

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СВЕРХЧИСТОГО КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО САЯНА

<sup>1</sup>Демина О.И., <sup>1,2</sup>Паршин А.В., <sup>1,3</sup>Федоров А.М.

<sup>1</sup>*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, e-mail: d-0lka@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск;*

<sup>3</sup>*Иркутский государственный университет, Иркутск*

Рассматривается проблема информационного обеспечения комплексного геолого-геохимического изучения месторождений и проявлений сверхчистого кварцевого сырья. Описываются теоретические основы создания проблемно ориентированных ГИС-средств, обеспечивающих качественное повышение эффективности анализа геолого-геохимических данных по сравнению с универсальными ГИС-пакетами. Решаются задачи организации и комплексного анализа данных геолого-геохимических исследований месторождений и проявлений «суперкварцитов» на территории Восточного Саяна, приводится оригинальная методика создания корректных цифровых моделей рельефа (ЦМР) высокогорных областей на основе открытых источников геоданных (AsterGDEM, SRTM, топографические карты М1:100000, 1:200000); описывается экспертный подход к созданию математико-картографического обеспечения, созданного на основе выявленных пространственно-геохимических особенностей месторождений и проявлений высокочистого кварцевого сырья и обеспечивающего повышение эффективности и оперативности визуального анализа геолого-геохимических данных.

**Ключевые слова:** ГИС, «суперкварциты», геоинформационное моделирование, пространственные базы данных, геохимические модули

## GEOINFORMATION SYSTEMS FOR GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL RESEARCHES OF ULTRAPURE QUARTZ DEPOSITS IN EASTERN SAYAN

<sup>1</sup>Demina O.I., <sup>1,2</sup>Parshin A.V., <sup>1,3</sup>Fedorov A.M.

<sup>1</sup>*Institute of Geochemistry, AP Vinogradov Russian Academy of Sciences, Irkutsk, e-mail: d-0lka@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk;*

<sup>3</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk*

This paper reports the problem on the information provisions for complex geological and geochemical investigation of deposits and occurrences of super-pure quartz raw materials. It describes the basics for creating specific GIS-tools to raise efficiency of analysis of geological and geochemical data, as compared to the universal GIS-packages. The paper also describes the problems related to organization and comprehensive analysis of geological and geochemical data on the deposits and occurrences «superquartz» located in the Eastern Sayan Mountains. It offers the original technique for creating the correct digital models of the mountainous relief (DEM) based on the open geo-data source (AsterGDEM, SRTM, topographical map M1: 100000,1:200000). The expert approach is proposed to be used in mathematics and mapping software, created on the basis of identified spatial-geochemical features of high-purity quartz raw materials, and providing increased efficiency of the visual analysis of geological and geochemical data.

**Keywords:** GIS, «superquartz», GIS modeling, spatial database, geochemical modules

За последние годы потребление мировой и отечественной промышленностью высококачественного кварцевого сырья возросло в десятки раз. Кварц широко используется во всех отраслях промышленного производства, определяющих уровень развития высоких технологий (космической, медицинской и др.).

Минерально-сырьевая база кварцевого сырья РФ представлена несколькими десятками месторождений, в первую очередь гидротермального генезиса. Большинство эксплуатируемых месторождений находятся в европейской части страны, в основном на Урале и в Карелии. Производство сверхчистого кварца (кварцевой крупки) осу-

ществляется из природного чистого кварцевого сырья, обладающего целым рядом нормированных технологических свойств. Качество исходного сырья зависит от его минерального состава: оно должно быть или монокварцевым, или содержать минеральные примеси, легко поддающиеся удалению в процессе обогащения; высокой химической чистоты относительно большей группы примесных компонентов; нежелательной является структурная примесь высокотемпературной воды, обусловленная наличием микроскопических газожидких включений. Все требования очень существенно сужают круг потенциальных промышленных объектов, предопределяя

высокую востребованность данного вида минерального сырья. Возникший дефицит высокочистого кварцевого концентрата восполняется импортом. В связи с этим растет интерес к различным проявлениям нетрадиционных типов высокочистого кварцевого сырья. Одним из таких перспективных источников можно назвать «суперкварциты» Республики Бурятия (Восточный Саян) [1]. Исследования месторождений и проявлений высокочистого кварцевого сырья Восточного Саяна в разное время проводилось учеными ряда организаций (Окинская экспедиция, ИГХ СО РАН, ВНИИСИМС, ООО «Ока-К», «ВСЗК»), которыми рассматривались различные модели формирования месторождений сырья такого типа. В 2012 г. была предложена новая модель формирования месторождения Бурал-Сарьдаг, согласно которой образование «суперкварцитов» произошло в ходе динамо-термально-метасоматических преобразований первичных кремнисто-карбонатных пород иркутской свиты под воздействием продвигающихся по ним пород офиолитового покрова [3]. Эта модель позволяет объяснить более широкий диапазон особенностей (геохимических, минералого-петрографических, структурных и др.) этого типа кварцевого сырья, сформировать систему пространственно-геохимических критериев для выделения участков со схожим набором геолого-геохимических характеристик. За время полевых работ (1998–2013 гг.) сотрудниками ИГХ СО РАН был накоплен большой объем разнородного материала по всем месторождениям и проявлениям высокочистых кварцитов Восточного Саяна, который требует систематизации и обработки на современном уровне.

Решать обозначенные задачи предлагается с помощью ГИС-технологий как современного средства хранения, комплексной обработки и согласованного представления пространственно распределенных данных. **Целью работы** является создание геоинформационных средств, тематически ориентированных на обеспечение исследований месторождений «суперкварцитов» (на основе известных условий формирования месторождений высокочистых кварцитов и их геохимических особенностей), выявление признаков и критериев, необходимых при проведении дальнейших полевых наблюдений и реализации их в виде инструментов ГИС. Для этого требовалось решить следующую последовательность задач:

1) разработка структур хранения данных, обеспечивающих хранение всего объема разнородной геоинформации (геологические, минералого-петрографические

описания, данные химических анализов и др.) и позволяющих эффективно производить её комплексную математическую обработку;

2) пространственная координация архивных данных, включающая создание методики присвоения высотных меток;

3) разработка математико-картографического обеспечения, позволяющего наиболее эффективно и достоверно визуализировать геолого-геохимические особенности объектов;

4) реализация системы пространственно-геохимических критериев, обеспечивающих явное выделение перспективных зон на основе экспертного подхода;

5) создание многопользовательской геоинформационной системы, оптимизирующей процесс дальнейших исследований проявлений и месторождений кварцевого сырья как на территории Восточного Саяна, так и за ее пределами.

Совокупность разработанных методов, средств и критериев позволит автоматизировать решение задач для исследований месторождений сверхчистого кварцевого сырья.

#### Система хранения данных

Исследования «суперкварцитов» требуют сбора и комплексной обработки разнородной геоинформации: аналитических данных, петрографических и минералогических исследований, пространственной информации о рельефе. Исходя из этого, созданная БД «Суперкварциты» (св-во № 2013620877) состоит из пяти основных логических блоков:

- Блок «Пространственные характеристики» содержит данные о полевых геологических исследованиях: каталог точек наблюдений и информацию о пробоотборе.

- Блок «Непространственные описания» представляет собранные минералогические и петрографические исследования, а также описание вещественного состава геологического разреза.

- Блок «Результаты химического анализа» дает геохимическую характеристику проб по данным химического анализа (ISP MS, силикатный, атомно-эмиссионный и др.).

- «Аналитический» блок хранит результаты математических операций над данными и формирует таблицы, оптимальные для дальнейшего картографирования.

- Блок «Информационное обеспечение» является особенностью БД – осуществляет хранение внутри базы информации о рельефе местности в виде поля точек XYZ (широта, долгота, высота), представляющих собой ЦМР.

На основе базы данных организована геоинформационная система, концептуальная модель (рис. 1). ГИС объединяет много-

пользовательскую базу данных и оригинальные инструменты пространственного и математического моделирования.

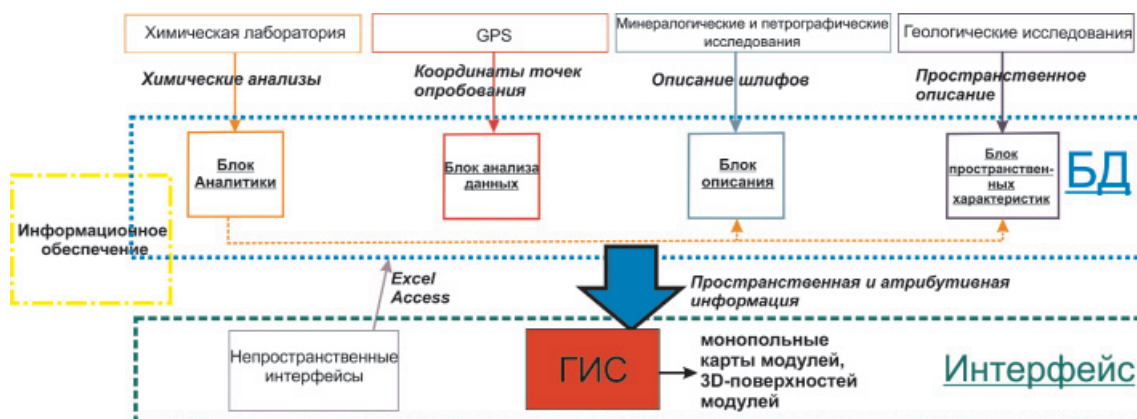


Рис. 1. Концептуальная модель ГИС «Суперкварциты»

**Программное обеспечение.** В качестве сервера баз данных используется объектно-реляционная система управления базами данных PostgreSQL с пространственным расширением PostGIS, обеспечивающим хранение в базе географических данных. СУБД распространяется по лицензии GNU/GPL, то есть является свободно распространяемым программным обеспечением. Поддержка БД практически неограниченного размера гарантирует отсутствие проблем с хранением и обработкой больших массивов данных.

#### Картографическое обеспечение

Особенности условий формирования месторождений «суперкварцитов» требуют представления и изучения геолого-геохимической информации с обязательным учётом всех трёх координат точек пробобора, в связи с чем встает вопрос создания информационно-картографического обеспечения ГИС. Из нескольких возможных способов решения этой проблемы, наиболее удачным представляется внедрение в ГИС цифровой модели рельефа территории [2]. Таким образом, задача формирования картографического обеспечения соответствует проблеме построения максимально корректной ЦМР, подходящей для трехмерного геоинформационного моделирования месторождений полезных ископаемых как средства наиболее эффективной пространственной организации разновременных данных. Производилось сравнение применимости к задачам работы общедоступных источников геоданных: AsterGDEM, SRTM, топокарт М1:100000. Был выявлен оптимальный источник геоданных для его комплексирования с изолиниями топокарт-

ты. Корреляционный анализ показал, что на данной территории в более высоких частях рельефа (от высоты 2160 м) лучшую сходимость с изолиниями топокарты имеет ЦМР SRTM 4.2, в то время как в более низких плоскостях (до 2160 м) качество данных ЦМР AsterGDEM лучше. В итоге наиболее корректная ЦМР была построена по методике, заключающейся в реэспорте TIN-модели на основе данных рельефа топографической карты в GRID-массив точек XYZ по регулярной сети 5×5; экспорте данных ЦМР SRTM и AsterGDEM в GRIDXYZ (в соответствии с критерием полученной ранее высотной границы) также 5×5 м; и простом комплексировании данных топо- и дистанционное зондирование Земли. По приведенной методике была построена ЦМР месторождения высокочистого кварцевого сырья Бурал-Сарьдаг (рис. 2).

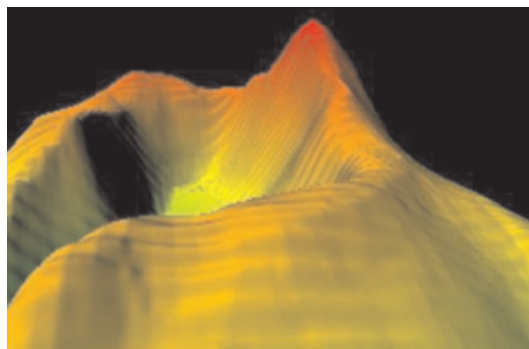


Рис. 2. Фрагмент итоговой ЦМР месторождения Бурал-Сарьдаг

Во время полевых работ 2013 года производилась проверка точности ЦМР: проводились одновременные измерения координат несколькими GPS-навигаторами в одной



точке на контрольной высоте 2700 м (по топографической карте). Анализ полученных данных показал, что один GPS-навигатор в среднем дает погрешность 37–39 м по вертикали, тогда как среднестатистическое отклонение по результатам суммы измерений трех наиболее современных приборов (Garmin 62S) составляет всего 3–5 м. Учитывая, что во время полевых наблюдений измерения координат выполняются одним навигатором, точность фиксации координат точек пробоотбора с помощью одного GPS-приемника представляется недостаточной. С другой стороны, ЦМР по итогам всех исследований на высотах 2200–2700 м отлична от реального рельефа местности в среднем на 3 м по вертикали, что подтверждает ее применимость и верность выбранного подхода.

Информационно-картографическое обеспечение ГИС в виде ЦМР обеспечивает следующие преимущества: позволяет реализовать картографическое 3D-представление архивных геолого-геохимических данных, не имеющих высотных отметок, представляет потенциальный выход на пространственно-геохимические критерии выделения месторождений высококислотного кварцевого сырья.

#### **Математическое обеспечение и новые способы представления данных**

Одним из центральных вопросов, возникающих при создании ГИС, является проблема организации компактных и научно-обоснованных визуальных представлений геолого-геохимической обстановки, упрощающих анализ данных и принятие решений. Эта проблема принципиально не решается в случае применения универсальных ГИС-пакетов, таких как ArcGIS или MapInfo. В данной работе решается проблема построения эффективного и проблемно ориентированного на исследования кварцитов картографического обеспечения геолого-геохимических исследований.

Из всех видов комплексного математического анализа, позволяющих сократить количество значимых признаков без потери необходимой информации, был выбран подход, основанный на расчете из данных химического анализа проб комплексных индикаторов – «модулей» [4, 5], к которым часто прибегают эксперты-геохимики. В данной работе этот метод реализован на основе картографического подхода. Разработано специализированное программное обеспечение «ModuLi» (св-во № 2013617503), которое реализует необходимые математические операции над данными и формирует таблицы пригодной для дальнейшего картографирования структуры.

Расчеты выполняются на уровне СУБД и не требуют действий от исследователя. В «Аналитическом» блоке содержится информация, необходимая для расчетов комплексных литохимических характеристик, и пространственные таблицы с результатами вычислений. БД «Суперкварциты» содержит более 40 геохимических параметров точек пробоотбора, требующих визуального представления исследователю. Из всего набора аналитических данных на основе таблицы приоритетов методов анализа «decsupport\_priority», которая определяет правила отбора данных из блока «Результаты химического анализа», в результате формируется таблица «decsupport\_samples», на основе которой производятся расчеты, в итоге формируется таблица модулей «decsupport\_modules», содержащая рассчитанные для каждой точки пробоотбора интегральные геохимические показатели. В результате автоматизировано формируются слои информационно-картографического обеспечения.

Задачам изучения кварцитов и «суперкварцитов» наилучшим образом соответствуют 9 комплексных «модулей». Значения каждого из этих показателей характеризуют геологический процесс или явление, и позволяют оценить участок территории с позиций его геолого-геохимических критериев. Пример представления распределения модуля «Ce/Ce\*» (отражает условия осадконакопления в районах выходов кремнисто-карбонатных толщ) и его интерпретация представлены на рис. 3.

Анализ полученного изображения в совокупности с рельефом позволяет сделать вывод, что в пределах изученной площади на месторождении кварцитов Бурал-Сарьдаг, Се-модуль может говорить о степени метасоматического преобразования исходных пород. «Темно-синий» класс соответствует породам, развитым на контакте с интрузивным телом и характеризует процесс «заражения» кварцитов материалом гранитоидов. Метасоматические кварциты принадлежат к «белым» классам (отличающимся по химическому составу). «Голубой» класс в данном случае указывает на влияние на кварциты вещества из нижележащих толщ вдоль нескольких разломов различного простирания.

#### **Заключение**

В результате исследования разработаны теоретические основы построения комплексных проблемно ориентированных ГИС обеспечения геолого-геохимических исследований, создан комплекс геоинформационных средств, позволяющих

значительно упростить и ускорить анализ геолого-геохимической обстановки в районах. Разработана пространственная БД, обеспечивающая изучение месторождений «суперкварцитов» в рамках геоинформационного подхода и ориентированная на 3d-моделирование геологической обстановки с помощью интегральных геохимических показателей. Создана геоинформационная система, объединившая в себе многопользовательскую базу данных «Суперкварциты» и инструменты пространственного и математического моделирования. Разработана методика построения цифровых моделей рельефа высокогорных областей, применимая для различных районов. Доказано, что точность модели превосходит

качество привязки, получаемое с помощью обычных GPS-навигаторов в реальных условиях. При помощи построенной ЦМР организована привязка архивных данных без Z-координаты. На основе выявленных пространственно-геохимических особенностей месторождений высокочистого кварцевого сырья разработано оригинальное математико-картографическое обеспечение ГИС, позволяющее визуально выделить участки, обладающие схожими геохимическими характеристиками. Итоговая ГИС реализует формализованную систему пространственно-геохимических критериев месторождений высокочистого кварцевого сырья, обеспечивает методическую поддержку геолого-геохимических исследований.

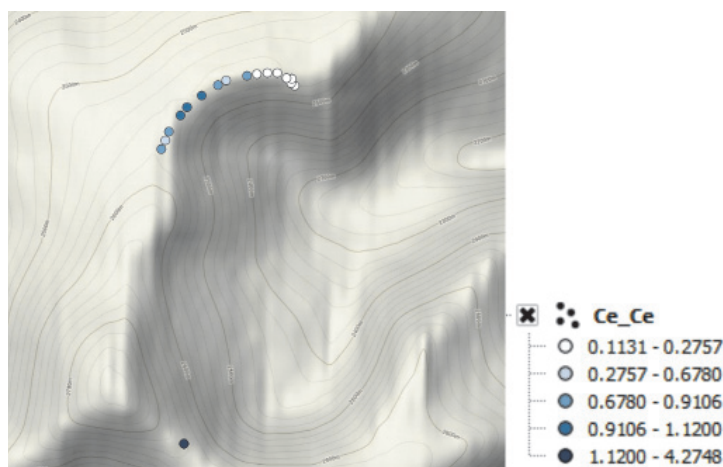


Рис. 3. Пример расчета модуля  $Ce/Ce^*$

### Список литературы

1. Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия, Россия) / Е.И. Воробьев, А.М. Спиридонов, А.И. Непомнящих, М.И. Кузьмин // Докл. АН. – 2003. – Т. 390, № 2. – С. 219–223.
2. Демина О.И., Шестаков С.А., Паршин А.В. Новые способы пространственного моделирования месторождений кварцевого сырья Восточного Саяна // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова. Том I; – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 181–182.
3. Новые данные о геохимии и механизме формирования кварцитов месторождения Бурал-Сарьдаг (Восточный Саян) / А.М. Федоров, В.А. Макрыгина, А.Е. Будяк, А.И. Непомнящих // Доклады академии наук. – 2012. – Т. 442, № 2. – С. 244–249.
4. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. – СПб.: Наука, 2000. – С. 479.
5. Budyak A., Parshin A. GIS mapping of geological features of the Baikal mountain region based on integrated geochemical indicators // Mineralogical Magazine. – 2013. – t.B. – P. 154.

### References

1. Vorob'ev E.I., Spiridonov A.M., Nepomnyashchikh A.I., Kuz'min M.I. Superpure quartzites of the Eastern Sayayn (Buryat Republic, Russia) // Doklady Earth Science. 2003. Vol. 390, no. 4. pp. 497–500.

2. Demina O.I., Shestakov S.A., Parshin A.V. New methods of spatial modeling of deposits of quartz raw materials of the Eastern Sayan // Problems of Geology and Exploitation of Mineral Resources: Proceedings of the XVII International Symposium Academician M.A Usov. 2013. Vol. 1. pp. 181–182.

3. Fedorov A.M., Makrygina V.A., Budyak A.E., Nepomnyashchikh A.I. New data on the geochemistry and mechanism of formation of quartzites of the Bural-Sar'dag deposit (Eastern Sayayn mountains) // Doklady Earth Science. 2012. Vol. 442, no. 1. pp. 120–125.

4. Yudovich Y.E., Ketris M.P. Basics of lithimya. St. Petersburg.: Science, 2000. pp. 479.

5. Budyak A., Parshin A. GIS mapping of geological features of the Baikal mountain region based on integrated geochemical indicators // Mineralogical Magazine, 2013, t. B., pp. 154.

### Рецензенты:

Макрыгина В.А., д.г.-м.н., главный научный сотрудник Лаборатории геохимии гранитоидного магматизма и метаморфизма Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск;

Спиридонов А.М., д.г.-м.н., заведующий Лабораторией геохимии рудообразования и геохимических методов поисков Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск.

Работа поступила в редакцию 14.10.2013.