

6. Валяшко, М.Г. Геохимия брома в процессах галогенеза и использование содержаний брома в качестве генетического и поискового критерия / М.Г. Валяшко // Геохимия. — 1956. — № 6. — С. 34–41.

7. Иванов, В.В. Экологическая геохимия элементов / В.В. Иванов. — М.: Недра, 1994. — Кн. 2. — С. 263–299 (фтор, хлор); 1996. — Кн. 3. — С. 295–324 (бром, йод).

8. Курилов, П.И. Методы изучения состава железомарганцевых рудных образований и вмещающих осадков в судовых аналитических лабораториях / П.И. Курилов // Минералого-геохимические методы изучения железомарганцевых руд Мирового океана. Тр. совещания «Совершенствование минералого-геохимических методов изучения и подготовки к освоению железомарганцевых руд Мирового океана 20–21 марта 2007 года». — М.: РИС ВИМС, 2009. — Раздел 3.2. — С. 114–117.

9. Медведевских, М.Ю. Высоточные методики анализа и стандартные образцы в области влаготметрии твердых веществ: Дис. ... канд. техн. наук / М.Ю. Медведевских. — М.: ГИРЕДМЕТ, 2014. — 142 с.

10. Судов, Б.А. Иод и бром — геохимические индикаторы глубоко-залегающих рудных месторождений / Б.А. Судов, Н.Н. Трофимов, А.И. Рычков и др. — М.: Недра, 1994.

11. Шатков, Г.А. Фтор и хлор в базальтах как возможные индикаторы металлогенической зональности / Г.А. Шатков // Сов. геология. — 1975. — № 6. — С. 121–127.

12. Bebesheko, G.I. Determination of Fluorine in Inorganic Substances (Overview) / G.I. Bebesheko, Yu.A. Karpov // Inorganic materials. — 2012. — Vol. 48. — N15. — PP. 1335–1340.

13. Bebesheko, G.I. Current Methods of Determination of Chlorine in Inorganic Substances (Overview) / G.I. Bebesheko, Yu.A. Karpov // Inorganic materials. — 2012. — Vol. 48. — N15. — PP. 1341–1350.

14. Steven, A. Use of iodine surface geochemical surveys in the Lodgepole and Minnelusa Plays, U.S. Northern Rockies / A. Steven, Tedesco, Bretz Sherri // Oil and Gas. — 1995. — June 5. — P. 33–35.

© Бебешко Г.И., Голева Р.В., 2019

Бебешко Галина Ивановна // 109382@mail.ru
Голева Рита Владимировна

ГЕОФИЗИКА

УДК 551.7+553.04 (571.6)

Шашорин Б.Н., Макаров А.И., Матвеева Е.В.,
Выдрич Д.Е. (ФГБУ «ВИМС»)

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ 3D МОДЕЛЬ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СКАРНОВОГО ШЕЕЛИТ-СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОК-2 (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

На основе спектрально-корреляционного анализа гравиметрических и магнитных данных с использованием компьютерной технологии КОСКАД-3D, а также анализа и обобщения литературных источников составлены геолого-структурная, глубинно-плотностная и магнитометрическая 3D модели геологического объема недр, в пределах которого развивалась и реализовывалась МЗ (меловая) рудно-магматическая система (РМС) скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2. Выделенные и охарактеризованные на моделях геолого-геофизические показатели рудоносного объема недр и РМС рекомендуется использовать в Центральном и Северном Сихотэ-Алине при прогнозировании вольфрамоносных обстановок ранга «рудный узел-поле». **Ключевые слова:** турбидитно-флишевые и олистостромовые толщи и структуры их смятия, МЗ гранитные интрузивные массивы, участки разуплотненных масс с высокими и аномально высокими значениями магнитных свойств.

Shashorin B.N., Makarov A.I., Matveeva E.V., Vydrich D.E. (VIMS)
GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL 3D MODEL OF ORE-MAGMATIC SYSTEMS OF SKARN SCHEELITE-SULFIDE DEPOSIT VOSTOK-2 (CENTRAL SIKHOTE-ALIN, PRIMORSKY KRAY)

On the basis of spectral-correlation analysis of gravimetric and magnetic data using computer technology KOSKAD-3D, as well as analysis and generalization of literature sources,

geological-structural, deep-density and magnetometric 3D models of geological volume of subsoil were compiled, within which the MZ (Cretaceous) ore-magmatic system (RMS) of the skarn scheelite-sulfide Deposit Vostok-2 was developed and implemented. The geological and geophysical indicators of the ore-bearing volume of subsoil and RMS, identified and characterized on the models, are recommended to be used in the Central and Northern Sikhote-Alin in predicting tungsten-bearing conditions of the ore node-field rank. **Keywords:** turbidite-flysch and olistostrome thickness and the structure of their collapse, MZ granite intrusive massifs, areas of decompressed masses with high and abnormally high values of magnetic properties.

В центральной части Сихотэ-Алинской мезозойской аккреционно-складчатой области (СААСО) (рис. 1) — крупного сегмента Российского Дальневосточного сектора, входящего в структуру Тихоокеанского глобального металлогенического пояса — известны месторождения вольфрама скарнового геолого-промышленного типа (ГПТ) с очень богатой шеелитовой минерализацией. Прежде всего, это месторождения Восток-2 и Лермонтовское (рис. 1) с содержаниями полезного компонента от 0,9 до 9,7 % WO₃ [1, 5, 6]. Однако эти объекты уже в значительной степени отработаны. Перспективы наращивания МСБ вольфрама СААСО имеются как в Центральном (Приморский край), так и в Северном Сихотэ-Алине (Хабаровский край) за счет выявления новых крупных объектов данного ГПТ [1, 3, 9]. При этом традиционно региональное и локальное прогнозирование опирается на знание типовых (эталонных) месторождений: геологических обстановок их размещения, связи с определенным петрохимическим типом магматических пород, условий и форм проявления постмагматических процессов, приводящих к образованию вольфрамового и сопутствующего оруденения и т.д. [1, 3], а также геолого-геофизических характеристик объема недр, в пределах

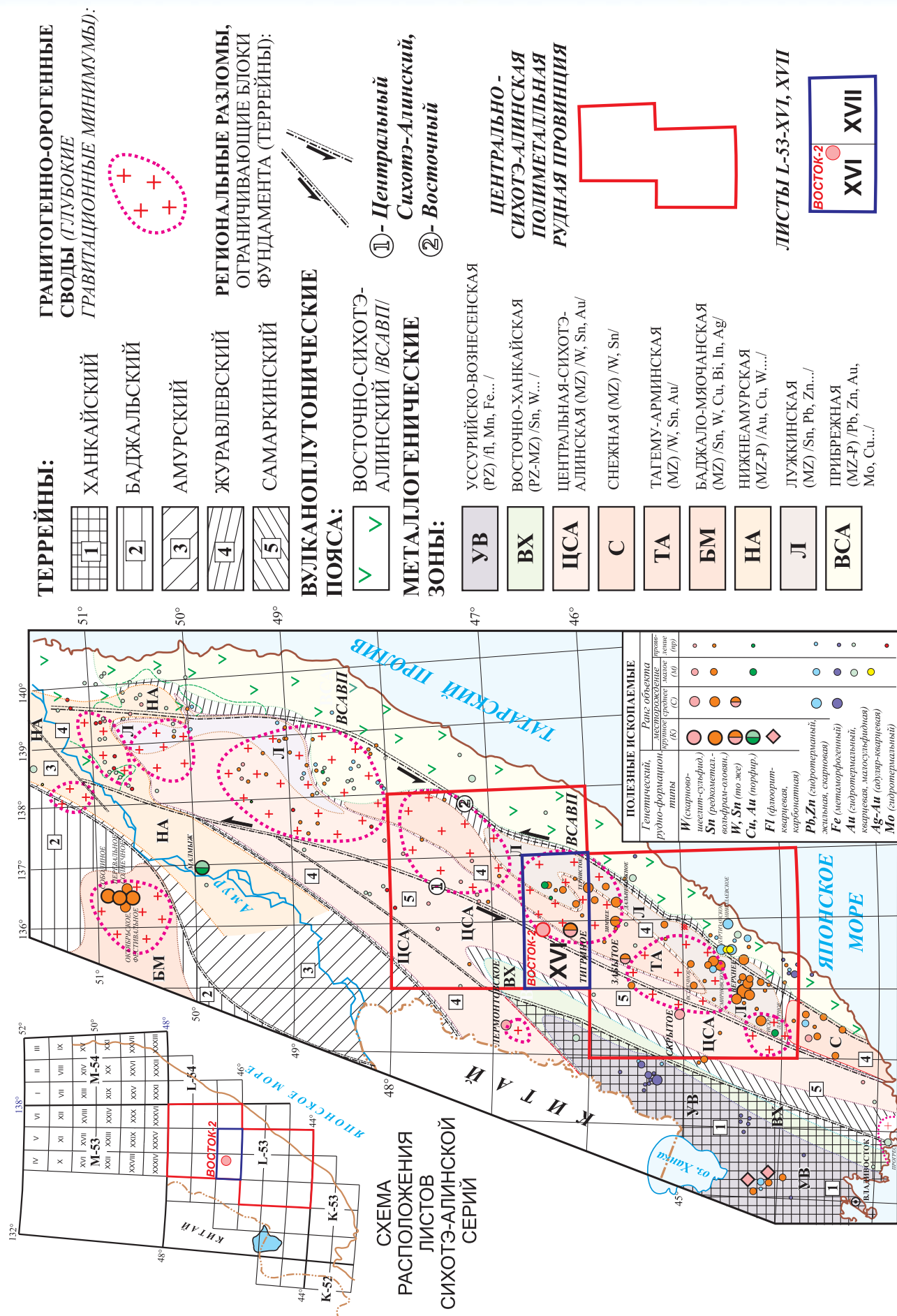
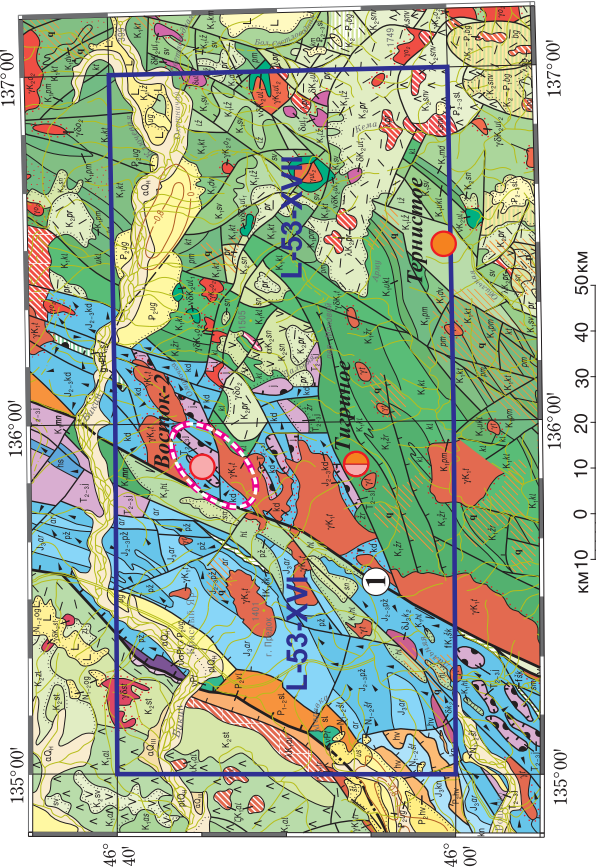


Рис. 1. Сихотэ-Алинская мезозойская аккреционно-складчатая область (СААСО) (по материалам [1–3, 5–9]).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ЛИСТОВ L-53-XVI, XVII (по материалам [3])

3D МОДЕЛЬ РУДНОГО УЗЛА СКАРНОВОГО ШЕЕЛИТ-СУЛЬФИДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОК-2



РУДОВМЕЩАЮЩИЕ ТОЛЩИ:

Джаурская свита, кремнистая толща (T2-3): кремнистые и кремнисто-глинистые породы, редко алевролиты, аргиллиты, базальты известковые брекчии;

Кададинская толща (J2-3 kd): песчаники, алевролиты, линзы брекчий;

Олистоплаки: пластины твердых пород в подводно-оползневых или обвалных отложениях;

Олистостромовые комплексы (осадочный меланж): хаотичное скопление разнородного материала (глыбы пород, глина), образующееся при подводном оползне или обвале осадков во фронте продвигающегося тектонического покрова. Элемент аккреционных комплексов.

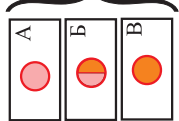
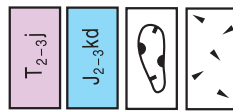
РУДОГЕНЕРИРУЮЩИЕ ИНТРУЗИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ:

Татинский гранодиорит-гранитовый (γK1t): граниты, гранодиориты, часто гранат- и кордиеритсодержащие + Хунгарийский гранитовый (γK1h): граниты кордиеритсодержащие;

ПРЕДУРУДНЫЕ И РУДНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ:

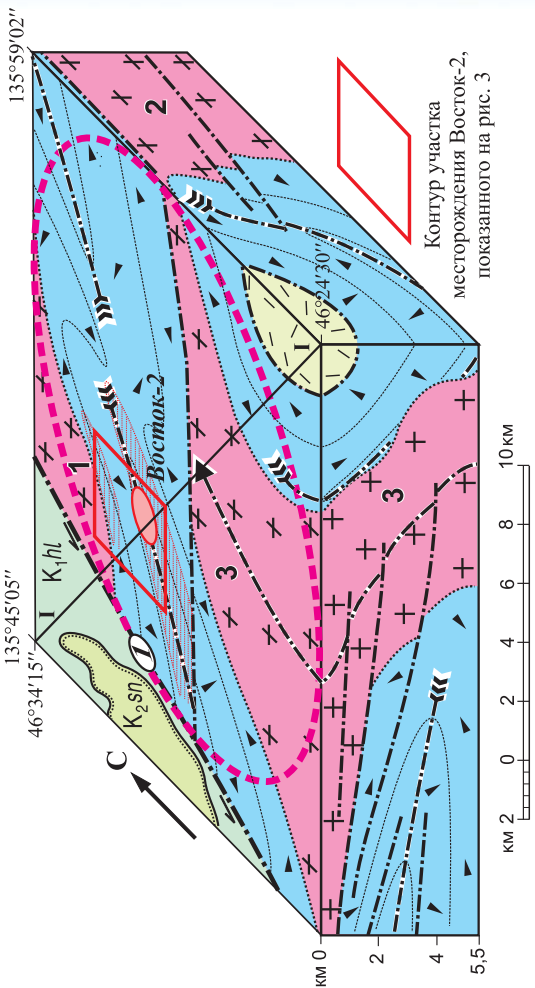
Ороговивание, контактовые роговики;

Рудный узел месторождения Восток-2

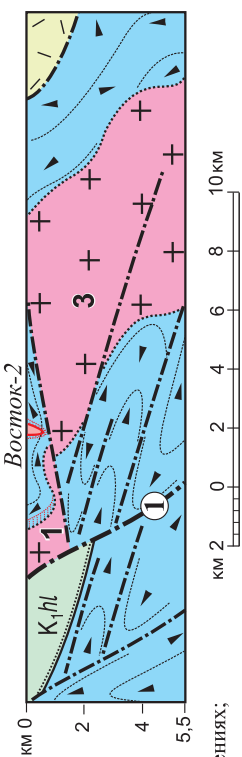


Вольфрамовые и олово-вольфрамовые месторождения (и минерализация):

A — скарновое шеелит-сульфидное (Восток-2),
Б — грейзеновые и касситеритсодержащие кварцевые жилы (Тигрист),
В — гидротермальные кварц-касситерит сульфидные жилы, метасоматические тела (Термистое).



РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ I-I Восток-2



РУДОВМЕЩАЮЩИЕ И РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИЕ СТРУКТУРЫ И КОМПЛЕКСЫ:

Олистоплаки, олистостромовые комплексы.

Интрузивные массивы МЗ (меловых) гранитоидов:
1-Бисерный, 2-Каляинский, 3-Дальнинский
Складчатые зоны и их оси (шарниры)

Разломы (1-Центрально-Сихотэ-Алинский)

Месторождение Восток-2: скарны с вкрапленностью сульфидов и шеелита (пшриховка), массивные сульфидные руды с шеелитом (красный овал)

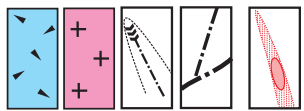


Рис. 2. Геологическая карта листов L-53-XVI, XVII (по материалам [3]) и 3D модель рудного узла скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2

которого локализуются месторождения вольфрама указанного геолого-промышленного типа [9].

В настоящей статье на основе спектрально-корреляционного анализа гравиметрических и магнитных данных с использованием компьютерной технологии КОСКАД-3D [4], а также анализа и обобщения литературных источников [1, 5, 6] составлены геолого-структурная, глубинно-плотностная и магнитометрическая 3D модели геологического объема недр, в пределах которого развивалась и реализовывалась МЗ (меловая) рудно-магматическая система (РМС) скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2. Модели выполнены в виде прямоугольных параллелепипедов, имитирующих геологический объем недр рудного узла (РУ) скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2 (рис. 2, 4 Б, Г). На них цветом и знаком подчеркнуты (выделены): а) контур РУ и локализованные в объеме его недр скарновые шеелит-сульфидные рудные зоны; б) триас-юрские и нижнемеловые турбидитно-флишевые и олистостромовые толщи и структуры их сматия, контролирующие позицию РУ и скарновых шеелит-сульфидных рудных зон; г) МЗ (меловые) интрузивные гранитные массивы и соответствующие им глубинные рудопроизводящие магматические очаги и их центры с относительно низкими (на фоне рудовмещающих толщ) значениями плотностей ($2,59 - 2,60 \text{ г/см}^3$); д) зоны сульфидизации и метасоматически измененных пород в областях контактового влияния МЗ (меловых) интрузивных массивов гранитоидов, которые (зоны сульфидизации) фиксируются высокими и аномально высокими значениями магнитных свойств. Выделенные и охарактеризованные на моделях геолого-геофизические показатели рудоносного объема недр и РМС имеют прогностический характер, их рекомендуется использовать в Центральном и Северном Сихотэ-Алине при прогнозировании вольфрамоносных обстановок ранга «рудный узел-поле».

Геолого-структурная 3D модель включает в себя сведения о геологическом строении месторождения Восток-2 и окружающего его геологического пространства, рудоконтролирующих и рудовмещающих структурах и комплексах пород (терригенных, магматических, метасоматических), рудно-минеральных образованиях и их пространственно-временной позиции. Обобщенный анализ собранных геологических данных свидетельствует о следующем.

1. Скарново-шеелит-сульфидное месторождение Восток-2 и соответствующий ему рудный узел (РУ) расположены в зоне Центрально-Сихотэ-Алинского глубинного разлома, в центральной части СААСО (Приморский край) (рис. 1). По мнению ряда исследователей [2, 7, 8] металлогения СААСО развивалась синхронно с гранитоидным магматизмом непрерывно от альба ($K_1 \text{ al}$) до палеоцена. В альбе ($K_1 \text{ al}$) — раннем сеномане ($K_2 \text{ sm}$) была сформирована протяженная (более 1500 км) мегазона гранитоидных плутонов, осевая часть которой в современном геолого-геофизическом плане ограничена региональными разломами: с востока — Восточным, с запада — Центральным Сихотэ-Алин-

ским (рис. 1). Данная региональная полоса гранитоидных плутонов трассируется пониженными значениями поля силы тяжести и глубокими гравитационными минимумами (рис. 1). Это одна из основных рудно-магматических и структурно-металлогенических мегазон Сихотэ-Алиня, которая протягивается из Приморского в Хабаровский край (рис. 1). В ее пределах локализовано подавляющее число вольфрамовых и оловорудных объектов Центрального и Южного Сихотэ-Алиня, в т.ч. рудный узел месторождения Восток-2 (рис. 1).

2. Породы РУ, вмещающие месторождение Восток-2, представлены чередованием юрских турбидитов и меланжевых — олистостромовых толщ мощностью первые тысячи метров, содержащих генетически разнородные и разновозрастные включения преимущественно палеоокеанических пород девонских офиолитов, верхнепалеозойских и триасовых кремней, известняков и базальтов (рис. 2). Для верхних структурных горизонтов толщи характерен флиш при почти полном отсутствии олистостром [1, 2]. На месторождении осадочные породы представлены преимущественно песчаниками, кремнистыми сланцами, алевролитами и известняками (рис. 3).

3. Магматические породы рудного узла, в контурах которого расположено месторождение Восток-2, представлены мезозойскими (альб-сеноман) гранитоидами, слагающими Дальнинский, Каялинский, Бисерный интрузивные массивы (рис. 2). Гранитоидные массивы сопровождают штоки (Центральный и др.) и дайки мелового возраста (рис. 3). Магматические породы образуют непрерывную петрохимическую серию гипабиссальных интрузивных тел, в составе которых выделяется три разновозрастные фазы: 1) амфибол-биотитовые гранодиориты, монцодиориты и адамеллиты ($128 \pm 16 \text{ млн лет}$); 2) амфибол-биотитовые и биотитовые граниты ($111 \pm 9 \text{ млн лет}$); 3) биотитовые лейкократовые граниты ($98 \pm 15 \text{ млн лет}$). Гранитоиды соответствуют I-типу ильменитовой серии или промежуточному I-S-типу калий-натриевого и калиевого ряда [1, 2, 8].

4. Метасоматические (постмагматические) образования и руды РУ представлены скарнами, полевошпатовыми метасоматитами, грейзенами с сопутствующей им шеелитовой и сульфидной минерализацией.

Скарны и околоскарновые породы формировались в несколько периодов (стадий): ранний, средний и поздний. Они различаются по минеральному составу и имеют разную рудную специализацию [1].

В *ранний период* образовались минеральные ассоциации безрудных (менее 0,01 % WO_3) скарнов. На месторождении Восток-2 (рис. 3) они сложены преимущественно гранатом (гроссуляром), волластонитом, везувианом и пироксеном (диопсид — ферросалит). В околоскарновых породах, развивающихся по алюмосиликатным породам (роговикам и гранитоидам), кроме пироксена встречаются амфибол и плагиоклаз. Скарны образуют как моно- и полиминеральные прожилки и зоны (до первых метров) в мраморах (зональность отсутствует), так и тела с зональным строением, возникшие на контакте мраморов с алюмосиликатными породами.

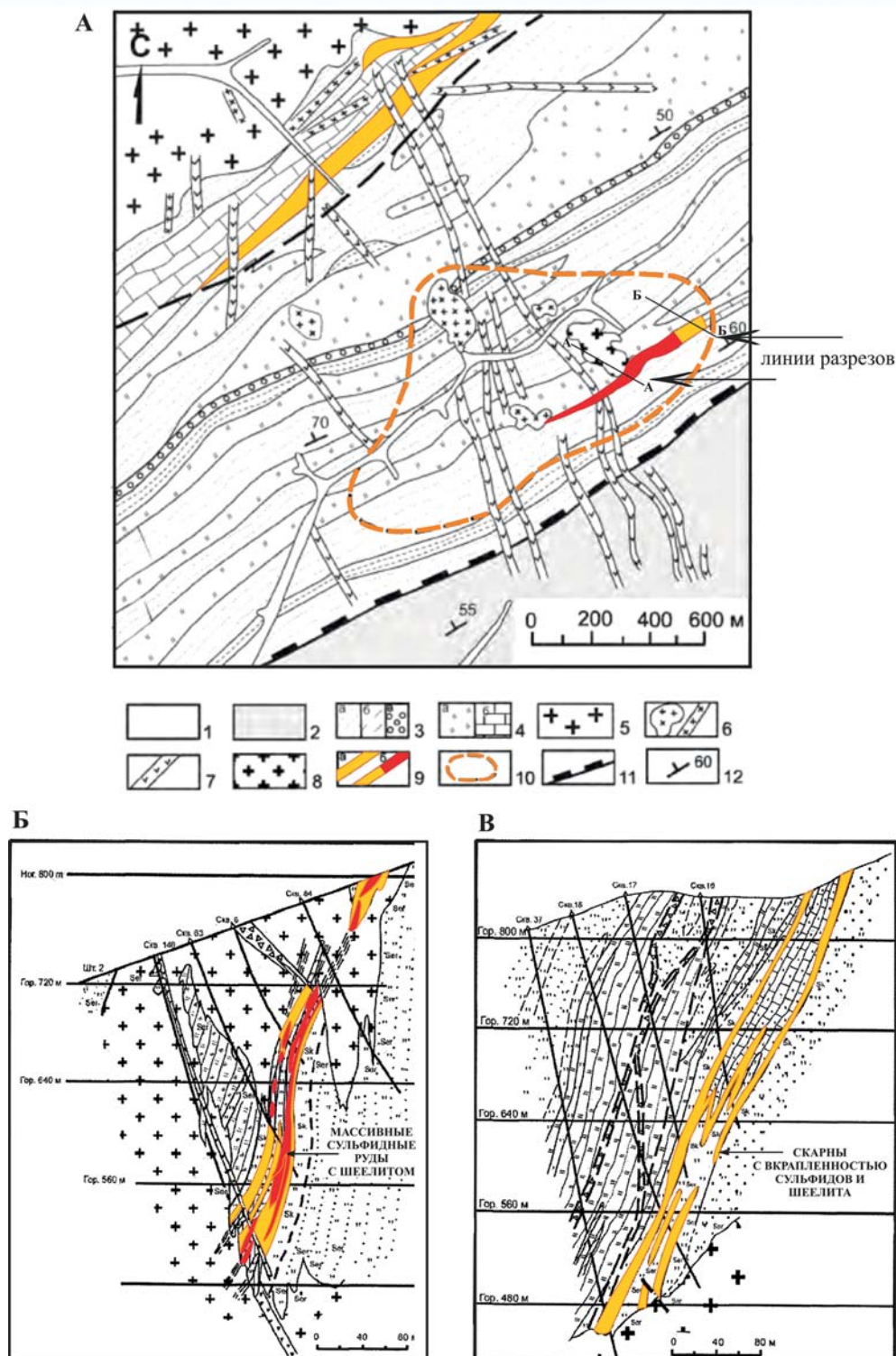


Рис. 3. Схематическая геологическая карта участка месторождения Восток-2 (А) и геологические разрезы через центральную залежь скарново-шеелит-сульфидных руд (Б, В) (по материалам [1, 6]): 1 — четвертичные отложения; 2 — отложения кремнисто-сланцевой толщи с верхнеюрским матриксом; 3–4 — отложения карбонатно-кремнисто-песчановой толщи со средневерхнеюрским матриксом (3а-песчаники, 3б-алевролиты, 3в-конгломераты) и палеокеаническими включениями (4а-среднетриасовые-нижнеюрские ленточные кремни, 4б-известняки карбона и перми); 5–8 — интрузивные породы; *верхнемеловые*: 5 — граниты Бисерского массива, 6 — штоки и дайки гранит-порфиров, пегматитов, аплитов, кварцевых порфиров, 7 — дайки диоритовых и диабазовых порфиров; *нижнемеловые*: 8 — плагиограниты, гранодиориты штока Центральный; 9 — скарны с вкрапленностью сульфидов и шеелита (а) — вкрапленные руды; массивные сульфидные руды с шеелитом (б); 10 — граница распространения контактово-метаморфизованных (роговики, мраморы, кварциты) и гидротермально измененных (кварцево-слюдистые, кварцево-хлоритовые и др.) пород; 11 — граница между верхней и нижней частями аккреционной призмы; 12 — направление и угол падения слоев

По времени формирования «ранние» скарны сближены с образованием роговиков, возникших во вмещающих терригенных породах (алевролиты, сланцы, песчаники) в контакте с массивами и штоками МЗ гранитоидов. Известняки при этом контактово-метаморфизме преобразованы в мраморы [1].

Скарны *среднего периода* пересекают зоны «ранних» скарнов и имеют более простой минеральный состав. На месторождении Восток-2 (рис. 3) в них преобладает пироксен — геденбергит, реже встречается гранат. Строение околоскарновых пород такое же, как и сформировавшихся в ранний период. Особенность этих скарнов — близость по времени формирования к рудному этапу минерализации, на что указывает их повышенная вольфрамоносность (более 0,15 % WO_3) и постоянная вкрапленность сульфидных минералов (пирротин, халькопирит в сумме до 10–15 %; арсенопирит — редок); иногда встречается флюорит [1].

Скарны *позднего периода* мало распространены и наблюдаются среди мраморов, контактирующих с гранитоидами Бисерного массива (рис. 2, 3). Они слагают зоны мощностью до 1 м преимущественно гранат (андрадит до 80 %) — пироксенового (геденбергит до 5 %) состава; карбонат и сульфиды в сумме составляют от 5 до 15 %. Особенность скарнов — сопутствующая полиметаллическая (пирит, сфалерит, халькопирит и галенит) минерализация [1].

Полевцошпатовые метасоматиты занимают в схемах стадийности минералообразования на месторождении Восток-2 промежуточное

положение между формированием «средних» скарнов и грейзенов, что соответствует начальному периоду стадии кислотного выщелачивания по Д.С. Коржинскому (1969). Их особенность — пространственная и временная совмещенность с грейзенами, ассоциирующими с кварц-шеелитовой и сульфидной минерализацией [1]. На месторождении Восток-2 они локализованы в эндоконтакте гранитоидов штока Центральный (рис. 3). Здесь грейзенизированные гранитоиды штока сменяются зоной плагиоклаз-апатитового (до 50 % апатита), далее — шеелит-апатит-плагиоклазового и кварц-шеелитового (богатые руды до 40 % шеелита) состава. Полевошпатовые метасоматиты иногда рассекаются зонами (контакт тектонический) биотитовых грейзенов с гнездами сплошных сульфидных руд (рис. 3).

Грейзены широко распространены на участке месторождения Восток-2 (рис. 3). В них сосредоточено более 30 % запасов вольфрама, а руды характеризуются высокими (часто более 2 %) концентрациями WO_3 . Основными минералами грейзенов являются кварц, слюды, апатит, шеелит и сульфиды; в небольшом количестве присутствуют плагиоклаз, калишпат, хлорит, сфен, турмалин, флюорит, сульфиды и др. По условиям залегания, вещественному составу и рудоносности выделяются две группы грейзенов: 1 — грейзены контактовой зоны магматических пород (распространены по всему участку месторождения); 2 — околожильные грейзены (локальное распространение) [1].

К **первой группе** относятся грейзенизированные породы гранитоидов (штоки и дайки на участке месторождения — рис. 3) и примыкающие к ним биотитовые роговики. Они приурочены к тектоническим структурам (разломы, зоны повышенной трещиноватости). В некоторых пробах подобных грейзенов содержания WO_3 превышают 40 г/т и часто наблюдаются кварцевые прожилки, не содержащие промышленных концентраций шеелита.

Ко **второй группе** (околожильные грейзены) отнесены метасоматические породы вдоль кварцевых жил с шеелитовой минерализацией. По составу слюд в этой группе выделяют [1] три типа грейзенов: 1 — мусковитовый, 2 — биотитовый, 3 — флогопитовый. Грейзены формируются после полевошпатовых метасоматитов, с которыми часто пространственно совмещены [1].

5. Сульфидные руды ассоциируют с разными метасоматическими породами и различаются по геохимической специализации. Среди сульфидных руд выделены минеральные типы: арсенопиритовый, пирротин-халькопиритовый и пирит-сфалерит-галенитовый (полиметаллический). Большинство арсенопиритовых руд пространственно совмещено с фациями мусковитовых и менее — биотитовых грейзенов. Пирротин-халькопиритовые руды характерны для шеелитсодержащих геденбергитовых скарнов «среднего периода», ассоциаций полевошпатовых метасоматитов, биотитовых грейзенов и сопряженных с ними амфиболовых метасоматитов (в случаях наложения на пироксеновые скарны). Полиметаллическая минерализация в рудах месторождения Восток-2 имеет подчиненное распространение и на-

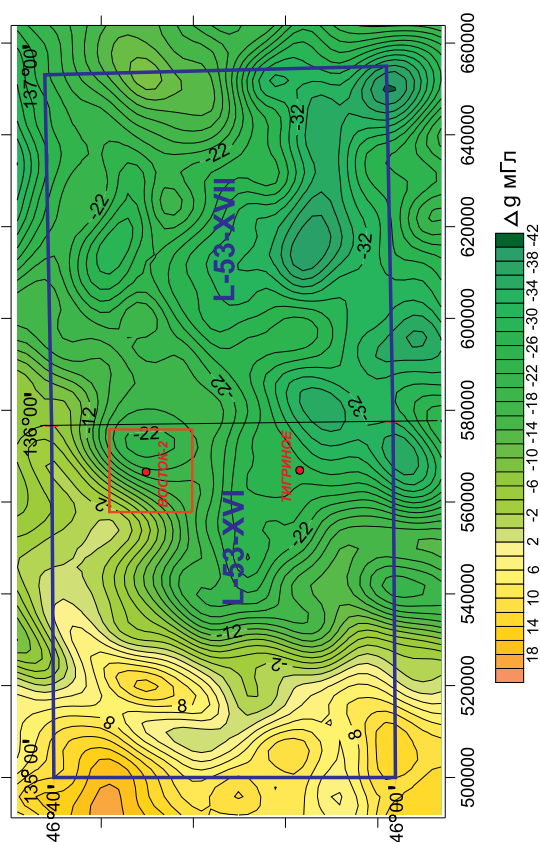
блюдается в кварцево-пирит-сфалерит-галенитовых (с карбонатом) прожилках кварц-альбит-мусковит-хлоритовой фации мусковитовых грейзенов [1].

В большинстве случаев для скарнов и околоскарновых пород (практически без вкрапленности сульфидных минералов) характерны повышенные концентрации Cu; для полевошпатовых метасоматитов, биотитовых грейзенов и окварцованных пироксеновых скарнов (вкрапленные пирротин-халькопиритовые руды) — Cu, Bi, реже As, Te и Au. Более широкий спектр элементов-примесей установлен для мусковитовых грейзенов, арсенопиритовых, пирротин-халькопиритовых и полиметаллических руд — Cu, Bi, Pb, Ag, As, Sn. Повышенные концентрации перечисленных элементов в породах и рудах обусловлены присутствием в них разных «сопутствующих» минеральных ассоциаций (галенит-сульфовисмутитовой, висмутиновисмутитовой и др.), в состав которых входят халькопирит, сфалерит, станнин, самородные висмут и золото, галенит, серебросодержащие блеклые руды, гессит, сульфотеллуриды висмута, свинцовосурьмяно-висмутитовые сульфосоли и др. [1].

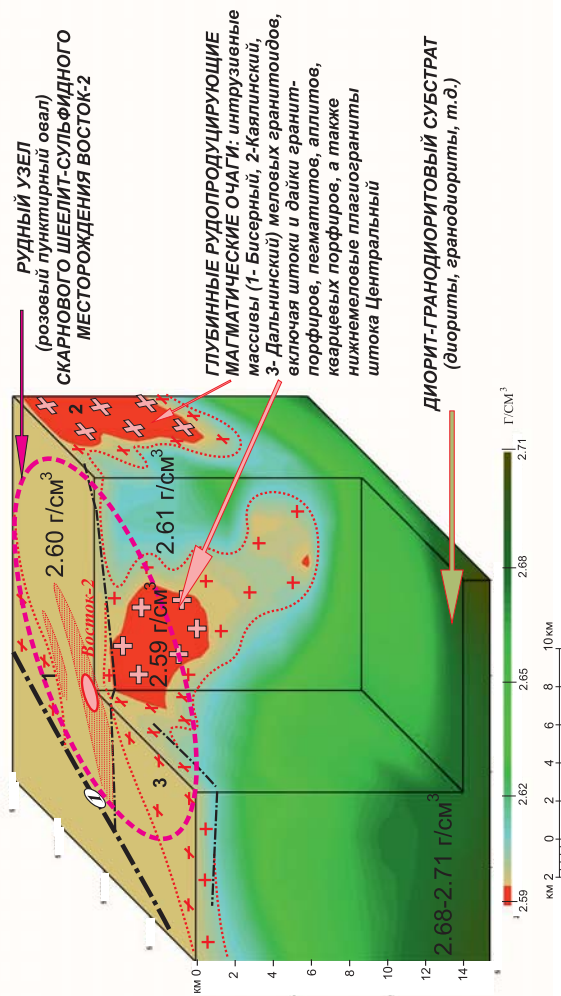
6. Рудные тела скарново-шеелит-сульфидного месторождения Восток-2 и вмещающие их скарны, полевошпатовые метасоматиты, грейзены вытягиваются в северо-восточном направлении согласно с мощной структурой смятия юрских турбидитно-флишевых и олистостромовых толщ, «зажатых» между гранитами в провисе кровли Дальнинского, Каялинского, Бисерного интрузивных массивов (рис. 2). Объем недр, очерченный на рис. 2 красным пунктиром и ограниченный глубинами порядка 4–5 км, воспринимается авторами статьи как рудный узел (РУ) скарново-шеелит-сульфидного месторождения Восток-2, локализованный в приповерхностной части рудно-магматической системы (РМС), исходной причиной возникновения которой явился позднекембрийский орогенез (конец юры-ранний мел) и сопутствующие ему складчатость и гранитоидный магматизм. Основным следствием развития (эволюции) и становления РМС является формирование в приповерхностной части магматической колонны в течение гидротермального цикла рудных залежей месторождения Восток-2 (рис. 2, 3). Геофизическое выражение РМС и вмещающего ее объема недр показано на глубинно-плотностной и магнитометрической 3D моделях (рис. 4 Б, Г).

Глубинно-плотностная и магнитометрическая 3D модели строились путем ввода в базу данных «КОСКАД 3D» гравиметрической и магнитометрической информации с карт Δg и ΔT масштабов 1:200 000 (рис. 4 А, В), далее — ее обработки, визуального просмотра в серии широтных и меридиональных разрезов, анализа и воспроизведения данной информации в виде прямоугольного параллелепипеда, имитирующего объем недр, в пределах которого развивалась и реализовывалась МЗ (меловая) рудно-магматическая система скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2 (рис. 2, 4 Б, Г).

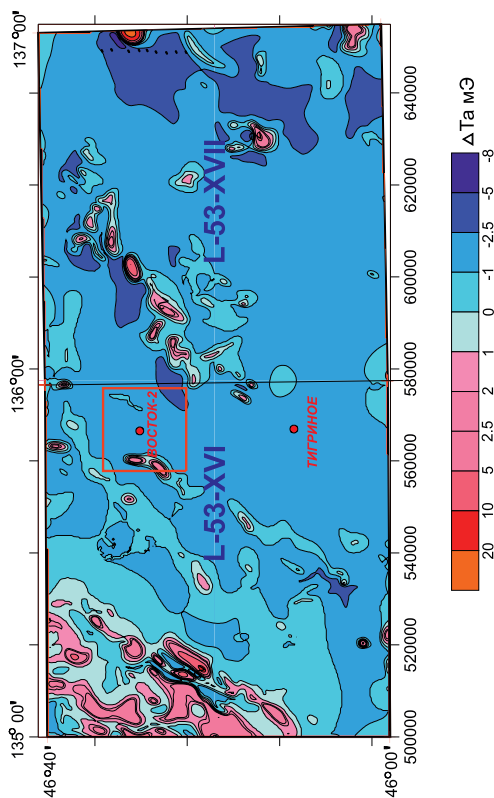
А ГРАВИМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТА ЛИСТОВ L-53-XVI, XVII
(красным квадратом показана площадь построения глубинно-плотностной 3D модели)



Б ГЛУБИННО-ПЛОТНОСТНАЯ 3D МОДЕЛЬ
РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОК-2



В КАРТА ПОЛЯ ΔТ ЛИСТОВ L-53-XVI, XVII
(красным квадратом показана площадь построения магнитометрической 3D модели)



Г МАГНИТОМЕТРИЧЕСКАЯ 3D МОДЕЛЬ
РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОК-2

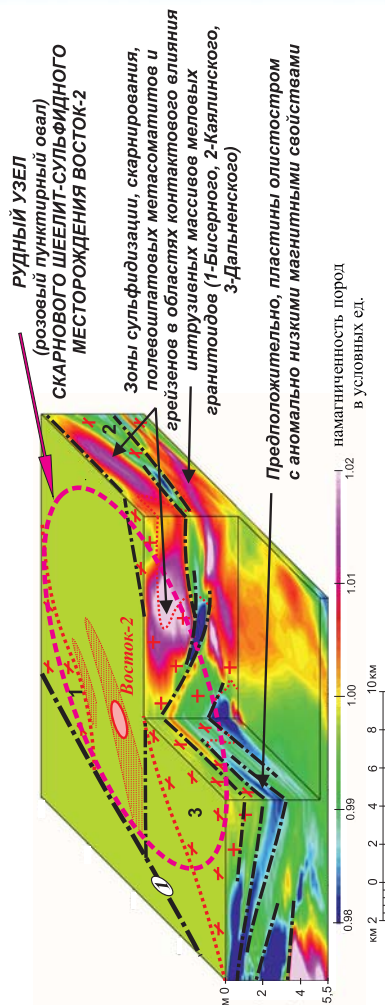


Рис. 4. Гравиметрическая (А) и магнитометрическая (В) карты листов L-53-XVI, XVII (по материалам [3]), глубинно-плотностная (Б) и магнитометрическая (Г) 3D модели рудно-магматической системы месторождения Восток-2

Глубинно-плотностная 3D модель рассчитывалась и воспроизводилась в значениях плотностей (г/см^3) горных пород (рис. 4 Б). Для этого в базу данных «КОСКАД 3D» задавались реальные (для верхней грани модели) и расчетные (для нижней грани модели) значения плотностных характеристик горных пород, слагающих объем недр РУ. Полученное в 3D модели объемное распределение разуплотненных и плотных масс выглядит и интерпретируется следующим образом (рис. 4 Б).

1. Разуплотненные массы со значениями плотностей $2,59\text{--}2,60 \text{ г/см}^3$ занимают в модели положение МЗ интрузивных гранитоидных массивов (Дальнинского, Каялинского, Бисерного), в контурах которых в интервале глубин $\sim 0,5\text{--}5 \text{ км}$ локализованы магматические «очаги» (показаны на рис. 4 Б красным цветом и жирными крестиками). Магматические «очаги» склоняются на глубину навстречу друг-другу в северо-восточном и южном направлениях (рис. 4 Б) и интерпретируются как рудопроизводящие ядра (центры) РМС. Последняя, согласно работе [1], сформировалась в три временных этапа.

В раннемеловой этап на нижнекоровом уровне зародился очаг первичных расплавов, локализованных в зоне Центрально-Сихотэ-Алинского разлома. В этот же этап при высокой тектонической активности региона ($125\text{--}127 \text{ млн лет}$ — этап коллизии по [8]) большая часть первичных расплавов была перемещена на более высокие уровни в верхнюю кору (глубины до $10\text{--}14 \text{ км}$): а) одна часть — в «зону анатексиса», б) другая часть — в «зону кристаллизации» (диориты, монцодиориты и другие Дальненского массива — 125 млн лет).

Следующий этап (импульс) тектонической активизации ($111\text{--}115 \text{ млн лет}$) был менее интенсивным относительно первого; он привел к разгерметизации очага «зоны анатексиса» и перемещению расплавов, обогащенных кремнием, глиноземом, калием, вольфрамом и другими элементами, в низкотемпературную «зону кристаллизации» (глубины до $4\text{--}5,5 \text{ км}$). Остывание этого продуцирующего вольфрамовое орудование очага (на рис. 4 Б показан красным цветом и жирными крестиками) привело к последовательному формированию скарнов, полевошпатовых метасоматитов и грейзенов. Судя по определениям изотопного возраста грейзенов с шеелитовой минерализацией [1], время их формирования совпадает со следующим импульсом ($90\text{--}100 \text{ млн лет}$) тектонической активизации РМС.

Во время *третьего импульса* ($90\text{--}100 \text{ млн лет}$) тектонической активизации РМС разгерметизировались только магматические очаги зоны кристаллизации: а) магматический очаг Дальнинского массива (рис. 2, 4 Б), б) относительно малообъемный «вольфрамоносный» очаг месторождения Восток-2 (Центральный шток на рис. 3). Их последующая эволюция привела к близкосодейственному формированию главной фазы: порфировых гранитов Бисерного массива (рис. 2, 3, 4 Б), а также тел пегматитов с турмалином и грейзенов с шеелитовой минерализацией.

2. Тектоническая зона северо-восточного простирания в провисе кровли Дальнинского, Каялинского

и Бисерного интрузивных массивов (рис. 2, 4 Б), в пределах которой локализуется скарновое шеелит-сульфидное месторождение Восток-2, также представляет собой область пониженных плотностей ($2,60 \text{ г/см}^3$), что, по-видимому, обусловлено мощной структурой смятия юрских турбидитно-флишевых и олистостромовых толщ и их последующей постмагматической проработкой (метасоматоз, рудообразование). Как уже указывалось выше, в поздние этапы тектонической активизации РМС в периоды $111\text{--}115 \text{ млн лет}$ ($K_1 \text{ al}$) и $90\text{--}100 \text{ млн лет}$ ($K_2 \text{ sm} \text{ — } K_2 \text{ t}$) произошла разгерметизация верхнекоровых магматических очагов (Дальнинского, Бисерного, Каялинского), последовательное формирование в полосе смятия турбидитно-флишевых и олистостромовых толщ скарнов, полевошпатовых метасоматитов и грейзенов с сульфидами и шеелитовой минерализацией [1]. Данная рудоносная обстановка ранга «рудный узел-поле» очерчена на 3D моделях розовым пунктирным овалом (рис. 2, 4 Б, Г) и интерпретируется авторами как фронтальная (приповерхностная) часть РМС.

3. Плотные массы ($2,68\text{--}2,71 \text{ г/см}^3$) сосредоточены главным образом в основании рассматриваемого объема недр. Они соответствуют диорит-гранодиоритовому субстрату верхней коры (рис. 4 Б), в пределах которого зарождался очаг первичных расплавов [1]. В этап коллизии ($125\text{--}127 \text{ млн лет}$ по [1, 7, 8]) большая часть первичных расплавов была перемещена в верхнюю кору [1]; в позднемеловое время ($90\text{--}100 \text{ млн лет}$) в провисе кровли Дальнинского, Каялинского, Бисерного интрузивных массивов сформировалась рудоносная тектоно-метасоматическая зона (полоса) протяженностью $\sim 20 \text{ км}$ и шириной $4\text{--}5 \text{ км}$, в пределах которой и локализовано скарновое шеелит-сульфидное месторождение Восток-2 (рис. 2, 4 Б).

Магнитометрическая 3D модель также представляет собой прямоугольный параллелепипед, в пределах которого показано распределение магнитных характеристик горных пород до глубины $\sim 4\text{--}5 \text{ км}$ (приповерхностная часть РМС, рис. 4 Г). Расчет и воспроизведение геофизических свойств геологической среды производился в условных единицах намагниченности пород, их структурно-вещественная интерпретация — с учетом ранее построенных геолого-структурной и глубинно-плотностной 3D моделей (рис. 2, 4 Б).

На магнитометрической 3D модели во фронтальной (приповерхностной) части РМС в областях контактового влияния интрузивных массивов гранитоидов (Дальнинского, Каялинского, Бисерного) отчетливо выделяются зоны с высокими и аномально высокими значениями магнитных свойств (рис. 4 Г). По мнению авторов, они соответствуют участкам скарнирования полевошпатовых метасоматитов и грейзенов с сульфидами и шеелитовой минерализацией. С ними, как правило, ассоциируют рудные образования (W, Sn, сопутствующие металлы), в т.ч. скарново-шеелитовые рудные зоны месторождения Восток-2 (рис. 2, 4 Г).

Параллельно с рудоносными тектоно-метасоматическими зонами с высокими значениями магнитных свойств на магнитометрической 3D модели выделяются

пластины олистостром с аномально низкими магнитными свойствами (рис. 4 Г). Данные пластины олистостром, по-видимому, рудную минерализацию не несут.

Все вышеперечисленные и отраженные на моделях 3D геолого-структурные, глубинно-плотностные и магнитометрические характеристики объема недр, вмещающего в себя рудный узел (РУ) скарнового шеелит-сульфидного месторождения Восток-2, рекомендуется использовать для выделения и оконтуривания на территории СААСО (рис. 1) потенциальных вольфрамоносных обстановок рангов: рудный узел ($n \times 100 \text{ км}^2$) — рудное поле ($n \times 10 \text{ км}^2$) [9, 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гвоздев, В.И. Рудно-магматические системы скарновых шеелит-сульфидных месторождений Востока России / В.И. Гвоздев. — Владивосток: Дальнаука, 2010. — 338 с.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 т. / Под ред. А.И. Ханчук. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — Т. 1/2. — 982 с.
3. ГГК РФ. Масштаб 1:1000000 (третье поколение), лист L-(52), 53; (K-52, 53) — оз. Ханка. Объяснительная записка / Ред. А.Ф. Васкин. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. — 684 с.
4. Петров, А.В. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД 3D / А.В. Петров, С.В. Зиновкин, Д.Ю. Осипенков, Д.Б. Юдин // Геоинформатика. — 2011. — № 4. — С. 7–13.

5. Родионов, С.М. Глубинное строение уникальных рудоносных структур Дальнего Востока / Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых / С.М. Родионов, Ю.Ф. Малышев, М.В. Горошко и др. — М.: ИГЕМ, 2006. — Т. 1. — С. 103–130.
6. Соловьев, С.Г. Скарновое золото-полиметалльно-вольфрамовое месторождение Восток-2 (Центральный Сихотэ-Алинь, Россия) / С.Г. Соловьев, Н.Н. Кривошеков // Геология рудных месторождений. — 2011. — Т. 53. — № 6. — С. 543–568.
7. Уткин, В.П. Сдвиговый геодинамический режим формирования вулканоплутонических поясов Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода / В.П. Уткин // Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований. — Владивосток: Дальнаука, 2008. — С. 321–339.
8. Ханчук, А.И. Геодинамика Востока России в мезо-кайнозой и золотое оруденение / А.И. Ханчук, В.В. Иванов / Геодинамика и металлогения. — Владивосток: Дальнаука, 1999. — С. 7–30.
9. Шашорин, Б.Н. Геологическое строение и ресурсно-сырьевой потенциал металлоносных территорий Северного Сихотэ-Алиня / Б.Н. Шашорин, В.В. Руднев, А.И. Макаров, Д.Е. Выдрич // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 7. — С. 17–27.
10. Шашорин, Б.Н. Геолого-геофизическая модель Малмыжской рудно-магматической системы и возможности ее использования в прогнозировании (Северный Сихотэ-Алинь) / Б.Н. Шашорин, А.И. Макаров, В.В. Руднев, Д.Е. Выдрич // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 2. — С. 8–16.

© Коллектив авторов, 2019

Шашорин Борис Николаевич // shashorin.boris@yadex.ru
Макаров Александр Иванович // vims@vims-geo.ru
Матвеева Елена Вениаминовна // matveeva@vims-geo.ru
Выдрич Денис Евгеньевич // devrich@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.012

Блажнов Я.Н., Егоров Н.Н. (ФГБУ «Гидроспецгеология»)

ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ИЗОЛИРОВАННОСТИ ПЛАСТОВ-КОЛЛЕКТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГЕЛИЕМЕТРИИ

В краткой форме приведены основные принципы использования результатов гелиеметрических исследований для оценки гидродинамической изолированности пластов-коллекторов. По результатам анализа на специализированной гидрогеологической карте показаны участки недр, неперспективные для захоронения, выделенные по наличию высококонтрастных гелиевых аномалий, и участки недр, требующие повышенного внимания при детальном исследовании в связи с наличием участков концентрации гелия выше фонового. **Ключевые слова:** карты приповерхностного поля гелия, оценка гидродинамической изолированности, пласт-коллектор, водно-гелиевая аномалия.

Blazhnov Ya.N., Egorov N.N. (Hydrospeztsgeologiya)
ESTIMATION OF A HYDRODYNAMIC ISOLATION OF
RESERVOIR BEDS USING HELIOMETRY METHOD

The main principles of using results of heliometry researches for estimation of hydrodynamic isolation of reservoir beds are given in short form. Results of the analysis using special hy-

drogeological map indicate areas of the entrails unpromising for disposal. Those areas were defined by the presence of high-contrast helium anomalies. Also there are shown the entrails areas which demand high attention during detail research because of the presence of areas of high helium concentration above background level. **Keywords:** maps of the subsurface helium fields, estimation of hydrodynamic isolation, reservoir bed, water helium anomaly.

Одной из основных задач при создании карт условий захоронения жидких отходов производства является оценка изолированности пласта-коллектора, то есть выявление зон возможного нарушения сплошности слабопроницаемых толщ, разделяющих этажно-залегающие водоносные горизонты.

Среди комплекса методов по изучению и оценки гидродинамической изолированности пластов-коллекторов используется и метод гелиеметрии.

Так, при создании комплекта специальных гидрогеологических карт распространения глубокозалегающих водоносных горизонтов Европейской части Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 специалистами ФГБУ «Гидроспецгеология» были использованы карты приповерхностного гелия (геологический отчет «Оценка современной геодинамической активности Русской платформы на основе гелиеметрических данных», ГЕОТЕХВИМС, 2008 г.).

Теоретические основы применения гелиеметрического метода для решения геологических задач де-