для целей мониторинга гидротехнических сооружений. <http://kadastr.org/conf/2012/pub/infoteh/sozd-3d-relief-dna.htm>

Карионова Ю.И. Оценка точности матрицы SRTM. ЗАО «Пакурс». Москва. 2009. http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Оценка_точности_матрицы_SRTM

Общее описание AsterGDEM, GIS LAB. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. 2009. <http://gis-lab.info/qa/aster-gdem.html>.

Паршин А.В., Мельников В.А., Демина О.И., Руш Е.А. ГИС как судовая электронно-картографическая система. *Вестник Иркутского государственного технического университета*. Иркутск. 2012. Т. 60. № 1. С.40-46.

Федоров А.М. Геохимия и условия образования особо чистых кварцитов на примере проявлений Восточного Саяна. Дисс... кандидата геолого-минералогических наук. Иркутск. 2012. 160 с.

Федоров А.М., Макрыгина В.А., Будяк А.Е., Непомнящих А.И. Новые данные о геохимии и механизме формирования кварцитов месторождения Бурал-Сардаг (Восточный Саян). *Доклады академии наук*. 2012. Т. 442. №2. С.244-249.

O.I. Demina, A.V. Parshin, A.M. Fedorov, S.A. Shestakov. **The Technique of Creating a Digital Terrain Model Based on Open Geodata Source (on the Example of Bural-Sardag Field)**

The problem of constructing the most accurate digital terrain model suitable for three-dimensional geoinformational modeling of mineral deposits fields (on the example of "superquarzites" field Buran-Sardag) is solved in this paper. A comparison of publicly available sources of geodata (astergdem, SRTM, topographic maps M1:100000) is made. In this paper we describe the conditions of their validity, give the developed technique of creating the most accurate terrain model which can be used to create DTM of other high mountain areas.

Keywords: geoinformational system, digital terrain model, remote sensing data, "superquarzites".

Ольга Игоревна Демина

инженер-исследователь, Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. 664046, г. Иркутск, Б. Постышева, д.9, кв.1. Тел.: 89041132321.

Александр Вадимович Паршин

к.г.-м.н., н.с., Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. 664033, г. Иркутск, Б. Постышева, д.3, кв.33. Тел.: 89027666990.

Александр Михайлович Федоров

к.г.-м.н., н.с., Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. 664033, Лермонтова, 281-58. Тел.: 8964552129.

Сергей Алексеевич Шестаков

инженер, Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. 664033, г. Иркутск, ул. Муравьева д. 21, кв.4. Тел.: 89148743699.