

но-Саянской горной области и усилением эрозионно-денудационных процессов. В результате отдельные месторождения урана типа «несогласия» были повторно выведены на дневную поверхность, уничтожены и лишь некоторые объекты сохранились до настоящего времени. Индикатором сохранности месторождений служит наличие нижнерифейских отложений межгорной молассы. Исследование таких обстановок является главной и первоочередной задачей при проведении поисковых работ на уран в Восточном Присаянье.

Представленный макет эволюционно-геологической модели предлагает по-новому взглянуть на генезис и историю развития ряда урановорудных объектов Восточного Присаянья. Ее адаптирование к геологическим и ландшафтно-геоморфологическим условиям территории позволит выделить перспективные площади ранга рудного поля — рудного узла для постановки поисковых работ на «слепое» и слабо проявленное урановое оруденение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гладкочуб Д.П., Скляров Е.В., Мазукабзов А.М. и др. Неопротерозойские дайковые рои Шарыжалгайского выступа — индикаторы раскрытия Палеоазиатского океана // Доклады РАН. — 2000. — Т. 375. — № 4. — С. 504–508.
2. Долгушин А.П., Черкасов Г.Н. Перспективы выявления богатого уранового и золото-уранового оруденения в Северо-Енисейском и Восточно-Саянском регионах / Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири и прилегающих территорий: Матер. науч.-пр. конф. — Красноярск: ОАО Красноярскгеолсъемка, 2007. — С. 239–245.
3. Домышев В.Г., Лепин В.С. О возрасте древних базитов Присаянья / Геология, тектоника и рудоносность докембрия Сибирской платформы и ее обрамления. Геохронология. — Иркутск, 1987. — С. 227–228.
4. Макарьев Л.Б., Шувалов Ю.М. Перспективы выявления комплексного уранового оруденения в позднепротерозойских несогласиях юга Восточной Сибири // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — М.: ВИМС, 2000. — Вып. 141. — С. 26–28.
5. Орлов М.В., Чесноков Л.В., Шашорин Б.Н. и др. О необходимости активизации поисковых работ на уран в Центральном Присаянье // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — М.: ВИМС, 2006. — Вып. 150. — С. 17–26.
6. Орлов М.В., Чесноков Л.В. Сравнительные особенности геологического строения и факторов ураноносности Центрального Присаянья и купола Нанамбу (сев. Австралия) // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — М.: ВИМС, 2004. — Вып. 145. — С. 154–172.
7. Самович Д.А. Минерально-сырьевая база юга Восточной Сибири // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. — М.: ВИМС, 2005. — Вып. 148. — С. 117–129.
8. Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М. и др. Геологические комплексы южной краевой части Сибирского кратона — индикаторы эволюции неопротерозойского суперконтинента. Интернет ресурс: elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v05/tje03125/text-end.doc. (20.12.2014).
9. Чесноков Л.В., Нечелюстов Г.Н., Сумин Л.В. Ассоциация, состав и возраст оксидной урановой минерализации в Присаянье // Минеральное сырье. — 1997. — № 1. — С. 101–111.
10. Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M. and other. Geologic complexes of the southern marginal part of the Siberian Craton as indicators of the Neoproterozoic supercontinent evolution. Russian Journal of Earth Sciences. Vol. 5, No. 4, August 2003. Интернет ресурс: <http://elpub.wdcb.ru/journals/rjes/v05/tje03125/tje03125.htm> (10.01.2015)

© Коллектив авторов, 2015

Бабкин Николай Яковлевич // vims@df.ru
Гребенкин Николай Анатольевич // vims@df.ru
Долгушин Александр Павлович // dolgushin1960@mail.ru
Зайцев Сергей Устинович // zaytcev-sosnovgeo@mail.ru
Корявко Анатолий Иванович // vims@df.ru
Куличенко Виктор Михайлович // vims@df.ru
Мельников Сергей Иванович // vims@df.ru

Данковцев Р.Ф., Шашорин Б.Н., Выдрич Д.Е.
(ФГУП «ВИМС»)

ГЛУБИННЫЕ РУДОФОРМИРУЮЩИЕ ЭНЕРГО-МАГМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА И БАЙКИТСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

*На основе разработанной в ВИМС оригинальной модификации спектрально-корреляционного анализа исходных гравиметрических данных, их геологической и металлогенической интерпретации, выделены мантийные и внутрикорковые очаги разуплотнения (астенолинзы, серпентинит-ультрабазитовые бассейны, магматические резервуары), являющиеся энергетическими центрами (источниками) эндогенного рудообразования. **Ключевые слова:** глубинно-плотностной анализ, астеносферные диапиры, направления термофлюидного транзита.*

Dankovtsev R.F., Shashorin B.N., Vydrich D.E. (VIMS)

DEEP ORE-FORMING ENERGY-MAGMATIC SYSTEM OF THE YENISEI RIDGE AND BAIKIT ANTECLISE

*Based on the original VIMS modification of spectral-correlation analysis of the baseline gravimetric data, geological and metallogenic interpretation allocated mantle and nutricology pockets decompression (asthenolense, serpentinite-ultrabasic pools, magmatic reservoirs), which is the energy centers (sources) of endogenous mineralization. **Key words:** depth-density analysis, asthenospheric diapir, directions thermofluids transit.*

Разработанная в 1980-х годах в ФГУП «ВИМС» оригинальная модификация спектрально-корреляционного анализа исходных гравиметрических данных (способ ГРАВИСКАН) много лет использовалась для глубинно-плотностного «зондирования» рудоносных территорий [3, 4, 7] и выявления глубинно-геологических критериев прогноза крупных и уникальных месторождений урана, золота и других полезных ископаемых на основе изучения эталонных объектов ведущих металлогенических провинций мира [9–12].

Из проведенных сопоставлений глубинно-плотностных (ГП) моделей с другими геофизическими материалами проявилась их наиболее эффективная корреляция с данными магнитно-теллурических зондирований (на наиболее глубоких, подкорковых уровнях) и сейсмическими разрезами в модификации МОВ ОГТ (на всех уровнях кровли верхней мантии и земной коры [5]).

Сопоставимость результатов глубинно-плотностных и сейсмических исследований в современных модификациях, с учетом их подтвержденности сверхглубоким бурением (Кольская скважина СГ-3), является убедительным аргументом правомочности использования способа ГРАВИСКАН в целях изучения глубинного строения недр, разработки более объективных моделей рудогенеза и выявления качественно новых глубинно-геологических критериев прогноза и поисков эндогенных рудных месторождений. Методологические принципы, разработанные в ФГУП «ВИМС» исследований, состоят в следующем:

1. Стержневой основой модели эндогенного рудогенеза в объеме земной коры является глубинная рудо-

формирующая энерго-магматическая ГРЭМ-система, обеспечивающая во времени эволюцию конструктивных и деструктивных геотектонических режимов и соответствующих магматических и сопутствующих им процессов. Развитие ГРЭМ-системы во времени подразделяется на ряд этапов, в течение которых последовательно формируются: астеносферный диапир в кровле верхней мантии → «серпентинит-ультрабазитовый» («СУБ») бассейн в основании коры или на границе нижней и верхней коры → магматические резервуары сложного состава на границах структурных этажей внутри верхней коры → их интрузивные и вулканоплутонические дериваты в приповерхностных горизонтах коры. Каждый элемент ГРЭМ-системы, в силу исходной флюидонасыщенности, является переносчиком вещества (в том числе рудного) и энергии, трансформирующихся на разноточных уровнях по мере ее развития. На абиссальном уровне в кровле «СУБ» бассейна тепломассоперенос осуществляется в форме высоких степеней метаморфизма и регионального метасоматоза литокомплексов каркаса коры. На мезоабиссальном уровне в ареалах развития магмогенерирующих резервуаров сложного состава трансформации вещества и энергии выражаются в многообразных процессах магматической дифференциации в сопровождении воздействия флюидно-метасоматических производных на исходные литокомплексы коры. На гипабиссальном и приповерхностном уровнях происходят конечные выплавки или излияния магм среднего, кислого и щелочного состава, геохимически специализированных на различные группы металлов, которые могут служить источником рудного вещества в гидротермально-метасоматических процессах, завершающих развитие ГРЭМ-системы. В зависимости от периодичности активизации астенотинзы эволюция ГРЭМ-системы может быть моно- или полициклической, а формирование ее отдельных элементов — в меньшей или большей мере импульсивным, что выражается в частоте и многообразии фаз магматизма, метаморфизма, метасоматоза и гидротермальной деятельности. В целом процессы функционирования ГРЭМ-систем могут быть очень длительными (от докембрия до кайнозоя) с теми или иными промежутками во времени между отдельными циклами, а также этапами накопления и разгрузки рудного вещества.

2. Эволюция вещественно-энергетических процессов в пространстве определяется степенью гетерогенности каркаса коры к началу развития ГРЭМ-системы и, в зависимости от нее, стилем проявления астеносферного диапиризма и его внутрикоровых производных. Одно- или двухслойная, существенно гомогенная или близкая к ней кора обуславливает развитие ГРЭМ-системы по вертикали и кондуктивную (всей поверхностью системы) форму транспортировки вещества и энергии. Контрастно расслоенная кора, характеризующаяся чередованием снизу вверх по разрезу существенно гетерогенных горных масс, разделенных границами крупных структурно-стратиграфических несогласий, определяет развитие ГРЭМ-системы по латерали и кумулятивную (строго направленную) форму тепломассопереноса с его скачкообразным перебросом с нижних

на верхние уровни. Соответственно в первом случае ГРЭМ-система приобретает автохтонный характер с постепенными переходами составляющих ее элементов по вертикали, во втором — аллохтонный с последовательным обособлением ее мезо- и гипабиссальных производных в основном на латеральных интервалах разноточных уровней, разделенных вертикальными межблоковыми зонами «энергетических» порогов. Кондуктивная форма тепломассопереноса характеризуется рассредоточенным выносом вещества и энергии на протяжении длительных интервалов геологического времени и преимущественно постепенным накоплением рудных концентраций собственно магматического, метаморфического или метасоматического типа. Кумулятивная форма создает импульсивный характер такой транспортировки, разделенной во времени периодами накопления вещества и энергии на определенных уровнях и (при достижении критического состояния системы) быстрого (вплоть до взрывного) переброса их на верхний уровень, что определяет более концентрированный характер рудоотложения, сосредоточенный в более коротких отрезках времени. Указанные формы развития ГРЭМ-систем в пространстве являются крайними членами целого ряда промежуточных форм, которые сочетают в себе признаки обоих типов эволюции и представляются, как показывает практика применения подобного глубинно-геологического анализа, преобладающими. Возникающие при таком сочетании усложнения систем могут в некоторых случаях усугубляться наложением на них высоко агрессивных водородных мантийных струй, «прожигающих» кровлю мантии и нижнюю кору, а в верхней коре использующих образованные ГРЭМ-системами каналы коромантийной связи и формирующих зоны или узлы «нелинейной» металлогении.

3. Эволюция конструктивных и деструктивных геотектонических режимов в объеме земной коры определяется как подкоровыми геодинамическими процессами, так и тектоническими напряжениями, связанными с развитием ГРЭМ-систем. Первые обуславливают региональные процессы воздымания или погружения, сжатия или растяжения крупных плит литосферы, на фоне которых образуются поля тектонических напряжений более высоких порядков, обусловленных динамическим воздействием на каркас коры процессов внутриплитного тепломассопереноса. Каждая ГРЭМ-система в ходе своей эволюции образует на различных уровнях коры автономные геодинамические обстановки или геодинамические контуры (ГДК). Центральные области контуров всех уровней испытывают растягивающие усилия по латерали и сжимающие по вертикали. Их граничные зоны, наоборот, подвергаются сжимающим напряжениям по латерали и растягивающим — по вертикали. Их телескопирование в разрезе коры может быть причиной возникновения различных модификаций геодинамических обстановок и, как следствие — специфических особенностей рудообразующих процессов и условий рудоотложения. В типовых обстановках сквозного растяжения в центрах ГДК, где на абиссальном уровне развиваются процессы метаморфизма, на мезоабиссальном — гранитизации и

ареального метасоматоза и на верхних горизонтах — вулканоплутонического магматизма, формируются рудные концентрации преимущественно литофильного типа (Th-U-TR, Ta-Nb, Be-F, P, ... и др.). В условиях тангенциального стресса на граничных барьерах ГДК, где осуществляются процессы базификации каркасы коры с привнесом тяжелых металлов, преобладает формирование рудных объектов сидерофильного типа (Mg, Fe, Ti, Cr, Co, Ni, Pt и др.). В промежуточных обстановках на путях пространственного развития ГРЭМ-систем, в условиях своеобразного «динамического равновесия», при благоприятных термодинамических, физико-химических, окислительно-восстановительных параметрах среды могут формироваться монометалльные или комплексные рудные месторождения халькофильного или халькофильно-литофильного типов (W, Sn, Pb, Zn, U, Au, Be и др.). При телескопировании планов тектонических напряжений могут создаваться рудные комбинации самых различных типов, формирование которых будет сопровождаться проявлением процессов регенерации, реювенации и переотложения рудных накоплений, а в некоторых случаях — и их разрушения.

Таким образом, единые методологические принципы разработки моделей эндогенного рудообразования в различных по типу формирования геоблоках земной коры включают обобщенные исходные положения, которые должны служить основой создания конкретных моделей рудогенеза для каждой из изучаемых территорий. Составление таких моделей обеспечивает выявление основных факторов рудообразования применительно к данному мегаблоку и вытекающих из них критериев прогноза и поисков рудных месторождений.

Важнейшим условием разработки качественно новых глубинно-геологических критериев прогноза является системный подход к решению этой задачи. Уже само ранжирование критериев на региональные, районные и локальные предопределяет масштабы соответствующих базовых модельных построений.

Наиболее глубинные факторы эндогенного рудообразования выявляются при построении моделей в масштабе 1:1 000 000 (1:2 500 000), которые охватывают всю кору и кровлю верхней мантии, характеризуют позиции известных рудных районов и раскрывают перспективы выявления новых рудоперспективных площадей такого же ранга. В масштабе 1:200 000 (1:500 000) анализируются особенности глубинного строения известных и потенциальных рудных районов в объеме верхней коры (до глубины 10–20 км), фиксируется положение известных рудных узлов различных типов и выделяются новые обстановки возможной локализации их аналогов. Дальнейшее укрупнение масштаба анализа обеспечивает наиболее завершенную форму модельных построений и на их основе — достижение конечного результата прогнозно-поисковых работ — выявление новых рудных месторождений.

Методика и результаты исследований. В пределах Енисейского кряжа и Байкитской антеклизы (рис. 1) глубинно-плотностной анализ включал расчеты (в м-бе 1:1 000 000) и построение (в м-бе 1:2 500 000) 7

погоризонтных планов (гармоник) локальных аномалий $\Delta g_{\text{лок}}$ (сечение изолиний 4 мГл) с шагом по глубине 10 км, а также опорных глубинно-плотностного (ГП) и физико-геологического (ФГ) разрезов по представительному профилю. По соответствующим гармоникам построены объемные карты, отображающие инфраструктуру плотностных (квазиплотностных, в изолиниях мГл) неоднородностей кровли верхней мантии (Н = 40–60 км), нижней (Н = 20–30 км) и верхней (Н = 10 км) коры. На разрезах, построенных по всем 7 гармоникам, в деталях, допустимых масштабом анализа, выявлялись характерные особенности инфраструктуры недр в объеме от поверхности до глубины 60 км. ГП-разрезы фиксируют только фактические данные, ФГ-разрезы — их авторскую физико-геологическую интерпретацию с использованием разработанных ранее приемов [1].

На объемной карте кровли верхней мантии, «подстилающей» Енисейский кряж и Байкитскую антеклизу (рис. 1), глубинно-плотностная инфраструктура недр выражена крупными элементами, ассоциирующими с суммарным эффектом горных масс с дефицитом плотности (отрицательные аномалии Δg) и ее избытком (положительные аномалии Δg). Первые интерпретируются как *астенолинзы*, являющиеся производными мантийных плюмов. Вторые соответствуют в разной степени консолидированной верхней мантии, не подвергшиеся в процессе мантийного диапиризма существенной переработке, но могли испытать влияние региональной базификации или уплотнения в обстановке тангенциального динамического стресса.

В контуре изученной территории (рис. 1) выделяют три крупные астенолинзы, очерченные изоповерхностями по изолиниям — 4 мГл по 5, 6 и 7-й гармоникам: Присяянско-Ангарская (на юге), Тунгусская (в центре) и Нижне-Тунгусская (на севере). Все три астенолинзы соединяются единым магистральным каналом флюидно-энергетического транзита, ориентированным в меридиональном направлении с севера на юг, берущим свое начало от крупного мантийного плюма, выявленного в центре Восточно-Сибирской трапповой провинции в процессе ее глубинно-плотностного анализа масштаба 1:5 000 000 [12]. Тунгусская и Присяянско-Ангарская астенолинзы непосредственно примыкают на северо-востоке и юго-востоке к Енисейскому кряжу, Нижне-Тунгусская располагается в некотором удалении от него. По данным того же анализа масштаба 1:5 000 000 [12] за юго-западной кромкой карты располагается еще одна астенолинза, «отпочкованная» от Енисейского плюма, образующего значительно более короткие ветви термофлюидного транзита (одна из них на рис. 1 показана пунктиром у западной границы кряжа). Тунгусская и Нижне-Тунгусская астенолинзы образуют практически единый ареал, разделенный в кровле мантии широкой седловиной. При этом первая из них располагается непосредственно под Байкитской антеклизой, а ее центр наибольшей концентрации вещества и энергии — под нефтегазоносным Камовским сводом (рис. 1).

Присяянско-Ангарская астенолинза, напротив, занимает обособленное положение и имеет крутые гра-

нические изоповерхности. Магистральный канал термофлюидного транзита соединяет ее с Тунгусской астенотинзой с погружением под уплотненную висющую перемижку широтной ориентировки (рис. 1).

В интервале нижней коры ($H = 20\text{--}30\text{ км}$) плотностная инфраструктура существенно усложняется (рис. 2).

Наиболее крупные ареалы разуплотнения пространственно совмещены с астенотинзами, но морфологически они явно меняются. Под Тунгусской и Присяянско-Ангарской астенотинзами на глубине 30 км они еще близки ей по очертаниям, но на уровне 20 км приобретают дугообразную форму, обращенную выпуклостью

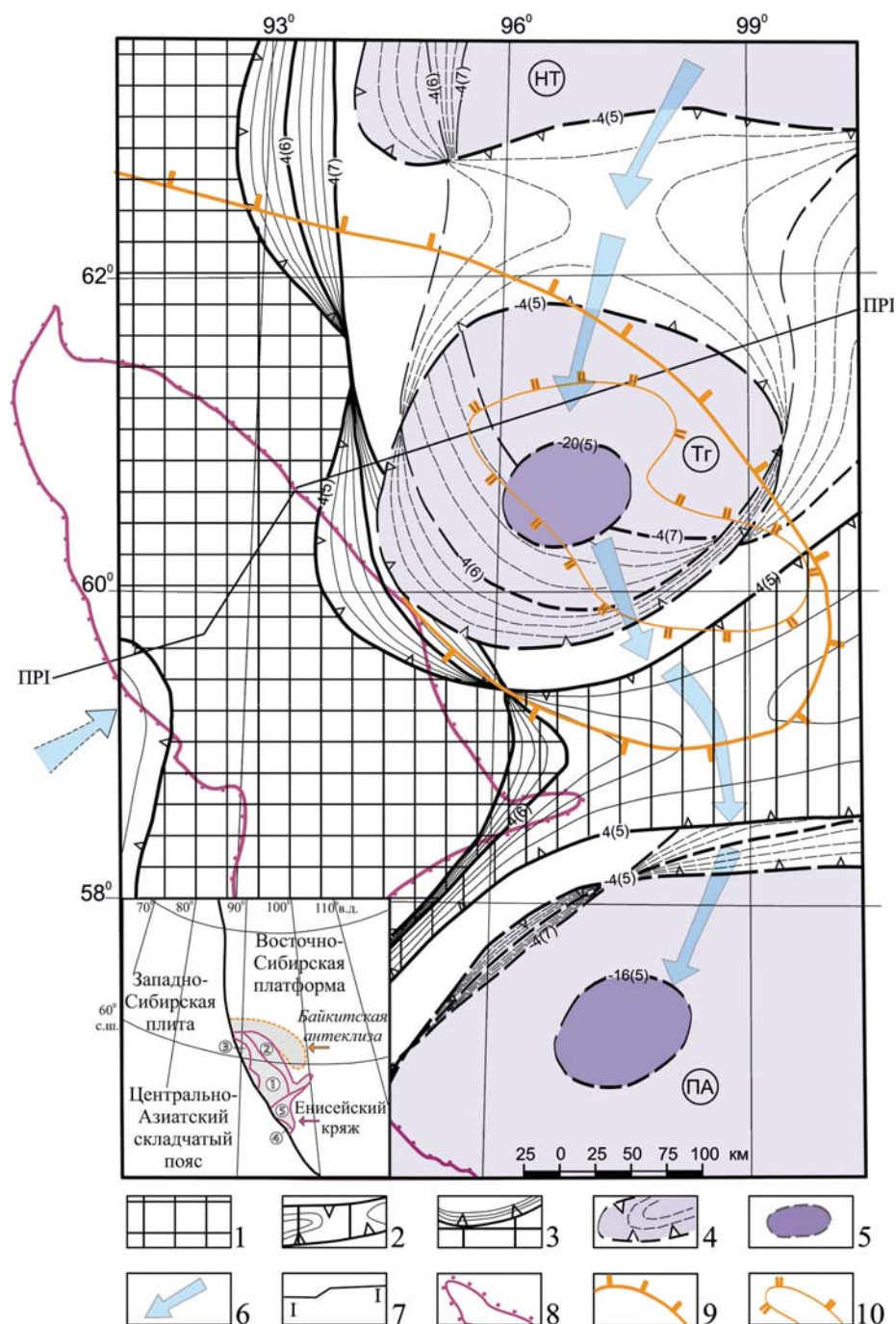


Рис. 1. Объемная инфраструктура плотностных неоднородностей (в изолиниях мГл) в интервале глубин 40–60 км (кровля верхней мантии): 1 — уплотненный сегмент ($>4\text{ мГл}$) консолидированной верхней мантии; 2 — уплотненные ($>4\text{ мГл}$) висячие плиты и карнизы верхней мантии; 3 — ложбины в кровле верхней мантии; 4 — скульптурные изоповерхности, очерчивающие ареалы разуплотнения ($<-4\text{ мГл}$) верхней мантии (Тг — Тунгусский, ПА — Присяянско-Ангарский, НТ — Нижне-Тунгусский); 5 — центры контрастного ($-12\text{--}20\text{ мГл}$) разуплотнения (корневые структуры астеносферных диапиров); 6 — магистральное направление мантийного термофлюидного транзита; 7 — линия опорного профиля; 8 — контур Енисейского кряжа; 9 — контур Байкинской антеклизы; 10 — контур Камовского свода. Цифры в кружках на схеме-врезке — геоблоки Енисейского кряжа: 1 — Центрально-Ангарский, 2 — Восточно-Ангарский, 3 — Исаковский, 4 — Предивинский, 5 — Ангаро-Канский

на северо-запад; соответственно морфологически меняются центры (-20 мГл) максимальной концентрации вещества и энергии. Разделяющая их уплотненная перемижка на уровне нижней коры наращивается и в области Тунгусской астенотинзы приобретает форму блока, имеющего консолидированный характер. В контуре Присяянско-Ангарской астенотинзы на уровне 20 км появляются уплотненные висячие плиты овальной формы. Видоизменился ареал разуплотнения над Нижне-Тунгусской астенотинзой (рис. 2): здесь произошло раздвоение единого ареала на западную и восточную ветви, ориентированные на юго-запад и включающие на своих замыканиях сравнительно менее контрастные центры (-12 и -16 мГл).

Существенно меняется обстановка на юго-западном фланге территории. В юго-западной краевой зоне Енисейского кряжа в нижней коре от ее кровли до основания формируется глубокая ложбина, вытянутая в северо-западном направлении (параллельно оси кряжа), которая вмещает морфологически согласный с ней ареал разуплотнения с центром повышенной контрастности (до -12 мГл) (рис. 2). Этот ареал тесно сопряжен с восточным крутым бортом ложбины, а на западе обрамлен уплотненной висячей перемижкой. За этой перемижкой, уже за контуром кряжа, располагаются ареалы разуплотнения (фрагменты) со своими центрами контрастности (до -16 мГл) (рис. 2). Все три ареала являются производными астенотинзы Енисейского плюма, а два последних пространственно совмещаются с юго-восточным входящим углом Западно-Сибирской платформы (Чулымо-Енисейский прогиб).

Уплотненный каркас нижней коры (очерченный изоповерхно-

стями по изолиниям 4 мГл 2-й и 4-й гармоник) имеет достаточно расчлененный характер и представлен тремя основными элементами: субмеридиональным собственно Енисейским, субширотным Ангарским (на юге) и Тунгусским (на севере). Элементы эти отличаются повышенной степенью консолидации, а их борта

сравнительно слабо корродированны воздействием процессов разуплотнения (рис. 2).

В сложившейся инфраструктуре плотностных неоднородностей нижней коры соответственно меняются направления термофлюидного транзита, что определяется положением образованных на этом глубинном

уровне (абиссальном) центров концентрации вещества и энергии (рис. 2). Основное значение при этом имеет то, что во всех случаях термофлюидные потоки берут начало от более глубоких центров и транспортируются в направлении к периферии ареала разуплотнения и далее за его пределы, преимущественно в ложбины в кровле нижней коры (рис. 2).

Плотностная инфраструктура верхней коры (рис. 3) в данном масштабе анализа отображается только 2-й гармоникой (1-я гармоника сильно затушевывает особенности ее структурного плана). Эти особенности в целом согласуются с планом нижней коры, но отличаются от него некоторыми, часто важными, деталями. Так, на этом уровне ареалы разуплотнения в своем большинстве превращаются в линейные, дуго- и кольцеобразные зоны или отдельные локальные очаги. Центры концентрации вещества и энергии нижнего уровня здесь (на глубине 10 км) распадаются на обособленные очаги и появляются новые. Енисейский край в своей большей части сохраняет консолидированный характер, остальные же элементы каркаса коры распадаются на части прихотливой формы и различной ориентировки, что свидетельствует об активном взаимодействии с ними термофлюидных потоков на этом уровне (мезо-абиссальном).

Особенности глубинного строения территории региона на еще более наглядно проявляются на ГП- и ФГ-разрезах по сборному профилю I-I, представленному на рис. 4. Основное значение при этом имеет то, что рас-

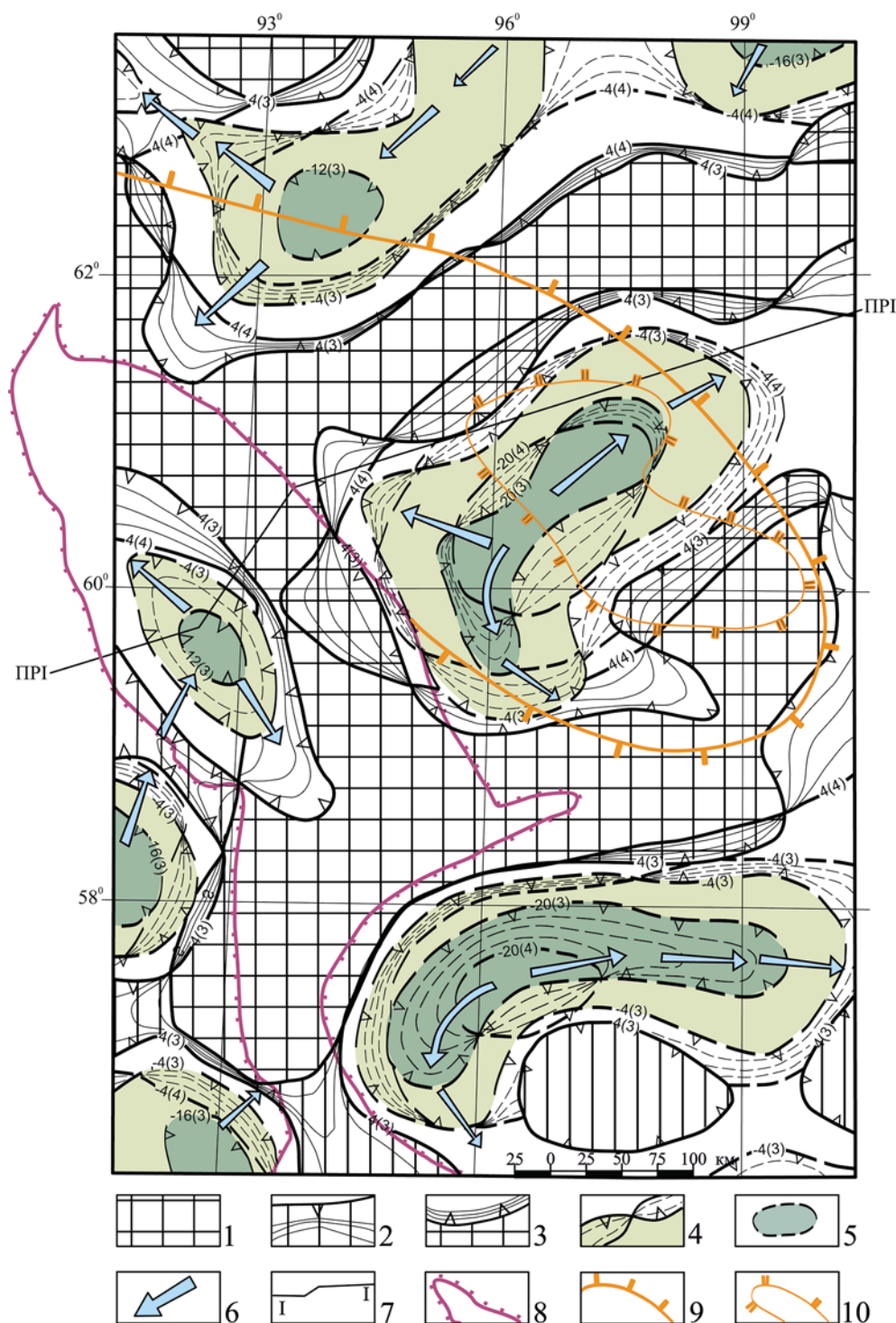


Рис. 2. Объемная инфраструктура плотностных неоднородностей (в изолиниях мГл) в интервале глубин 20–30 км (нижняя кора): 1 — уплотненные сегменты (>4 мГл) нижней коры; 2 — уплотненные (>4 мГл) висающие плиты и карнизы нижней коры; 3 — ложбины в кровле нижней коры; 4 — скульптурные изоповерхности, очерчивающие (по изолиниям <-4 мГл) ареалы разуплотнения нижней коры («серпентинит-ультрабазитовые» («СУБ») бассейны); 5 — центры контрастного (-12–20 мГл) разуплотнения (очаги накопления вещества и энергии); 6 — основные направления термофлюидного транзита; 7–10 — усл. обозначения см. на рис. 1

смотренные выше разноточные уровни недр отображаются на этих разрезах во взаимосвязи, позволяющей более уверенно интерпретировать разноточные элементы.

На ГП-разрезе (рис. 4) фиксируется объективная картина распределения плотностных неоднородностей,

полученная компьютерной корреляцией равных значений $\Delta g_{\text{лок}}$ всех гармоник. Хорошо видно, что эта картина достаточно сложная как по латерали, так и по вертикали. Вместе с тем, отмечается преобладание плотных масс в центре разреза и разуплотненных — на его флангах. В целом картина хорошо согласуется с

давно утвердившимся представлением, что Енисейский кряж выполняет роль «буферного» сооружения, образованного в области коллизионного сочленения Восточно- и Западно-Сибирских плит [2], что выражено в форме интенсивной напряженности тектонических структур. Именно эта напряженность и фиксируется в усложненности плотностной инфраструктуры под Енисейским кряжем.

На ФГ-разрезе (рис. 4) отображена авторская интерпретация фактических характеристик плотностной инфраструктуры. Она выполнена в соответствии с существующими геотектоническими представлениями и существенно дополняет их, увязывая приповерхностные структуры с глубинными уровнями литосферы. Так, устанавливается, что тектоническая напряженность в контуре Енисейского кряжа обусловлена развитием активизированных астенотинз и их коровых производных, расположенных на флангах разреза.

Енисейская астенотинза залегает под Чулымо-Енисейским прогибом, а ее диапир прорывает юго-западную зону сопряжения с кряжем, достигая его центрального структурно-формационного пояса (рис. 4). Здесь, на уровне 20–40 км образуется крупный «СУБ» бассейн с автохтонным магмогенерирующим резервуаром в кровле (на глубинах 10–15 км). В совокупности эти контрастно разуплотненные элементы в геодинамическом плане образуют область внутриплитного растяжения, вызывающие напряжения тангенциального стресса в смежных юго-западном и северо-восточном поясах кряжа с развитием сдвигов и надвигов (рис. 4). Таким образом, юго-западный блок каркаса коры оказывается окаймленным со всех сторон активными флюидонасыщенными

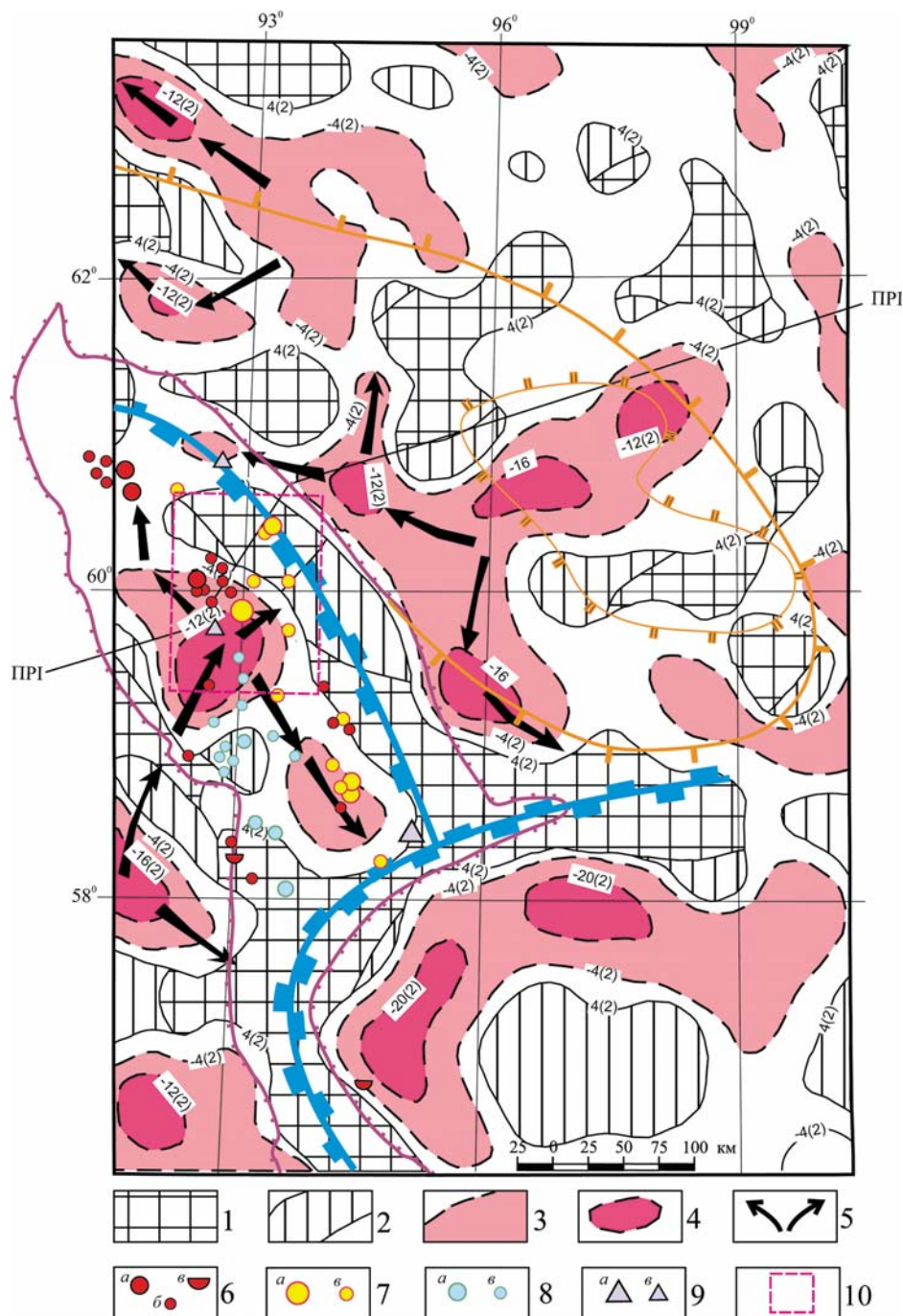


Рис. 3. Инфраструктура плотностных неоднородностей (в изолиниях мГл) на уровне 10 км (верхняя кора): 1 — уплотненные (>4 мГл) зоны и блоки; 2 — уплотненные висающие плиты и карнизы; 3 — разуплотненные (<-4 мГл) зоны и очаги (магмогенерирующие резервуары); 4 — центры контрастного (-12...-20 мГл) разуплотнения (очаги накопления вещества и энергии); 5 — основные направления термофлюидного транзита; 6 — месторождения (а, в) и рудопроявления (б) урана гидротермального генезиса (а, б), инфильтрационные стратиформные (в); 7 — золоторудные месторождения: крупные и уникальные (а), средние и мелкие (б); 8 — месторождения (а) и рудопроявления (б) полиметаллов; 9 — месторождения железа: крупные (а), мелкие (б); 10 — контур площади, в пределах которой проводилась детализация плотностной инфраструктуры верхней коры Северо-Енисейского рудного района. Крупными протяженными голубыми линиями в СВ и ЮВ обрамлениях Енисейского кряжа показаны региональные плотностные барьеры

элементами, среди которых он занимает висячее положение, испытывая сжимающие напряжения. Кроме того, в него внедряются сквозь-литосферные гипертермальные водородные струи [8], обильно насыщающие этот блок базитовым и ультрабазитовым материалом и рудными элементами (Cu, Pb, Zn). Судя по возрасту магматических и рудных образований, наиболее активная фаза развития Енисейской астенотинзы и ее производных осуществлялась во второй половине рифея с отдельными импульсами в нижнем палеозое.

Тунгусская астенотинза занимает обширную территорию в пределах Восточно-Сибирской платформы, залегая под Байкитской антеклизой (рис. 4). Не повторяя ранее изложенные характеристики, отметим только то, что ее производные достигают Енисейского кряжа лишь на мезоабиссальном уровне (10–15 км) и практически не проникают внутрь его северо-восточного блока (рис. 4). Эта зона кряжа значительно более консолидирована и залегает на верхней мантии, образующей в этом интервале четко выраженный выступ. Еще одно обстоятельство состоит в том, что в зоне сопряжения антеклизы с Енисейским кряжем в основании платформенного чехла залегают интенсивно дислоцированные рифейские литоконплексы. Это позволяет предполагать, что источником их динамического стресса служили производные Тунгусской астенотинзы, поскольку эта зона в рифее была изолирована от воздействия на нее Енисейской астенотинзы. Это сви-

детельствует о том, что Тунгусская астенотинза имела в своем развитии два этапа: рифейский и триас-юрский, который ознаменовался формированием гигантской трапповой провинции.

Глубинные факторы рудоконтpоля. Как показывает глубинно-плотностной анализ, выполненный по многим территориям, несмотря на разнообразие геологических условий размещения рудных объектов разного формационного типа, ранга и возраста, устанавливается принципиально единая система самоорганизации процессов эндогенного рудообразования, позволяющая существенно дополнить традиционные критерии прогноза и поисков. Как было указано выше, основу этой системы составляют астенотинзные диапиры, а их вещественно-энергетические производные определяют размещение рудных районов, металлогенический облик которых обусловлен геохимической специализацией и геодинамическими особенностями среды взаимодействия термофлюидных потоков с литоконплексами коры. Их конечные ветви могут либо реализовать свой рудный потенциал в форме рудных полей и месторождений, либо завершится рассеянием с образованием проявлений рудной минерализации. Те и другие варианты развития ГРЭМ-систем наглядно проявлены на изученной территории. В первую очередь это:

корневые структуры астенотинзных диапиров (мантийный уровень ГРЭМ-системы, рис. 1, 4);

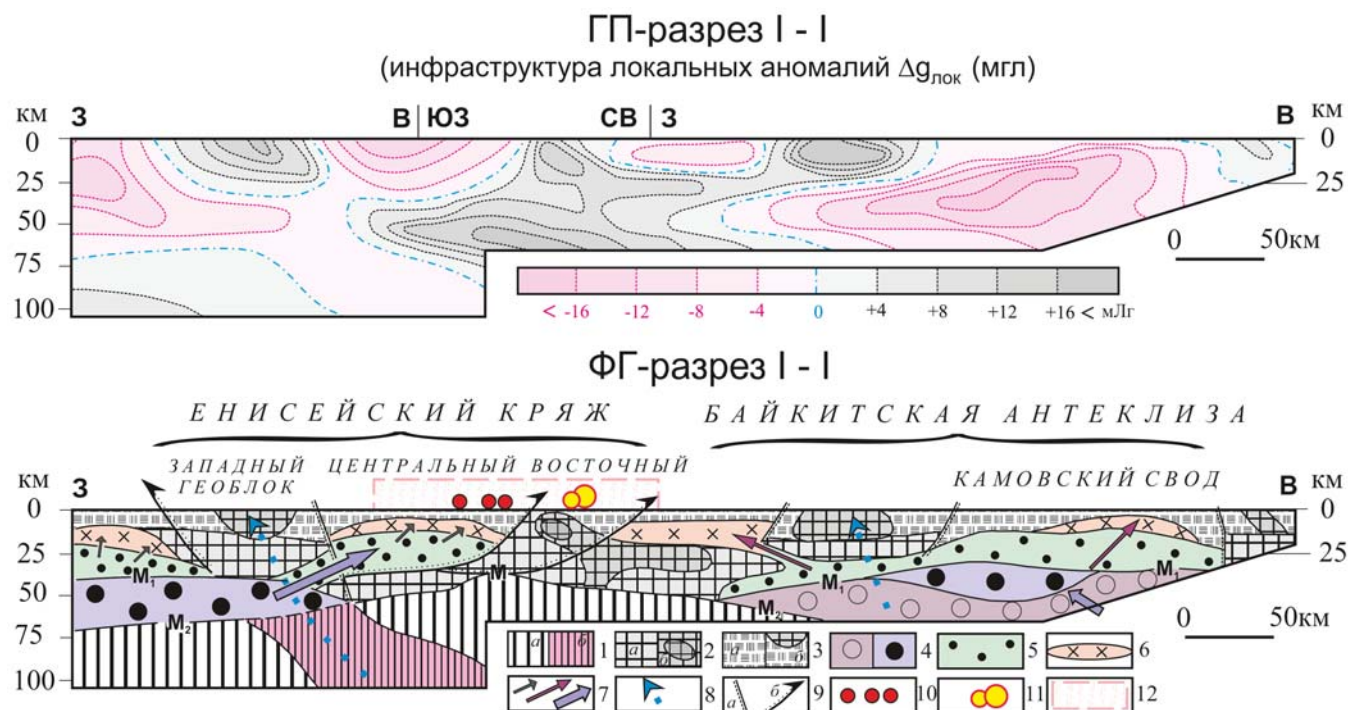


Рис. 4. Глубинно-плотностной (ГП) и физико-геологического (ФГ) разрезы по опорному профилю I-I: 1–3 — плотностной каркас литосферы: 1 — верхняя мантия стандартной (а), пониженной (б) плотности, 2 — нижняя кора гранулит-гнейсовая (а), гранулит-базитовая (б), 3 — верхняя кора осадочно-метаморфическая (а), с включениями базит-ультрабазитов (б); 4 — 7 — ГРЭМ-система: 4 — астенотинзы в кровле верхней мантии: а — региональный ареал разуплотнения, б — астенотинзный диапир, 5 — «СУБ»-бассейны (абиссальный уровень системы), 6 — магмогенерирующие резервуары (мезоабиссальный уровень системы), 7 — основные направления термофлюидного транзита на разных уровнях; 8 — гипертермальные водородные сквозьлитосферные струи (носители ультраосновных расплавов); 9 — тектонические нарушения: сбросы (а), надвиги (б); 10 — 11 — положение на разрезе рудных объектов: 10 — урановых, 11 — золотых; 12 — контур Северо-Енисейского рудного района

центры ареалов развития «серпентинит-ультрабазитовых» («СУБ») бассейнов (абиссальный уровень ГРЭМ-системы, рис. 2, 4);

центры площадей развития магмогенерирующих резервуаров (мезоабиссальный уровень ГРЭМ-системы, рис. 3, 4);

локальные очаги развития гранитоидных магм и рифтоподобные линейные проницаемые зоны (гипабиссальный уровень ГРЭМ-системы);

направление ветвей термофлюидного транзита на уровне верхней коры (рис. 3, 4);

региональные барьерные зоны, разделяющие ареалы развития смежных ГРЭМ-систем (рис. 3).

Как показал глубинно-плотностной анализ, на территории Енисейского кряжа проявлены производные глубинной термофлюидной системы, берущей начало от диапировой структуры, расположенной за западным контуром представленной карты региона (рис. 1–4). Она установлена авторами ранее анализом масштаба 1:5 000 000 [12]. Наиболее полно эти производные выражены в рамках Северо-Енисейского уран-золоторудного района (рис. 3, 4). Здесь выявлен крупный «СУБ» бассейн под центральной зоной кряжа, вытянутой в северо-западном направлении (рис. 2, 4). Над ним располагается также крупный автохтонный магмогенерирующий резервуар, имеющий овальные очертания (рис. 3, 4). По северо-восточной окраине он опоясан цепочкой локальных очагов гранитоидного состава, а в южном направлении от него берет начало протяженная проницаемая рифтоподобная зона.

Южнее этого района за западной границей кряжа на территории краевой зоны Чулымо-Енисейского прогиба располагается фрагмент района, включающего подобно Северо-Енисейскому, проявленные в нем элементы ГРЭМ-системы, конечные ветви которой выражаются на границе кряжа (рис. 3, 4). Тем не менее здесь также выявлены небольшие рудные объекты урана, золота и полиметаллов (рис. 3).

На территории Байkitской антеклизы проявлены практически все элементы автономной ГРЭМ-системы, начиная от мантийного корневого источника вещества и энергии до конечных ветвей термофлюидного транзита и их вырождения в приповерхностных горизонтах коры у северо-восточной границы Енисейского кряжа (рис. 1–4). При этом четко выражена полная согласованность глубинных вещественно-энергетических и поверхностных структурно-тектонических планов. Так, Тунгусский астеносферный диапир располагается под площадным раздувом Байkitской антеклизы и венчается внутренним нефтегазоносным Камовским сводовым поднятием (рис. 1–4). Его юго-западный фронтальный контур четко контролируется плотностным барьером между Енисейской и Тунгусской автономными ГРЭМ-системами (рис. 1–4). Воздымание Камовского свода подчеркивается взламыванием базифицированного каркаса коры, его дроблением на отдельные плиты, которые почти замкнутым кольцом опоясывают центральное поднятие. Все вместе взятое однозначно подчеркивает молодой (судя по мощному трапповому магматизму — триас-юрский) возраст байkitской ГРЭМ-системы.

Сложнее обстоит дело с определением вещественных трансформаций термофлюидных потоков. На абиссальном уровне вполне естественно они представлены общим для всех случаев «серпентинит-ультрабазитовым» составом, о чем свидетельствуют проявления базит-ультрабазитовых образований в верхней коре [6]. На мезоабиссальном уровне можно предположить генерацию диорит-лампроитовых магм. На гипабиссальном уровне производными таких магм могут являться гидротермально-метасоматические растворы, специализированные на халькофильную группу рудных элементов. Возможно, этим объясняется широкое развитие различных форм медной минерализации, наложенной на приповерхностные выходы кембрийских отложений платформы. Очевидно, не случайно эта минерализация достигает в районе южного магмогенерирующего резервуара максимальных концентраций (см. геологическую карту региона). Аналогичная обстановка проявлена северо-западнее этого резервуара также вблизи границы Енисейского кряжа и в той же зоне повышенной проницаемости, но, вероятно, этот район слабо изучен и информация о его рудоносности отсутствует.

На северо-западном продолжении Байkitской антеклизы в основании ее северного склона расположен обособленный «СУБ» бассейн, связанный с астеносферным диапиром за северной кромкой схемы. Он образует две ветви термофлюидного транзита, которые заканчиваются магмогенерирующими резервуарами (рис. 2, 3), приуроченными в плане к линейным рифтоподобным зонам. Южный резервуар расположен ближе к границе с Енисейским кряжем и может явиться продолжением меденосного пояса, отмеченного выше, а северный удален как от кряжа, так и от антеклизы. Интерпретация обоих резервуаров встречает те же проблемы, что и в предыдущем случае, но тем не менее район южного резервуара заслуживает внимания, как и медный пояс в целом. К сказанному можно добавить, что в региональном минерагеническом плане Байkitская антеклиза располагается в едином поясе с Норильским медно-никелевым районом и близка к нему по проявленности глубинных факторов рудоконтроля [12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Б.А., Клушин И.Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. — Л.: Гостехиздат, 1962.
2. Верниковский В.А., Казанский А.Ю., Матушкин Н.Ю. и др. Геодинамическая эволюция складчатого обрамления и западная граница Сибирского крата в неопротерозое: геолого-структурные, седиментологические, геохронологические и палеомагнитные данные // Геология и геофизика. — 2009. — Т. 50. — № 5. — С. 502–519.
3. Данковцев Р.Ф. Спектрально-корреляционный анализ гравиметрических данных при локальном прогнозе эндогенных рудных месторождений // Отечественная геология. — 1993. — № 5. — С. 114–120.
4. Данковцев Р.Ф. Опыт разработки энергомагматической системы критериев прогноза урановых месторождений // Отечественная геология. — 1995. — № 11. — С. 8–17.
5. Данковцев Р.Ф. Использование совместного анализа гравиметрических и сейсмических глубинных разрезов при прогнозных исследованиях // Отечественная геология. — 2007. — № 2. — С. 67–72.
6. Добрецов Н.Л. Крупнейшие магматические провинции Азии (250 млн. лет): Сибирские и Эмейшанские траппы (платобазальты) и ассоциирующие гранитоиды // Геология и геофизика. — 2005. — Т. 46. — № 9. — С. 870–890.
7. Константинов М.М., Данковцев Р.Ф., Черкасов С.В. Моделирование глубинных структур рудоносных территорий — перспективное направление металлогенических исследований // Разведка и охрана недр. — 2001. — № 3. — С. 33–36.

8. Летников Ф.А., Дорогокупец П.И. К вопросу о роли суперглубинных флюидных систем земного ядра в эндогенных геологических процессах // Докл. РАН. — 2001. — Т. 378. — № 4. — С. 535–537.
9. Шашорин Б.Н. Глубинные «очаги» разуплотнения в плитном сценарии алтаид / Общие вопросы тектоники. Тектоника России: Матер. XXXIII Тектонического совещания. — М.: ГЕОС, 2000. — С. 593–596.
10. Шашорин Б.Н. Палеогеодинамические факторы эндогенного уранового рудообразования: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — М.: ФГУП «ВИМС», 2004.
11. Шашорин Б.Н. Глубинная тектоника западного и восточного секторов Центральной Азии и закономерности размещения полезных ископаемых (W, Sn, Au, U) / Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: Матер. XXXVIII Тектонического совещания. — М.: ГЕОС, 2005. — Том 2. — С. 351–358.
12. Шашорин Б.Н. О глубинных факторах минерагенического контроля на Сибирской древней платформе // Разведка и охрана недр. — 2008. — № 3. — С. 28–34.

© Данковцев Р.Ф., Шашорин Б.Н., Выдрич Д.Е., 2015

Данковцев Рафаэль Федорович // vims@df.ru
Шашорин Борис Николаевич // shashorin.boris@yandex.ru
Выдрич Денис Евгеньевич // devrich@mail.ru

УДК 553.048 (477.65)

Перков Е.С. (Национальный горный университет,
г. Днепропетровск, Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ РАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ ПРИ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ НА ЭКЗО- ГЕННЫЕ РУДЫ ХРОМА СРЕДНЕГО ПОБУЖЬЯ

*Выполнен расчет статистических параметров запасов экзогенных руд хрома из никеленосных кор выветривания Среднего Побужья Украинского щита. Впервые для месторождений экзогенных хромитовых руд Украины обоснована плотность разведочной сети и показаны изменения количественных характеристик запасов руд с учетом неоднородности морфологии рудных залежей, изменчивости их содержаний и мощности. **Ключевые слова:** экзогенные хромитовые руды, коры выветривания, запасы руд, статистический анализ, плотность сети.*

Perkov E.S. (National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine)
THE STUDY OF THE DENSITY NETWORK BY PROSPECTING AND EXPLORATION WORK ON THE EXOGENOUS CHROME ORE IN MIDDLE BUG AREA

*The statistical parameters of exogenous reserves of chrome ore from nickel-bearing weathering crust of the Middle Bug area of Ukrainian shield have been calculated. Density of exploration network is substantiated and the quantitative characteristics of ore reserves is showed for the first time for exogenous deposits of chrome ore in Ukraine that accounts the heterogeneity of morphology of ore deposits and the variability of their contents and thickness. **Key words:** exogenous chrome ore, weathering crusts, ore reserve, mineral statistical analysis, exploration network.*

Мировой спрос на феррохромные сплавы на фоне дефицита качественных хромитовых руд привел к пересмотру требований к качеству сырья и хромитовых концентратов в сторону снижения содержания Cr_2O_3 . Это способствовало разработке новых технологических решений получения углеродистых феррохромов из низ-

кокачественных хромитовых руд с содержанием Cr_2O_3 не более 32 %. С 2000-х годов на ряде украинских предприятий были разработаны технологии производства низкоуглеродистого феррохрома из ранее некондиционных хромитовых руд месторождений Капитановское и Липовеньки (Среднее Побужье), среднее содержание Cr_2O_3 на которых составляет 29 % [7]. В результате промышленных испытаний была доказана пригодность Побужских руд для получения низкоуглеродистых феррохромов и термостойких сплавов [2].

В пределах никеленосных кор выветривания гипербазитовой формации Побужского района промышленные скопления хромшпинелидов совместно с силикатно-никелевыми залежами образуют единую рудоносную толщу мощностью от 1 до 23 м [9]. Однако легкодоступные залежи хромитовых руд в корях выветривания практически не изучены. К настоящему времени в украинской практике геологоразведочных работ не существует нормативных рекомендаций по плотности поисково-разведочной сети на экзогенное хромитовое оруденение. Применявшиеся ранее поисково-разведочные методики на силикатный никель с использованием комплекса геолого-геофизических исследований не позволяют однозначно определить морфологию, изменение качественных показателей и в целом условия залегания и распространения хромитовых руд. Поэтому цель данной работы — на примере Восточно- и Западно-Липовеньковского месторождений обосновать оптимальный вариант плотности поисково-разведочной сети для изучения экзогенного хромитового оруденения из кор выветривания ультрабазитов Среднего Побужья Украинского щита.

Методика исследований. Обоснование оптимальной плотности разведочной сети хромитовых руд в корях выветривания выполнено на основе расчетов статистических параметров содержания хрома, мощности и количества запасов по аналитическому методу и по методу разрежения сети [4, 5]. Размер разведочной ячейки определен расчетным путем методом стационарной случайной функции и способом графиков вариограмм [1]. Эталонным объектом при расчетах оптимальной плотности разведочной сети являлось Западно-Липовеньковское месторождение, на котором попутно с силикатно-никелевыми рудами отработаны плащеобразные залежи хромитовых руд и которое покрыто скважинами эксплуатационной разведки по сети 10×10 м.

За основу количественных показателей сложности строения рудных тел были приняты статистические величины — коэффициент сложности геологического строения V_g , рудоносности V_0 , коэффициенты вариации по мощности V_m и содержанию V_c хрома (Cr_2O_3) при различной плотности разведочной сети. Рекомендуемые ГКЗ Украины (ГКЗУ) допустимые значения V_m и V_c для коренных месторождений хрома 2-й группы составляют 40–100 % [3]. Принятое в расчетах бортовое содержание Cr_2O_3 5 % и минимальная промышленная мощность 0,5 м обусловлены положительными результатами существующей технологии добычи и обогащения хромитовых руд из никеленосных кор выветривания Западно-Липовеньковского и Школьного месторождений [8].