

озерного побережья обнаружены многочисленные следы жизнедеятельности эндемических животных.

2. Урхо-Карамайский район — одна из основных кладовых нефти и газа в Китае. Ведущую роль при формировании залежей углеводородов играет взбросовая система разломов. Она рассекает центральную часть нефтяной площади и контролирует пути миграции и накопление нефти и газа в разнотипных ловушках юрского и мелового возраста на периферии бассейна. Основной поставщик нефтегазовых флюидов — Махийская депрессия, где общая мощность осадочного чехла более 12 км.

3. В районе установлены выходы на дневную поверхность жил асфальтита. Его интенсивная разработка, как сырья для производства высококачественных лаков, велась еще с начала XX в. и достигла максимума к 1990-м годам. Сравнение результатов анализов асфальтита с данными, полученными при исследовании нефти из пермских коллекторов, показало их идентичность. Это подтвердило миграцию нефтегазовых флюидов из глубоководных горизонтов, что обусловило интенсивное площадное восстановление пород осадочного чехла.

4. В 1950-е годы открыт ряд урановых рудопроявлений и аномалий, многие из которых трактовались как ураноугольные. Обнаружение небольшого объекта роллового типа предопределило начало целенаправленного опосредованного осадочного чехла всего Урхо-Карамайского района. К сожалению, несмотря на наличие в горном обрамлении пород специализированных на уран, водоносных горизонтов с высокой восстановительной емкостью и широкое развитие очагов разгрузки пластовых вод, ярких результатов получить не удалось.

5. Активная геодинамика пульсационного характера в неоген-четвертичное время ведет к изменению местоположения очагов разгрузки подземных вод, частой смене направления развивающихся ЗПО и, как следствие — их незначительной рудоносности. Это ограничивает возможность открытия крупных по масштабам урановых месторождений в Джунгарии в целом и в Урхо-Карамайском районе в частности.

6. В регионе находится ландшафтный парк мирового уровня с рельефом эолового генезиса. Здесь широко представлены уникальные ландшафтные формы, безбрежные пустынные пейзажи, картины нефтедобычи и многое другое. Эоловый город стал эталоном при создании аналогичных природных памятников в пустынных районах Китая.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обручев, В.А. Ископаемые богатства пограничной Джунгарии / В.А. Обручев. — М. — Л.: Цветметиздат, 1932. — 68 с.
2. Обручев, В.А. Месторождения нефти и асфальта в Джунгарии (С.-З. Китай) / В.А. Обручев // Нефтяное хозяйство. — 1928. — № 11–12. — С. 757–766.
3. Печенкин, И.Г. Металлогения ураноносных осадочных бассейнов Евразии / И.Г. Печенкин, Г.В. Грушевой. — М.: РИС «ВИМС», 2015. — 223 с.
4. Рябухин, Г.Е. Геология в Китае (Два года работы в КНР) / Г.Е. Рябухин. — М.: Знание, 1960. — 32 с.

5. *Asphaltenes and Asphalts*, 2. Vol. 40 B. Part B / Editors: T.F. Yen, G.V. Chilingarian. — Elsevier Science, 2000. — 616 p.
6. *Dinosaur, bird and pterosaur footprints from the Lower Cretaceous of Wuerhe asphaltite area, Xinjiang, China, with notes on overlapping track relationships* / L.D. Xing et al. // *Palaeoworld*. — 2013. — V. 22. — P. 42–51.
7. *Geology and geochemistry of bitumen vein deposits at Ghost City, Junggar Basin, Northwest China* / J. Parnell et al. // *Geol. Mag.* — 1994. — № 131 (2). — P. 181–190.
8. *Mesozoic basins and associated palaeogeographic evolution in North China* / Yong-Qing Liu et al. // *Journal of Palaeogeography*. — 2015. — № 4(2). — P. 189–202.
9. *Phanerozoic geology of Northwest China* / Editors: Zhou Zhiyi, W.T. Dean. — Science Press, Beijing, 1996. — 316 p.
10. *Structural characteristics and implication on tectonic evolution of the Daerbuta strike-slip fault in West Junggar area, NW China* / Kongyou Wu et al. // *Frontiers of Earth Science*. — 2018. — V. 12. — P. 555–568.

© Печенкин И.Г., 2018

Печенкин Игорь Гертурдович // [pechenkin@vims-geo.ru](mailto:pechenkin@vims-geo.ru)

УДК 553.041

**Быдтаева Н.Г., Галиахметова Л.Х., Киселева Р.А., Непряхин А.Е. (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»)**

#### СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС МАЛО-ЧИПИКЕТСКОЙ КВАРЦЕНОСНОЙ ЗОНЫ ПАТОМСКОГО КВАРЦЕНОСНОГО РАЙОНА

*Приведена геолого-структурная позиция жилосмещающего комплекса Мало-Чипикетской кварценосной зоны, входящей в состав Патомского кварценосного района Прибайкальской провинции. Выявлены закономерности размещения кварцевых жил, определены основные характеристики кварцевого сырья. **Ключевые слова:** кварцевое сырье, структурно-вещественный комплекс, жилосмещающий комплекс, рудоконтролирующие структуры.*

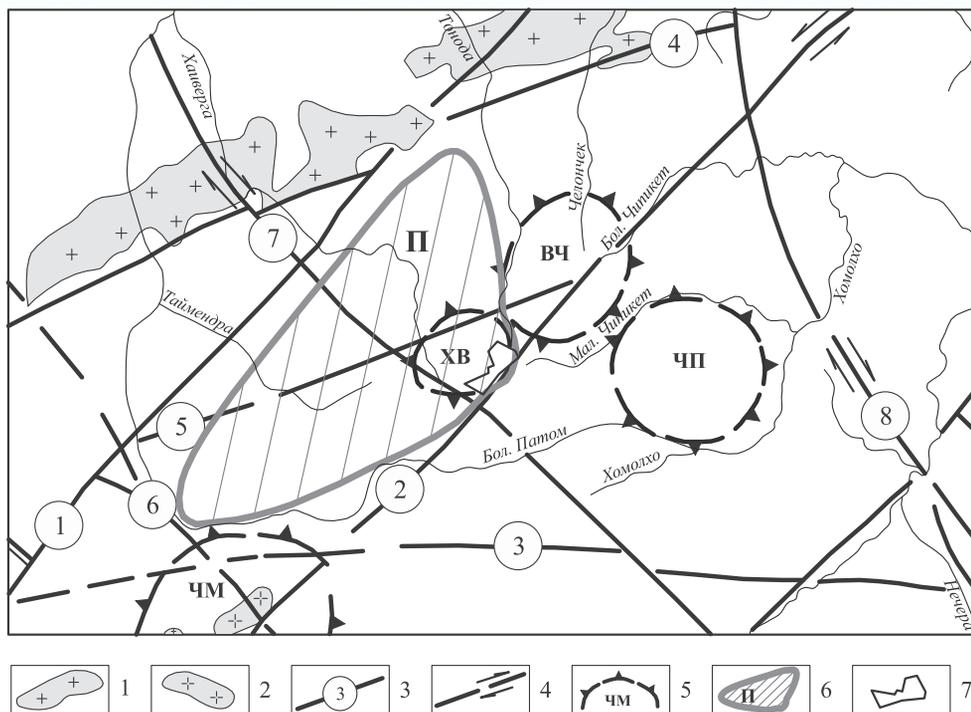
Bydtaeva N.G., Galiakhmetova L.H., Kiseleva R.A., Nepryakhin A.E. (TSNIIGeolnerud)

#### STRUCTURAL-MATERIAL COMPLEX OF THE MALO-CHIPIKETSK QUARTZ ZONE OF THE PATOMSKY QUARTZ AREA

*The geological and structural position of the vein-housing complex of the Malo-Chipiketsk quartz zone, which is part of the Patomsky quartz area of the Pribaikalskaya province, is given. The regularities of placement of quartz veins and the main characteristics of quartz raw materials are determined. **Keywords:** quartz raw materials, structural-material complex, vein housing complex, ore control structures.*

В настоящее время актуальна задача выделения новых объектов в пределах известных кварценосных районов, реализация потенциала которых может расширить минерально-сырьевую базу кварцевого сырья.

Байкало-Патомское нагорье является одной из крупнейших металлогенических провинций России, известной месторождениями мусковита (Мамский район) и золота (Бодайбинский район). В 1970-е годы, благодаря работам сотрудников ВНИИСИМС и экспе-



**Рис. 1. Положение Патомского кварценосного района в региональной структуре:** 1 — гранитоиды верхнего протерозоя; 2 — гранитоиды верхне-среднего протерозоя, 3 — разломы: 1) Чуйский, 2) Мамский, 3) Вачский, 4) Нирундинский, 5) Верхне-Таймендрский, 6) Больше-Патомский, 7) Хайвергинский, 8) Нечерский; 4 — сдвиги; 5 — купольные структуры: ЧМ — Чумаркойская, ХВ — Хайвергинская, ВЧ — Верхне-Челонченская, ЧП — Чипикетская; 6 — границы Патомского кварценосного района; 7 — Мало-Чипикетская кварценосная зона

диции «Байкалкварцсамоцветы», в пределах этой территории были выявлены площади развития безрудных кварцевых жил, сложенных гранулированным и первично кристаллическим кварцем, и открыто Мало-Чипикетское месторождение гранулированного кварца. На основании проведенных работ Патомский кварценосный район Прибайкальской провинции признан перспективным на плавочное кварцевое сырье [1, 7].

Патомский кварценосный район находится во внутренней части дугообразного Байкало-Патомского складчато-надвигового пояса в Мамско-Бодайбинской зоне, к северу от верховьев р. Б. Патом (рис. 1). С севера и востока район обрамляет дугообразная зона поднятий (Чуйское, Тонодское и Нечерское). В центре складчатой области размещены внутренние синклинии — Мамский и Бодайбинский, выполненные терригенно-осадочными породами балаганахской серии рифея. Разломами северо-восточного направления — Чуйским и Мамским, район ограничен с северо-запада и юго-востока. Серией северо-западных разломов (Больше-Патомским и Хайвергинским) район ограничен с запада и востока и разбит ими на блоки.

Помимо линейных структур в пределах Патомского нагорья выделяются купольно-кольцевые структуры различного масштаба и генезиса [6, 13]. Так, А.Н. Барышевым (1982) на основе геофизических и геоморфологических данных выделена крупная структура — купол Пионер, диаметром около 300 км, во внутренней части которого находится кварценосный район. Площадь кварценосного района окружена серией ку-

полов: на востоке — это Чипикетский купол, диаметром около 30 км, слабо эродированный, расположенный в верховьях рек Б. и М. Чипикет. Западнее Чипикетского купола выявлена Хайвергинская кольцевая структура размером около 15 км. В ядре самой крупной Чумаркойской кольцевой структуры, расположенной к юго-западу от площади, вскрыты граниты, занимающие 50–70 % площади купола, что указывает на глубокий эрозионный срез этой структуры (рис. 1).

Патомский кварценосный район разделен Верхне-Таймендрским разломом субширотного простирания на северный и южный блоки. Северный блок представлен линейными субширотными складками, центральной структурой которого является протяжен-

ная до 80 км и шириной 4–5 км синформа, выполненная гранат-двуслюдными, графитсодержащими сланцами, борта сложены полосчатыми углеродистыми известняками, расчешуенными в результате надвигообразования. Южный блок, выделенный как Мало-Чипикетская кварценосная зона, представляет собой шовную зону смятия с набором соответствующих структур (надвиги, купола, сдвиги, выполненные blastomylonitami, blastokataklazitami). В пределах этой кварценосной зоны, признанной наиболее перспективной [7], проведены поисковые работы, результаты которых изложены ниже. Здесь на основе морфоструктурного анализа [4] выделена серия купольно-кольцевых структур разного ранга и формы (рис. 2). В северной части площади выявлена серия из трех куполов. Северо-западная купольная морфоструктура имеет вид деформированного эллипса. Северное ее крыло погружено, а южное четко выражено в рельефе и ограничено надвигом, проявленным зоной рассланцевания. Центральная купольная структура изометричной формы хорошо выражена в рельефе, экспонирована, по-видимому, за счет отрога водораздельной части (Хайверга-Бугарихта), который пересекает купол почти посередине. Купол разбит на два блока, дифференцированных по высотным параметрам, которые изменяются от 1202 до 1460 м. Купол слабо эродирован, т.к. сохраняются породы надвинутой хайвергинской пластины.

Наиболее крупный восточный Верхне-Хайвергинский купол, диаметром около 15 км, разбит на не-

сколько тектонических блоков. Центр его опущен и представляет собой пологую синформу. Положительными структурами являются только дуговые блоки, образованные разломами, ограничивающими купол.

В южной части Мало-Чипикетской зоны выявлена серия малых кольцевых структур диаметром около 4 км, юго-западная из которых имеет концентрическое строение и осложнена вихревыми надвигами (рис. 2).

Бугарихтинский разлом субмеридионального простирания делит площадь на два блока — Западный и Восточный. Внутри Западного блока проявлена серия субмеридиональных более низкопорядковых разломов (сдвигов).

Рифейские терригенно-осадочные породы, объединенные в хайвергинскую и бугарихтинскую свиты, в процессе динамометаморфизма превращены в кварциты, гнейсы, сланцы и обособлены в виде тектонических пластин (чешуй). При этом хайвергинская надвинута на нижнебугарихтинскую пластину, а последняя, в свою очередь, надвинута на верхнебугарихтинскую.

Таким образом, формирование структуры Мало-Чипикетской зоны произошло последовательно в три этапа. Основными рудоуправляющими структурами являются:

- линеаменты северо-восточного простирания, которые соответствуют обновленным древним глубинным разломам, преимущественно надвигам;

- крупные купольные структуры (> 10 км), по-видимому, связанные с ранним постнадвиговым этапом и, судя по размерам, наиболее глубинного заложения;

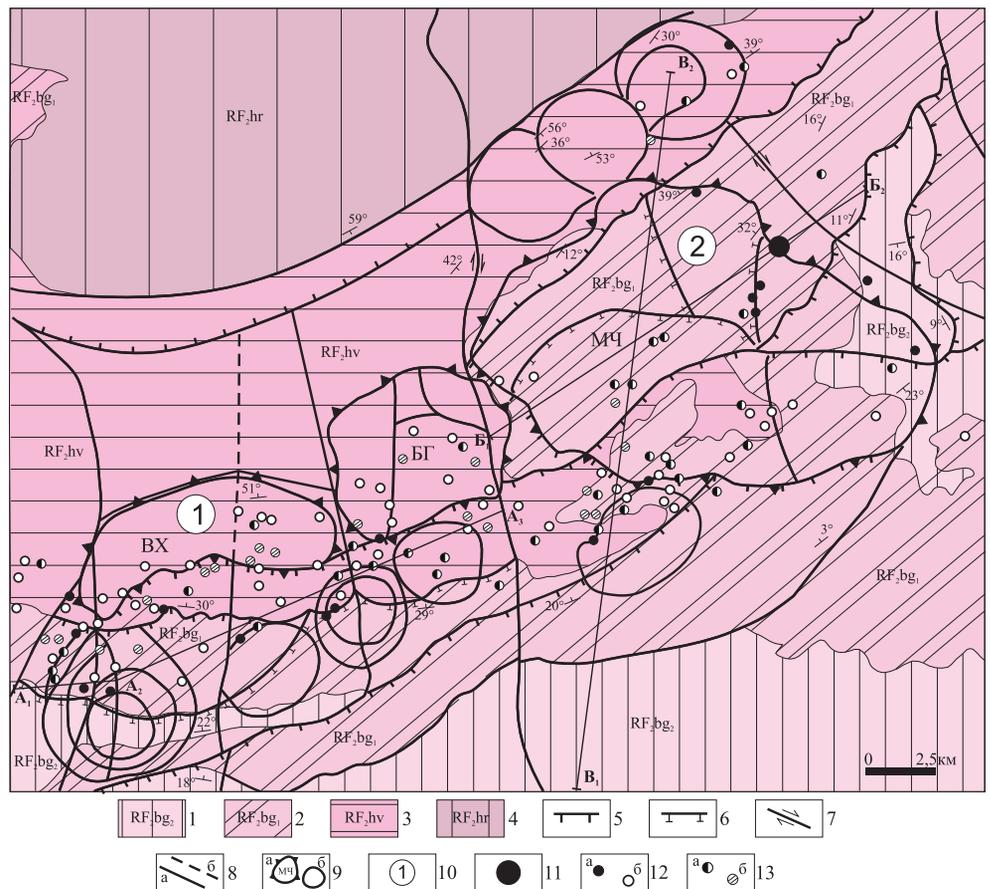
- мелкие купольные структуры (3–5 км) менее глубинные;

- разломная сеть меридионального и северо-западного направлений, более высокого порядка, соответствующая секущей (северо-западной) системе разломов разбивает площадь на более мелкие блоки.

*Вещественные особенности жильномещающего комплекса*

Вмещающие породы играют весьма важную роль в формировании кварцевой минерализации метаморфо-

генно-гидротермального типа. Их влияние обусловлено, с одной стороны, физико-механическими свойствами пород: зернистостью, сланцеватостью, пористостью, проницаемостью, хрупкостью, пластичностью, отчетливо проявляющихся при различных Р-Т условиях метаморфизма, а с другой стороны, химический состав жильномещающих пород может также оказывать определенное влияние на формирование кварцевых жил [2]. При формировании месторождений безрудного кварца происходит извлечение кремнезема и его переотложение в виде кварцевых жил. Известно, что свободный кремнезем выделяется при любых процессах регрессивной направленности, идущих с образованием силикатов, более бедных SiO<sub>2</sub>, чем минералы исходных пород [5]. Показано также, что значительное количество SiO<sub>2</sub> выделяется в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Многие метасоматические реакции также приводят к появлению свободного кремнезема. Оптимальный интервал содержания общего SiO<sub>2</sub> в породах, вмещающих кварцевую минерализацию, изменяется от 70 до 45–50 %. При этом



**Рис. 2. Структурно-минералогическая схема Мало-Чипикетской кварценозной зоны:** 1 — бугарихтинская свита, верхняя подсвита; 2 — бугарихтинская свита, нижняя подсвита; 3 — хайвергинская свита; 4 — хорлухтагская свита; 5 — надвиги; 6 — сбросы; 7 — секущие сдвиги правой кинематики; 8 — крутозалегающие сдвиги левой кинематики: а — достоверные, б — предполагаемые; 9 — купольно-кольцевые структуры: а) крупные: ВХ — Верхне-Хайвергинская, БГ — Бугарихтинская, МЧ — Мало-Чипикетская, б) мелкие; 10 — рудные узлы: 1 — Хайвергинский, 2 — Чипикетский; 11 — месторождение Жила 2821; 12 — проявления: а — средне-мелкозернистого гранулированного кварца, б — неравномернозернистого метаморфизованного кварца; 13 — проявления: а — смешанного типа, б — гигантозернистого первичнокристаллического кварца

**Среднее содержание химических элементов (%) во вмещающих породах Мало-Чипикетской зоны Патомского кварцевого района**

| № пп | Породы/ окислы                     | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | MnO  | CaO   | MgO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | ппп  | H <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> |
|------|------------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|------------------|-----------------|
| 1.   | Кварцит (n=70)                     | 82,83            | 0,38             | 8,41                           | 0,91                           | 1,35  | 0,03 | 0,65  | 0,66 | 2,06              | 1,25             | 0,09                          | 0,08            | 1,19 | 0,06             | 0,23            |
| 2.   | Гнейсы (n=70)                      | 74,06            | 0,57             | 12,23                          | 1,51                           | 2,42  | 0,04 | 1,44  | 1,38 | 2,27              | 1,74             | 0,15                          | 0,16            | 1,89 | 0,08             | 0,35            |
| 3.   | Сланцы среднего состава (n=15)     | 55,95            | 0,84             | 22,12                          | 2,64                           | 3,27  | 0,10 | 1,46  | 1,97 | 1,97              | 4,24             | 0,70                          | 0,11            | 4,45 | 0,11             | 0,08            |
| 4.   | Сланцы основного состава (n=10)    | 50,22            | 1,21             | 20,89                          | 2,76                           | 4,61  | 0,08 | 3,79  | 2,77 | 2,17              | 3,84             | 1,98                          | 0,12            | 5,65 | 0,14             | 0,11            |
| 5.   | Филлониты (n=5)                    | 33,89            | 0,17             | 7,97                           | 0,89                           | 1,97  | 0,01 | 22,82 | 1,18 | 1,05              | 1,25             | 16,87                         | 0,05            | 11,4 | 0,13             | 0,16            |
| 6.   | Амфиболиты хлоритизированные (n=5) | 33,0             | 2,91             | 18,89                          | 11,67                          | 10,05 | 0,32 | 5,6   | 7,86 | 1,19              | 0,65             | 0,39                          | 0,05            | 7,31 | 1,4              | 0,69            |

Примечание: анализы сделаны в лаборатории АТСИЦ ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» (аналитики О.В. Вишневская, Е.Н. Шунина, Р.Р. Гильмутдинов).

подавляющая часть свободного кремнезема, идущего на образование кварцевых жил, извлекается при разложении алюмосиликатов, а не за счет кварца. Поэтому породы с максимальным содержанием свободного кремнезема — наименее благоприятная среда для преобразований, сопровождающихся выделением избыточного кремнезема [9]. Привнос и вынос петрогенных компонентов и, в том числе кремнезема, определяется изменением их растворимости в зависимости главным образом от Р-Т условий минералообразования. Извлечение кварца происходит также при интенсивном тектоническом сжатии путем пластического течения и его выжимания за пределы зоны высоких напряжений, либо растворением кварца и выносом кремнезема циркулирующими в породе метаморфическими растворами. Таким образом, один из определяющих факторов развития кварцеобразования связан с тектогенезом, вызывающим при напряжениях сжатия повсеместную неустойчивость кварца, его выщелачивание и образование в этих зонах кварцевых жил [12].

Для выяснения вещественных особенностей жильно-вмещающего комплекса проведено петрографическое и геохимическое изучение вмещающих пород Мало-Чипикетской минерагенической зоны. Жилонмещающими являются породы, относимые к хайвергинской и бугарихтинской свитам балаганахской подсерии среднего рифея. Терригенно-осадочные породы в условиях динамометаморфизма превращены в тектонсланцы, кварциты, гнейсо-тектониты, амфиболиты, амфиболовые сланцы и милониты.

*Кварциты* на изученной площади приурочены преимущественно к бугарихтинской свите (комплексу) и различаются структурно-текстурными особенностями и содержанием второстепенных минералов. Структура лепидогранобластовая, порфириобластовая, характерно рассланцевание породы с образованием сланцеватых разностей. Текстура полосчатая, очковая, свилеватая.

В кварцитах помимо кварца присутствуют слюды, полевой шпат (плагиоклаз), среднее содержание которого составляет 5–10 %, редко достигает 15 %, часто в порфириобластах встречается гранат. В единичных зернах отмечен карбонат. Среди кварцитов преобладают слюдистые разности с содержанием слюды (мусковита

и биотита) от 15 до 30 % с преобладанием мусковита. По соотношению минералов выделяются слюдистые кварциты, мусковитовые, реже биотитовые. На классификационной бинарной диаграмме (по А.А. Маракушеву) в координатах SiO<sub>2</sub> — (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) фигуративные точки составов кварцитов, как высококремнеземистых пород, расположены в поле составов кварцито-гнейсов и кварцитов с содержанием кремнезема в среднем 82 % (рис. 3). По щелочности кварциты занимают узкий интервал — от 2 до 5 % с преобладанием натрия, содержанием глинозема — 8,5 %. Характерно пониженное содержание титана — 0,38 %, низкое содержание низкотемпературной и связанной воды, присутствие карбонатсодержащих минералов (таблица).

*Гнейсы*, наряду с кварцитами, достаточно распространены преимущественно в составе бугарихтинского комплекса и представлены *плаггиогнейсами* со слабо сланцеватыми и нередко пльчатными текстурами. Структура пород лепидогранобластовая, диабластовая, пойкилопорфириобластовая. Минеральный состав представлен кварцем (25–40 %), плагиоклазом (30–50 %), биотитом (до 20 %), мусковитом (до 20 %). Нередки гранат (до 10 %), амфибол, хлорит, акцессорные минералы: апатит, магнетит, ильменит, рутил, циркон и турмалин. В порфириобластах отмечается гранат, амфибол, цоизит и биотит.

На петрохимической диаграмме А.А. Маракушева фигуративные точки составов гнейсов располагаются в поле гнейсов и кварцито-гнейсов (рис. 3). По сравнению с кварцитами в гнейсах отмечается повышение содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, суммарного железа, кальция, щелочей, потерь при прокаливании (ппп) (таблица).

К *кристаллическим сланцам* отнесена группа пород средней степени метаморфизма и отсутствием в составе существенного количества полевого шпата. На изученной площади широко представлены слюдистые и графит-слюдистые сланцы, содержащие 10–15 % биотита и от 25 до 55 % мусковита. Количество кварца варьирует от 15 до 40 %, кислый плагиоклаз составляет 5–10 %. Графит присутствует в виде тонко распыленной примеси. В числе акцессорных минералов присутствуют ильменит, апатит, циркон, часто лейкоксен, иногда турмалин, нередок рутил, количество которого может достигать 2 %. Текстура пород сланце-

ватая, плейчатая и микроплейчатая, линзовидно- и параллельно полосчатая. Структура лепидогранобластовая, порфиробластовая. Порфиробласты представлены биотитом, гранатом, ильменитом. Гранатовые порфиробласты, как правило, пойкилитовые. Наряду с ксенобластами, отмечались также идиобласты граната с биотитовыми оторочками.

Для группы *кристаллических сланцев* характерен существенный разброс по содержанию кремнезема и щелочей. На диаграмме фигуративные точки составов сланцев образуют два роя точек (рис. 3). Относительно пониженной кремнеземистостью отличаются двуслюдяные и гранатсодержащие сланцы, в которых мусковит преобладает над биотитом. Милонитизированные, серицитизированные породы также характеризуются пониженным содержанием кремнезема, повышенным содержанием щелочей. Содержание кремнезема уменьшается в динамометаморфизованных сланцах с очковой и плейчатой структурой, а также в серицитизированных милонитах.

*Амфиболиты и гранат-амфиболовые сланцы* содержат 50–65 % амфибола (актинолита), 10–15 % кварца, 7–10 % граната, довольно часто до 15 % кислого плагиоклаза. Непостоянно в небольших количествах присутствуют биотит, мусковит, хлорит, клиноцоизит, рутил, ильменит. Амфиболиты характеризуются пониженным содержанием щелочей, высоким содержанием титана и элементов группы железа — хром, никель, ванадий, марганец.

*Амфибол-клиноцоизитовые сланцы* содержат от 18 до 45 % кварца, от 15 до 35 % амфибола, до 30 % клиноцоизита, 8–10 % граната. Нередко отмечаются биотит (до 8 %), кислый плагиоклаз (до 10 %), ильменит (до 8 %) и рутил (до 3 %).

*Филлониты* представляют собой черные неразличимо зернистые породы. Микроскопически сложены тонкозернистыми непрозрачными агрегатами темно-

серого цвета с микроскопическими (менее 0,05 мм) листочками светлой слюды и несколько более крупными (но менее 0,1 мм) угловатыми и удлинёнными зернами кварца. Породы низкоглиноземистые, низкокремнеземистые с содержанием двуокиси кремния 18–19 %, которое в окварцованных разностях возрастает до 42–53 %. Содержание глинозема от 6 до 9,5 %, отмечается низкое содержание двуокиси титана (0,05 %), высокое содержание потерь при прокаливании — 9–14,9 %. Характерной особенностью этих пород является повышенное содержание CaO — от 10 до 29 % и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — от 7 до 22 %, концентратом которых является гидрофторапатит.

Проведение изучения вещественного состава пород жиловмещающего комплекса обусловлено тем, что для метаморфогенных месторождений, к которым относятся месторождения кварцевого сырья, исходные первично-осадочные породы рассматриваются как источники вещества и рудообразующих флюидов при их дегидратации, а образование месторождений и кварцевых жил изофациально Р-Т условиям динамометаморфизма зависят также технологические свойства кварца. Поэтому при изучении вмещающих пород основное внимание уделялось составу и степени метаморфизма исходных пород.

Изучение жиловмещающих пород показало, что исходные терригенно-осадочные породы преобразованы в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций с парагенезисом породообразующих минералов кварц-альбит-мусковит (мусковит-хлоритовая субфация) и кварц-альбит-эпидот-биотит (биотит-мусковитовая субфация).

При изучении шлифов не обнаружены реликты исходных пород, все породы преобразованы в кварциты, гнейсы, сланцы. Породы несут следы динамометаморфических преобразований — полосчато-линзовидный

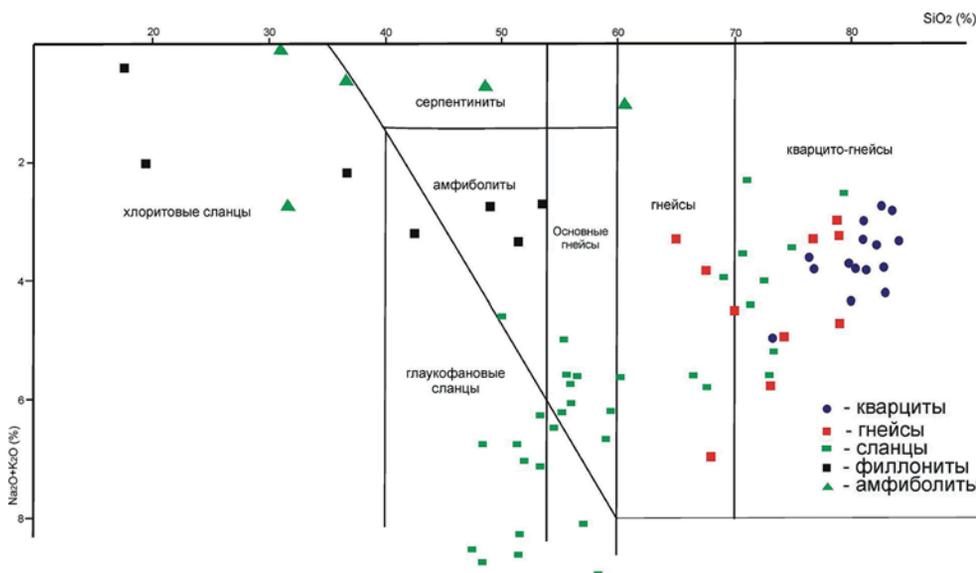


Рис. 3. Положение фигуративных точек составов вмещающих пород Мало-Чипикетской кварценозной зоны на бинарной классификационной диаграмме метаморфических пород (по А.А. Маракушеву, 1973) [8]

и пятнистый облик, присутствие метасоматических преобразований, микропорфирокластические обособления, повышенное содержание углисто-графитового вещества. Из структурно-текстурных особенностей следует обратить внимание на гранулометрический состав — размер зерен основной ткани породы составляет 0,1–0,3 мм, что не характерно для продуктов регионального метаморфизма, при котором, как правило, формируются крупнозернистые породы, а минеральный состав определяется повышенным содержанием плагиоклаза (преимущественно олиго-

клас-андезинового ряда) [3]. В изученных породах из плагиоклазов присутствует альбит, темноцветные представлены биотитом. Характерна аномальность вмещающих пород по титану, что обусловлено присутствием минералов титана — ильменита и рутила.

На имеющихся геологических картах динамометаморфические породы не находят отражения, хотя неоднократно указывалось, что картируемый разрез в южной части Патомского района отражает не исходную стратификацию, а комбинацию тектонически наложенных пакетов покровных пластин [13], что подтверждается проведенными работами.

#### *Закономерности размещения кварцевых жил*

В результате проведения поисковых работ на площади Мало-Чипикетской кварценозной зоны, помимо ранее выявленных кварцепроявлений, было обнаружено свыше 300 жил и их развалов, большинство из которых опробованы и установлены их качественные показатели. Кварцевые жилы сосредоточены в двух тектонических блоках — западном Хайвергинском и восточном Чипикетском, которые рассматриваются в качестве рудных узлов. В пределах последнего локализовано месторождение Мало-Чипикетское (жила 2821), выявленное в 1992 г. Месторождение локализуется в северо-восточном обрамлении Мало-Чипикетской куполовидной структуры (рис. 2). Вмещающие породы месторождения представлены метаморфическими породами бугарихтинского комплекса, динамометаморфизованного в условиях эпидот-амфиболитовой фации. Жила залегает субсогласно с вмещающими породами (гранат-двуслюдянными плагиогнейсами, гранат-мусковитовыми микроплагиогнейсами и гранат-двуслюдянными сланцами) и имеет зональное строение: в эндоконтакте и около ксенолитов вмещающих пород прослеживаются зоны до 5 м шириной, сложенные дымчатым гранулированным кварцем, которые обогащены минеральными примесями. Продуктивная (центральная) часть кварцевой жилы сложена средне-мелкозернистым (2–4 мм) гранулированным кварцем. Минеральные примеси концентрируются в линзы размером 2–3 см в поперечнике и состоят в основном из полевых шпатов и слюд. Присутствует биотит, мусковит, хлорит, альбит, гранат, реже — магнетит, пирит, циркон, амфибол, турмалин, эпидот и муассанит.

Кварцевое сырье месторождения характеризуется повышенной химической чистотой. Коэффициент светопропускания кварца высокий, колеблется в интервале 72–81 %. По содержанию «высокотемпературной» воды (22–23 мкг/г) кварцевый концентрат жилы 2821 соответствует сорту КГО-3 и выше для получения кварцевого стекла. По результатам технологических испытаний гранулированный кварц жилы 2821 пригоден для использования в производстве прозрачного кварцевого стекла для изделий электронной промышленности. Большая часть изученных жил локализуется в Западном рудном узле и приурочена к южному обрамлению Верхне-Хайвергинского купола, граница которого представлена надвигом, а также в его вну-

тренней части, где жилы приурочены к сопряженным с куполом локальным надвигам.

В юго-западной части Западного узла, в обрамлении купола второй генерации, кварцевые жилы локализуются в бугарихтинской тектонической пластине и сложены преимущественно гранулированным кварцем. В серии из трех купольных структур второй генерации кварцевые жилы локализуются в их северном обрамлении, в менее погруженных частях куполов.

В Чипикетском рудном узле жилы гранулированного кварца локализуются в восточном обрамлении Мало-Чипикетского купола (месторождение 2821) и в его западной части. Кроме того, жилы приурочены также к северному обрамлению Сосновского купола.

Составленные разрезы дают представление о величине эрозионного среза и предполагаемом уровне рудообразования.

*Разрез А<sub>1</sub>-А<sub>2</sub>-А<sub>3</sub>* пересекает Западный рудный узел в субширотном направлении (рис. 2). Гипсометрический уровень вершинной поверхности указывает на довольно расчлененный рельеф. На разрезе выделяются два основных блока, различающихся уровнем вершинной поверхности и жиловмещающими породами (рис. 4). Блок 1, сложенный породами бугарихтинской свиты (нижней тектонической пластины (bg<sub>1</sub>), и блок 2 преимущественно хайвергинской (hv) свиты. Эти блоки разбиты на более мелкие. Внутреннюю структуру блока 1 определяют концентрические кольцевые структуры. В блоке вскрыт нижний уровень оруденения, приуроченный к бугарихтинской пластине. Блок 2, отделенный от первого блока крутым субмеридиональным разломом, сложен породами хайвергинского комплекса (hv). Гипсометрически этот блок выше блока 1 примерно на 200 м и выходит за пределы фоновой абсолютной отметки блока и верхнего уровня оруденения. Рельеф относительно сглаженный и незначительно дифференцирован, контролируется купольно-кольцевыми структурами.

*Разрез В<sub>1</sub>-В<sub>2</sub>* проходит по восточному Чипикетскому рудному узлу и сечет центральную часть Мало-Чипикетского купола (рис. 2). Рельеф в пределах профиля тектонический, сбросового типа. Купол деформирован и дифференцированно по блокам опущен, поднятыми остались лишь его ограничения. В первом блоке максимальная предполагаемая мощность оруденения составляет около 40 м, она приурочена к узкому западному обрамлению Мало-Чипикетского купола (рис. 4). Центральная часть купола безрудна, т.к. гипсометрический блок ниже уровня оруденения. Блок 3 в восточном обрамлении купола имеет самый высокий вершинный гипсометрический уровень с предполагаемой зоной оруденения равной около 70 м. К этому блоку приурочена жила гранулированного кварца — 2821. Таким образом, в блоках 1 и 3 сохранились прикорневые части жил. В целом этот блок малоперспективен, т.к. приурочен к депрессионной части Мало-Чипикетского купола, за исключением его довольно узкого обрамления.

*Разрез В<sub>1</sub>-В<sub>2</sub>-В<sub>3</sub>* сечет вкрест Восточный рудный узел (рис. 2). Рельеф слабо дифференцирован, довольно



чешуивания. Гипсометрический уровень вершинной поверхности выдержан и значительно ниже верхнего уровня оруденения. Так как внутренняя часть Мало-Чипикетского купола сильно опущена, оруденение возможно преимущественно в пределах кольцевых ограничений в формациях (bg, +hv).

В результате анализа морфоструктур выявлена блоковая структура Мало-Чипикетской зоны, уровень эрозионного среза жиловмещающих пластин. По гипсометрическому уровню вершинных поверхностей и уровням эрозии вычислена величина денудационного среза и уровни оруденения.

На разрезах выделены блоки, потенциально перспективные на кварцевое оруденение: на разрезе  $A_1-A_2-A_3$  — блоки 2 и 3, на разрезе  $B_1-B_2$  — блоки 1 и 4, на разрезе  $B_1-B_2-B_3$  — блоки 2 и 3.

Составленные гипсометрические разрезы позволяют выявить потенциально перспективные участки (блоки). Установлено два уровня локализации кварцевых жил: первый уровень — нижняя бугарихтинская пластина, в ней локализуются преимущественно кварцевые жилы гранулированного кварца, второй уровень — аллохтонная хайвергинская пластина, локализованная в Хайвергинском узле с многочисленными жилами крупно-неравнозернистого кварца.

#### *Основные характеристики кварцевого сырья*

В качестве оценочных параметров были использованы структурно-текстурные особенности кварца, показатели светопропускания, содержание элементов-примесей и масштабы кварцевых жил.

Кварцевые жилы преимущественно линзовидно-, клиновидные с частыми раздувами и пережимами, образующими будинообразные формы. Жилы несколько отличаются по масштабам, наиболее крупные из них при средней мощности 3–3,5 м имеют протяженность 120–130 м. Крупные жилы преимущественно линзовидные, реже линзовидно-пластовые. Мощность мелких жил в раздувах 2–3 м, редко до 5 м, обычная длина по простиранию 10–15 м. Жильные зоны представлены сближенными кварцевыми телами. Контакты с вмещающими породами согласные, преимущественно пологие с падением в северных румбах.

На основании оптико-микроскопических исследований выделено три основных структурных типа кварца: 1) неравнозернистый метаморфизованный кварц; 2) средне-мелкозернистый гранулированный кварц; 3) гигантозернистый первичнокристаллический кварц.

Жилы, сложенные неравнозернистым метаморфизованным кварцем, являются наиболее типичными. Максимальная их концентрация зафиксирована в Верхне-Хайвергинском рудном узле. Неравнозернистый метаморфизованный кварц бесцветный, светло-серый, прозрачный и полупрозрачный. Текстура в основном массивная, иногда заметна слабая линейность: кварцевые зерна слегка вытянуты и ориентированы в одном направлении. Структура кварца гетеробластовая — размеры зерен

меняются от 1–10 мм до 2–3 см. Следы динамометаморфизма запечатлены в субструктурах метатенеза, которые представлены многочисленными факалами и пластинками деформации, полосками Бёма, деформационными изгибами и блокованием зерен. С увеличением степени деформации линейное блокование зерен переходит в неравномерное, местами с разориентировкой блоков. Таким участкам характерно мозаичное погасание. Наблюдаются пояса деформации с начальной рекристаллизацией и образованием мелких изометричных зерен размером 0,2–0,8 мм.

Коэффициент светопропускания кварца варьирует от 53,7 до 80,8 %. Минеральные примеси представлены мусковитом, полевым шпатом, хлоритом и магнетитом, реже встречаются биотит, пирит и ильменит. Минеральные включения распределены в основном в межзерновом пространстве либо по трещинам, что позволяет предположить высокую обогатимость сырья, несмотря на его повышенную минерализацию (до  $333,2 \times 10^{-3} \%$ ). По результатам лабораторных исследований среднее содержание элементов-примесей составляет 174,4 ppm. Для данного кварца характерно повышенное содержание Al, Fe, Na, K, Ca, Cr и Ti.

Основные жилы, сложенные средне-мелкозернистым гранулированным кварцем, развиваются локально — в западной части Хайвергинского узла и в обрамлении Мало-Чипикетского купола, преимущественно в породах бугарихтинской пластины. К северо-восточному обрамлению купола приурочено разведанное месторождение Мало-Чипикетское, представленное жилой 2821 (рис. 2). Кварц белый, светло-серый, сложен прозрачными и полупрозрачными зернами близкой к изометричной формы размером 1–5 мм. По данным оптической микроскопии гранулированный кварц практически не содержит следов деформаций, в редких случаях улавливается слабо проявленное волнистое погасание, в целом характерно однородное погасание зерен. Структура гранобластовая, равномерно-зернистая, текстура массивная, однородная.

Средне-мелкозернистый гранулированный кварц обладает довольно высоким светопропусканием (69,2–82 %). Содержание минеральных примесей не превышает  $113,3 \times 10^{-3} \%$ , основная масса которых располагается в межзерновом пространстве и представлена мусковитом, биотитом, хлоритом, реже встречаются мелкие включения плагиоклаза и магнетита. Средне-мелкозернистый гранулированный кварц является наиболее чистым природным сырьем среди выделенных типов, сумма элементов-примесей даже в необогащенном сырье отдельных жил данного типа кварца близка к требованиям действующих ТУ на различные виды кварцевой продукции.

Гигантозернистый первичнокристаллический кварц слагает маломощные жилы небольших размеров и имеет подчиненное распространение. Это молочно-белый, бесцветный, разнозернистый кварц, сложенный неоднородными по прозрачности зернами. Замутненность кварца неравномерная, обусловлена насыщенностью газовой-жидкими включениями, раз-

визуализируются по залеченным микротрещинам. Прозрачные участки располагаются между трещинами и имеют разнообразную форму: неправильную, изометричную, вытянутую, прямоугольную, ромбовидную, линзовидную. При микроскопическом изучении в кварце обнаружены факелы и пластинки деформации, полосы Бёма, линейное, реже неравномерное блокирование. Субструктуры метатенеза, характерные для низких и средних ступеней пластических деформаций свидетельствуют о том, что кварц не испытал заметного метаморфизма.

Коэффициент светопропускания гигантозернистого первичнокристаллического кварца варьирует в широких пределах — от 35,3 до 80,2 %, что обусловлено наличием высокопрозрачных стекловидных и замутненных молочно-белых участков в пределах одного образца. Минерализация кварца относительно невысокая, в среднем составляет  $123,4 \times 10^{-3}$  %. При этом следует отметить, что диагностируемые при оптико-микроскопических исследованиях мелкодисперсные включения мусковита, серицита и тонкие игольчатые включения рутила внутри кварцевых зерен являются резко снижающим эффективностью и затрудняющим процесс обогащения фактором. Для кварца характерно повышенное содержание Al, Fe, Ca, K, Na и Ti, среднее содержание элементов примесей составляет 188,2 ppm.

Распределение жил по типам кварца довольно условное, произведено по преобладанию того или иного структурно типа. Наиболее четко устанавливается граница между жилами средне-мелкозернистого гранулированного и гигантозернистого первичнокристаллического кварца. Граница между средне-мелкозернистым гранулированным и неравномернозернистым метаморфизованным кварцем нечеткая, данные разновидности могут присутствовать в одном кварцево-жильном теле одновременно.

#### *Заключение*

Проведенные исследования показали, что структурное положение Мало-Чипикетской кварценозной зоны определяется шовной зоной, ограниченной разломами северо-восточного простирания. Ведущую роль в локализации кварцево-жильной минерализации выполняют выявленные в шовной зоне купольные и линейные структуры — надвиги, которые сформировались в рифей-палеозойский тектоно-геодинамический цикл развития территории под влиянием коллизионных событий (столкновение Сибирского континента и Баргузинского микроконтинента) [6, 10, 11]. Купольные структуры вместе с покровами поднимались в момент тектонической релаксации, деформируя и дробя породы кровли. Метаморфизм терригенно-осадочных пород хайвергинской и бугарихтинской свит в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фации привел к освобождению значительного количества воды и выносу кремнезема, которые, мигрируя по ослабленным зонам, отлагались в виде кварцевых жил в зонах надвигов и сондвиговых структур.

Изучение кварцевого сырья показало, что основного внимания заслуживают жилы средне-мелкозернистого гранулированного и неравномернозернистого метаморфизованного кварца.

Гранулированный кварц характеризуется высоким светопропусканием, повышенной химической чистотой. Локализация минеральных включений в межзерновом пространстве и в трещинах обеспечивает высокую обогатимость этого типа кварца и позволяет рассматривать его как сырье для получения высокочистых кварцевых концентратов. Неравномернозернистый метаморфизованный кварц имеет пониженное светопропускание и повышенную минерализацию, что затрудняет получение высокочистых концентратов. Этот природный тип кварцевого сырья потенциально пригоден для производства рядового кварцевого стекла.

Проведенные работы позволили выделить и оконтурить перспективные участки локализации кварцевых жил с высокими качественными характеристиками и оценить их прогнозные ресурсы.

*Работа выполнена в рамках Гос. контракта ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» в содружестве с ОАО «Кыштымский ГОК» и АО «Иркутскгеофизика».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов, Е.М. Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья / Е.М. Аксенов, Н.Г. Быдтаева, Ю.И. Бурьян и др. // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 5. — С. 24–27.
2. Буряк, В.А. Метаморфизм и рудообразование / В.А. Буряк. — М.: Недра, 1982. — 256 с.
3. Винклер, Г. Генезис метаморфических пород / Г. Винклер. — М.: Мир, 1969. — 248 с.
4. Волчанская, И.К. Анализ рельефа при поисках месторождений полезных ископаемых / И.К. Волчанская, Е.Н. Сапожникова. — М.: Недра, 1990. — 159 с.
5. Добрецов, Н.Л. Фации метаморфизма / Н.Л. Добрецов, В.В. Ревердатто и др. — М.: Недра, 1970. — 432 с.
6. Корольков, А.Т. Геодинамика золоторудных районов юга Восточной Сибири / А.Т. Корольков. — Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. — 251 с.
7. Малышев, А.Г. Особенности формирования кварцевых жил в Патомском нагорье / А.Г. Малышев // Докл. АН СССР. — 1987. — Т. 292. — № 2. — С. 430–432.
8. Маракушев, А.А. Петрология метаморфических горных пород / А.А. Маракушев. — М.: Изд-во Московского университета, 1973. — 322 с.
9. Осинский, А.В. Формационно-генетические типы кварцево-жильной минерализации и принципы их выделения / А.В. Осинский // Слюда и пьезооптическое сырье. Тр. Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-та. НС. — 1979. — Т. 283. — С. 73–112.
10. Сизых, В.И. Шарьяже-надвиговая тектоника окраин древних платформ / В.И. Сизых. — Новосибирск: Изд-во СО РАН филиал Гео, 2001. — 154 с.
11. Синцов, А.В. Этапы деформаций Мамско-Бодайбинской складчатой зоны / А.В. Синцов // Тектоника Неогена: общие и региональные аспекты: Матер. совещания. — М.: Геос, 2001. — Т. 2 — С. 195–199.
12. Тохтуев, Г.В. Поисковые критерии железистых кварцитов и богатых железистых руд Украинского щита / Г.В. Тохтуев. — Киев, 1973. — 75 с.
13. Федоровский, В.С. Нижний протерозой Байкальской горной области / В.С. Федоровский. — М.: Наука, 1985. — 200 с.

© Коллектив авторов, 2018

Быдтаева Нина Григорьевна // bdt-aleks@mail.ru  
Галиахметова Лилия Хуснулловна // gal-lilia@mail.ru  
Киселева Раиса Алексеевна // root@geolnerud.net  
Непряхин Александр Евгеньевич // technology-geolnerud@yandex.ru