

К методике оценки прогнозных ресурсов рудного золота в углеродистых карбонатно-терригенных отложениях Бодайбинского рудного района

В.Д.КОНКИН, А.И.ИВАНОВ, Е.Е.КОТЕЛЬНИКОВ, В.Е.ВАСЮКОВ, И.О.ЗАХАРОВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов; 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

На основе создания карты золотоносности масштаба 1:200 000 на структурно-формационной основе с использованием литолого-фациальной, метасоматической, геохимической, рудной и экзогенной золотоносности, грави- и магнитометрической информации масштабов 1:200 000–1:50 000 и детальнее, уточнено металлогеническое районирование Бодайбинского золоторудного района. С учетом новых данных о запасах рудного золота и апробированных прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 уточнен алгоритм оценки золотоносности углеродистых карбонатно-терригенных отложений и проведена оценка остаточных (не реализованных в P_2 , P_1 и запасы) прогнозных ресурсов рудного золота категории P_3 для 5 рудных узлов. *Ключевые слова:* Бодайбинский район, структурно-формационное и металлогеническое районирование, ресурсы, рудное золото.

Конкин Виктор Дмитриевич
Иванов Анатолий Иннокентьевич
Котельников Евгений Евгеньевич
Васюков Владислав Евгеньевич
Захаров Игорь Олегович



konkin@tsnigri.ru
a.ivanov@tsnigri.ru
metallogeny@tsnigri.ru
metallogeny@tsnigri.ru
metallogeny@tsnigri.ru

A special case of forecast resources estimation for black shales of Bodaibo ore region

V.D.KONKIN, A.I.IVANOV, E.E.KOTELNIKOV, V.E.VASYUKOV, I.O.ZAHAROV

Metallogenic zoning of Bodaibo ore region was refined based on creation of gold potential forecast map of 1:200 000 scale with formational-structure base map added with facies-lithology, metasomatic, geochemical, ore, placer, gravity and magnetic layers of 1:200 000–1:50 000 scale with additional detailed maps for areas of special interest. New reserves data of gold ore and inferred resources with rank P_1 and P_2 considering the estimation algorithm for black shales gold potential have been refined and the estimation of residual inferred reserves of gold ore of P_2 , P_1 rank have been carried out for 5 ore clusters.

Key words: ore region, formational-structure and metallogenic zoning, resources, gold ore.

Бодайбинский золотоносный рудный район выделен в пределах Байкало-Патомской (Ленской) металлогенической провинции. В геологическом плане он охватывает северо-восточную часть Мамско-Бодайбинского синклиория [1–3, 8, 9], административно расположен в Бодайбинском муниципальном районе Иркутской области. В пределах рудного района действуют маломощная Мамаканская ГЭС, имеется автомобильная трасса Бодайбо–Таксимо (на ж/д БАМ) и грунтовые дороги г. Бодайбо–пос. Кропоткин и г. Бодайбо–пос. Мамакан, также сеть местных дорог на приисковые участки по добыче россыпного золота. Ведется отработка рудного золота на месторождениях Голец Высочайший, Невское, Вернинское, Ожерелье, Ыканское, на фланге

месторождения Сухой Лог (карьер Западный). Подготавливается к освоению месторождение Угахан.

Степень геолого-геофизической и геолого-геохимической изученности площади, в том числе поисковыми работами на рудное золото, неравномерная. На всей площади проведена геологическая съёмка масштаба 1:200 000 первого поколения. Практически вся территория рудного района покрыта геологической съёмкой масштабов 1:25 000–50 000 и геологическим доизучением масштаба 1:50 000. В центральной части рудного района проведены геохимические поиски по вторичным ореолам рассеяния и наземные геофизические работы (электроразведка, гравиразведка) масштаба 1:50 000, на большей части остальной терри-

тории – геохимические поиски по потокам рассеяния и аэрогеофизические исследования (аэромагнитная и аэрогаммаспектрометрическая съемки) масштаба 1:50 000, гравитационная съемка масштаба 1:200 000. На локальных участках проведены геохимические поиски масштаба 1:10 000–1:25 000.

Россыпная золотоносность территории рудного района известна с первой половины XIX в. (всего добыто более 1,5 тыс. т золота), в последней четверти XX века и в XXI веке выявлено 16 коренных месторождений (в том числе сверхкрупное по запасам месторождение Сухой Лог) и серия перспективных рудопоявлений. В соответствии с принятой классификацией золоторудных месторождений выделяются два геолого-промышленных типа: *минерализованные зоны* с жильно-прожилковым и прожилково-вкрапленным *золотосульфидно-кварцевым* оруденением (месторождения Сухой Лог, Голец Высочайший, Вернинское, Невское, Перевальное, Угахан) и с **жильным и жильно-прожилковым золотокварцевым** (месторождения Ожерелье, Ыканское, Копыловское, Кавказ, Догалдынская жила, Большой Чанчик, Черкеское). На ряде месторождений оба этих типа оруденения пространственно совмещены (Вернинское, Невское, Копыловское, Сухой Лог и др.).

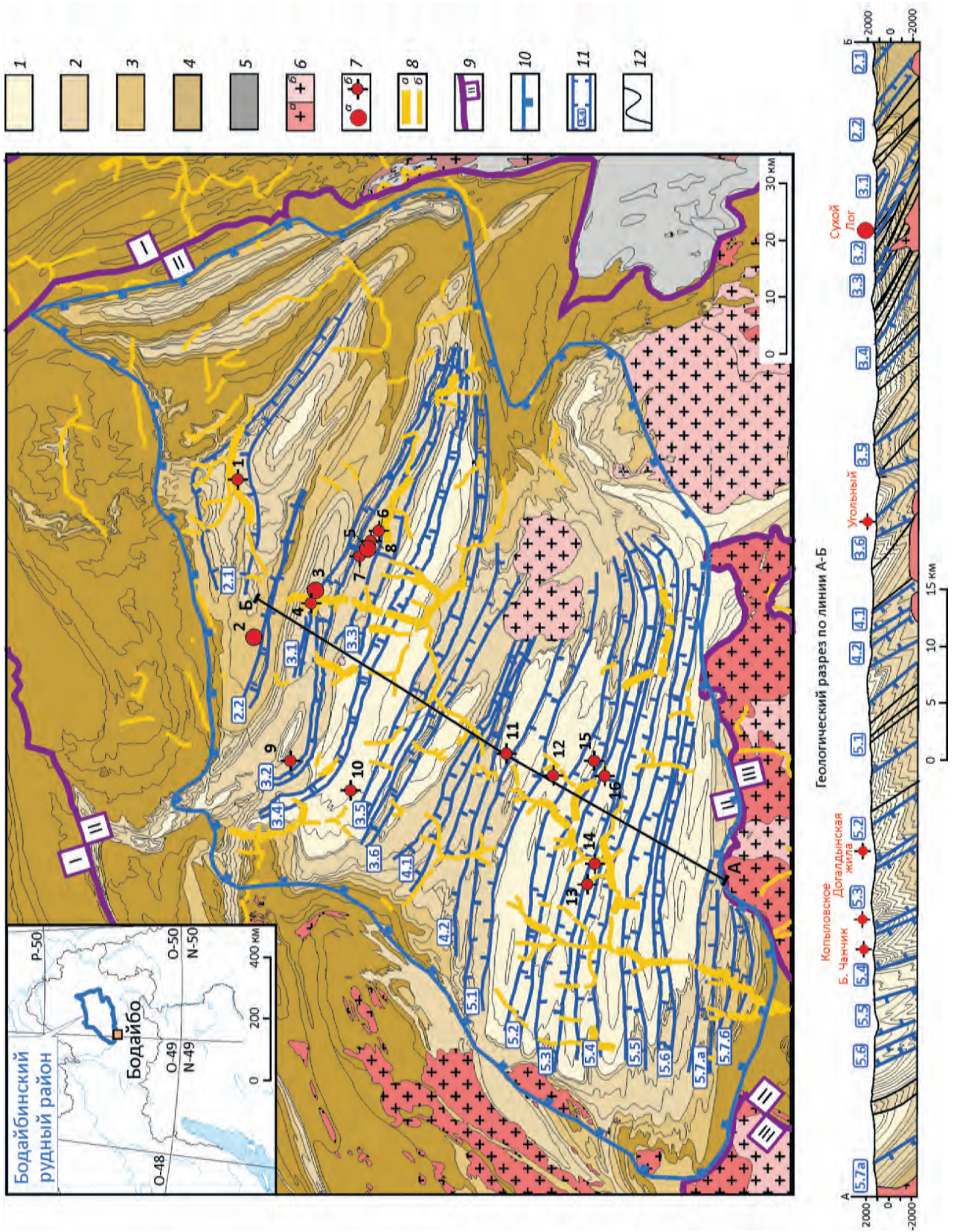
В современном структурном плане (рис. 1) в строении северо-восточной части Мамско-Бодайбинского синклиория [3, 6–8], к которому приурочен рудный район, участвуют сложно построенные мегасинклинальные и мегаантиклинальные складки второго и более высоких порядков, сложенные в различной степени метаморфизованными углеродистыми и углеродсодержащими терригенными, мергелисто-терригенно-карбонатными, сланцево-песчаниковыми и карбонатсодержащими песчано-сланцевыми отложениями флишоидного строения различных стратоуровней (от рифея до венда включительно). Общая мощность этих отложений по данным различных исследователей от 8 до 10 км. Мощность отдельных стратиграфических подразделений определенного состава варьирует от 250 до 850 м (рис. 2). В Мамско-Бодайбинском синклиории в целом интенсивно проявилось гранито-гнейсовое куполообразование, с которым связан региональный высокотемпературный метаморфизм. Собственно Бодайбинский рудный район расположен в наименее метаморфизованной части синклиория, «обрамленной» гранито-гнейсовыми структурами. Гранито-гнейсовые купола деформируют линейные складки и внешние границы рудного района и, в большинстве случаев, контролируются их внешней периферией – изоградой ставролита регионального метаморфизма, за которой интенсивно проявлена синметаморфическая складчатость пластического течения. Лишь на северо-востоке рудного района его граница совпадает с зоной глубинного разлома, отделяющего Мамско-Бодайбинский синклиорий от Чуйско-Нечерского антиклинория [2,

3, 6, 7, 17], имеющего амплитуду вертикальных перемещений более 5 км [6]. В пределах рудного района стратифицированные образования интродуцированы отдельными телами гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса, а также дайками «пестрого» состава среднего–позднего палеозоя [2, 6, 10].

Южная и частично центральная части синклиория в пределах рудного района сложены преимущественно вендскими отложениями карбонатно-терригенной илигирской свиты, алевро-песчаниковыми догалдынской свиты, песчано-алевро-сланцевыми анагрской свиты, черносланцевыми кварцевыми вачской свиты, песчано-алевро-сланцевыми аунакитской свиты верхнего рифея (венда по А.И.Иванову). Центральная и северная часть, а также фланги мегасинклиория сложены преимущественно отложениями среднего–верхнего рифея – карбонатными и мергелистыми толщами бодайбокской, угаханской, имняхской свит и углеродисто-терригенными толщами хомолхинской и бужуихтинской свит.

Мегаантиклинальные и мегасинклинальные складки второго порядка осложнены зонами соскладчатых и постскладчатых субпродольных разрывных нарушений взбросового и надвигового типа, формирующие зоны складчато-разрывных деформаций (ЗСРД – по В.М.Яновскому [13]) третьего порядка шириной от 2 до 7 км. В строении ЗСРД участвуют изоклиналильные и дисгармоничные складки четвертого и более высоких порядков шириной 0,1–1,0 км, осложненные зонами «вязких» разломов (рассланцевания), надвигов, взбросов. Зоны складчато-разрывных деформаций характеризуются проявлением гидротермально-метасоматических процессов – железомagneзиальной карбонатизацией (бурошпатизацией), сульфидизацией (пирит, пирротин и др.), окварцеванием. Эти зоны в том или ином варианте выделялись еще В.А.Обручевым и А.П.Герасимовым (1929), а затем Л.И.Салопом (1967), которые установили отчетливую связь с ними россыпной золотоносности. Значительная часть ЗСРД, представленных на рис. 1, была выделена А.Л.Александровым, В.А.Буряком, В.В.Коткиным и др. в процессе тематических исследований (1974). В результате работ, проведенных ФГУП ЦНИГРИ в 2013–2015 гг., было уточнено расположение и параметры ранее выделенных ЗСРД (см. рис. 1) и дополнительно обоснована их ведущая роль в локализации золоторудных узлов и рудных полей.

А.И.Ивановым [3–7] был отмечен различный стиль складчатых деформаций третьего порядка. Так, в направлении с юга на север фиксируется смена относительно сжатых крутонаклонных изоклиналильных складок Южно-Бодайбинского структурно-формационного блока на более открытые асимметричные складки с широкими корытообразными синклиналями (с размахом крыльев до 7 км), сопряженные с относительно узкими (до 2 км) гребневидными антиклиналями, опрокинутыми к юго-юго-западу. Следует также отметить и



изменение ориентировок осей складок третьего прядка с субширотного на юге до северо-северо-западного в северной части синклинория.

Кратко охарактеризованный региональный структурный план строения Бодайбинского синклинория находит свое отражение в аномалиях гравитационного и магнитного полей, отражающих структурно-формационные особенности его строения и размещение интрузий гранитоидного ряда, в том числе и не вскрытых эрозией (рис. 3).

Металлогеническое районирование площади Бодайбинского рудного района ранее проводилось различными исследователями (В.В.Коткин, А.И.Иванов, Г.Л.Митрофанов и др.) в ряду соподчиненного ранга металлогенических таксонов – рудный район, рудный узел, рудное поле, перспективный участок, часто без отчетливой их увязки с геологическими структурами как геологических эквивалентов перечисленных металлогенических таксонов.

В частности, под термином «Бодайбинский рудный район» геологи ВСЕГЕИ и ВостСибНИИГиМС в структурно-металлогеническом плане рассматривают площадь, соответствующую Южно-Бодайбинской мегасинклинали и Анангро-Аунакитской мегантиклинали второго порядка в южной части Мамско-Бодайбинского синклинория, а его северная часть выделена в качестве самостоятельного Кудули-Хомолхинского рудного района. В пояснительной записке к Госгеолкарте-1000 [2] выделено три золоторудно-россыпных узла – Хомолхинский, Маракано-Тунгусский и Бодайбинский, ранг которых ранее соответствовал площадям рудных районов (см. рис. 1). Это приводило и к различной оценке прогнозных ресурсов рудного золота как Бодайбинского рудного района в целом, так и его рудных узлов и рудных полей.

Отметим, что для достоверности оценки прогнозных ресурсов необходимо соблюдение принципа эк-

вивалентности и соподчиненности металлогенических таксонов геологическим структурам ранжированного ряда [11–16, 18, 19]. С учетом этого принципа в пределах северо-восточной части Мамско-Бодайбинского синклинория выделяются сложно построенные складчатые структуры второго порядка (с юга на север) – Южно-Бодайбинская мегасинклинали, Анангро-Аунакитская мегантиклинали, Маракано-Тунгусская, Хомолхинская и Кулибрянкинская мегасинклинали. Эти структуры по комплексу установленных в них структурно-фациальных, геохимических, метасоматических и рудноформационных элементов-признаков золотоносности, соответствуют *рангу рудных узлов* в пределах Мамско-Бодайбинского синклинория, соответствующего *рангу рудного района* [2, 6–8].



































Золотоносность рудного района, рудных узлов и рудных полей, фиксируется наличием «сквозной системы» сходных *прямых и косвенных* элементов-признаков, определяющих закономерности размещения золоторудной минерализации золото кварцевой и золотосульфидно-кварцевой рудных формаций в углеродсодержащих карбонатно-терригенных отложениях флишоидного строения. *Единая система* соподчиненных по масштабу проявления сквозных элементов-признаков золотоносности в различных сочетаниях выявляется на площадях, соответствующих как рангу рудного узла, так и рудного поля. Связующими элементами-признаками ряда металлогенических таксонов *рудный район–рудный узел–рудное поле* служат:

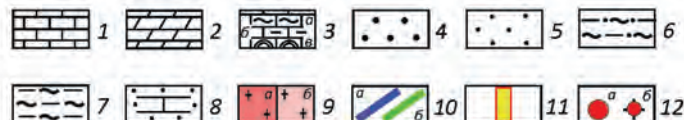
Структурно-формационные – сопряженные *синклинальные и антиклинальные структуры второго порядка*, осложненные складками *третьего и более высоких порядков* с системами зон тектонических нарушений (расслаивания, надвигами и взбросами) и сложенных *карбонатно-терригенными отложениями флишоидного строения различных литолого-стратиграфических уровней*.

Рис. 1. Карта золотоносности на структурно-формационной основе Бодайбинского рудного района и его обрамления:

1–4 – углеродистые и углеродсодержащие карбонатно-алевро-песчаные толщи флишоидного строения: 1 – среднерифейского возраста (бодайбокская, бугарихтинская и хайвергинская свиты), 2 – средне-позднерифейского возраста (бужуйтинская и угаханская свиты), 3 – позднерифейско-вендского возраста (хомолхинская, имнянская, аунакитская и вачская свиты), 4 – вендского возраста (анангрская, догалдынская и илигирская свиты); 5 – комплекс архейско-нижнепротерозойского основания; 6 – интрузии гранитоидов палеозойского Конкудеро-Мамаканского комплекса: а – первой и б – второй фаз; 7 – месторождения золота: а – крупные (2 – Верхне-Угаханское, 3 – Сухой Лог, 5 – Вернинское), б – средние и мелкие (1 – Голец Высочайший, 4 – Западное, 6 – Невское, 7 – Первенец, 8 – Перевальное, 9 – Ожерелье, 10 – Ыканское, 11 – Красное, 12 – Догалдынская жила, 13 – Кавказ, 14 – Черкесское, 15 – Большой Чанчик, 16 – Копыловское; 8 – месторождения россыпного золота и их продуктивность: а – высокопродуктивные (>200 кг/км), б – прочие; 9 – границы и номера структурно-металлогенических зон (СМЗ): I – Чуйско-Тонодско-Нечерская, II – Мамско-Бодайбинская, III – Баргузино-Муйская группа; 10 – границы Бодайбинского рудного района; 11 – зоны складчато-разрывных деформаций 3-го порядка и их номера (2.1 – Верхне-Хомолхинская, 2.2 – Верхне-Угаханская, 3.1 – Широкинско-Зоринская, 3.2 – Сухоложская, 3.3 – Маракано-Вернинская, 3.4 – Ровненско-Кропоткинская, 3.5 – Вачская, 3.6 – Привачская, 4.1 – Верхне-Аунакитская, 4.2 – Анангро-Аунакитская, 5.1 – Верхне-Бодайбинская, 5.2 – Александро-Доголдынская, 5.3 – Александро-Копыловская, 5.4 – Успенско-Чанчиковская, 5.5 – Илигино-Крутинская, 5.6 – Бодайбокская, 5.7.а – Нижнебодайбинская северная, 5.7.б – Нижнебодайбинская южная); 12 – литологические границы

Месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых

Свита Мощность, м от-до (средняя)	Подсвита Индекс	Литология	Интрузивные образования	Характеристика свит
Илигирская 650 - 1100 (825)	Верхняя Vil_2			<i>Карбонатно-сланцево-песчаная слабо углеродистая флишоидного строения. Переслаивание известковистых голубовато-серых метапесчаников и углеродистых (иногда известковистых) алевро-аргиллитовых сланцев с единичными маломощными прослоями доломитов. В верхах разреза преобладают песчаные фации. В низах разреза преобладают сланцы. Рудовмещающая.</i>
	Нижняя Vil_1			
Догадлинская 400 - 800 (610)	Верхняя Vdg_3			<i>Сланцево-песчаная флишоидного строения с преобладанием пестроцветных (от серых до черных) полевошпат-кварцевых и полимиктовых метапесчаников с подчиненным количеством углеродистых метаалевролитов и метааргиллитов. Характерны горизонты косослоистого строения, единичные прослои известняков, песчанистых известняков, метагравелитов. В средней части и низах разреза единичные прослои гравеллитов и граувакков. Рудовмещающая.</i>
	Средняя Vdg_2			
	Нижняя Vdg_1			
Анангская 350 - 1000 (650)	Верхняя Van_2			<i>Песчано-алеврито-сланцевая ритмичного строения. Переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов, в том числе углеродсодержащих. Характерны горизонты с параллельно-слоистым строением двучленных ритмов. Единичные прослои песчанистых известняков.</i>
	Нижняя Van_1			
Вачская 140 - 300 (220)	Нерасчлененная Vvc			<i>Углеродистая песчано-алевро-аргиллитовая ритмичного строения (флишоидная чернсланцевая). Переслаивание углеродистых алевро-аргиллитов, алевро-песчаников и аргиллитистых сланцев и единичные прослои кварцевых песчаников. Маркирующий горизонт Бодайбинской серии венда.</i>
Ауначитская 400 - 1000 (700)	Верхняя Vau_3			<i>Известково-алевро-аргиллитово-песчаная ритмичного строения с редкими горизонтами косослоистого строения. Переслаивание углеродистых алевро-аргиллитов (50%), алевро-песчаников (40%) и аргиллитистых сланцев и песчанистых известняков. Сланцы преобладают в средней верхней частях разреза. Отдельные горизонты известняков – в средней части разреза. Рудовмещающая.</i>
	Средняя Vau_2			
	Нижняя Vau_1			
Имянская 400 - 1200 (800)	Верхняя $R_{2-3}im_2$			<i>Аргиллитно-песчано-известняковая. Флишоидное переслаивание известняков, известковистых сланцев, песчаников и мергелей. Характерно ритмичное строение горизонтов с редкими горизонтами косослоистого строения. Известковистые сланцы и мергели преобладают в средней верхней частях разреза. Рудовмещающая.</i>
	Нижняя $R_{2-3}im_1$			
Хомолкинская 400 - 1120 (760)	Верхняя $R_{2-3}hm_3$			<i>Углеродсодержащая песчано-алевро-аргиллитовая ритмичного строения. Переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов, в том числе углеродсодержащих. Мощность «слоев» от 0,05 м до 0,5 м элементарных ритмов горизонтов с параллельно-слоистым строением до 1 м. Для углеродистых алевро-аргиллитовых фаций характерна диагенетическая вкрапленность сульфидов. В средней части разреза – единичные прослои и линзы песчаников, а в верхней части – известняков. Рудовмещающая.</i>
	Средняя $R_{2-3}hm_2$			
	Нижняя $R_{2-3}hm_1$			
Угаканская 320 - 820 (570)	Нерасчлененная $R_{2-3}uh$			<i>Аргиллитно-известняковая ритмично-слоистая. Переслаивание органогенных известняков известковистых аргиллитов, алевролитов и песчаников, в том числе углеродистых алевро-аргиллитов. Мощность элементарных ритмов горизонтов с параллельно-слоистым строением от 0,2 м до 10 м. В верхах разреза преобладают алевро-аргиллитовые фации.</i>
Бужуйхтинская 600 - 800 (700)	Нерасчлененная $R_{2-3}bh$			<i>Известняково-сланцево-песчаная. Флишоидное переслаивание метаалевролитов, углеродистых метаалевро-аргиллитов и кварцевых песчаников. Единичные линзы и горизонты известняков. Рудовмещающая.</i>
Бодайбоканская 150 - 200 (175)	Нерасчлененная $R_{2-3}bd$			<i>Известняковая, в том числе органогенная, углеродсодержащая. Маркирующий горизонт карбонатных пород.</i>
Бугарихтинская > 800 (800)	Нерасчлененная $R_{2-3}bg$			<i>Известняково-песчано-сланцевая. Ритмично переслаивающиеся между собой полевошпато-кварцевые песчаники различной зернистости, среди которых отмечаются пласты различной мощности черных углеродистых кварцево-слюдистых сланцев, алевролитов и серых известняков.</i>
Хайвергинская > 800 (800)	Нерасчлененная $R_{2-3}hv$			<i>Углеродистая алевро-аргиллитовая. Преобладание пелитовых углеродистых сланцев. Присутствуют отдельные горизонты мощностью от первых до десятков метров метапесчаников различной зернистости.</i>
	AR-PR			<i>Комплекс архейско-нижнепротерозойского основания.</i>



Метасоматические (гидротермально-метасоматические) – образования железомagneзиально-карбонатного состава («бурошпатизация») в сочетании с более поздними гидротермально-метасоматическими образованиями березитоподобного состава (серицит±мусковит, пирит±пирротин, доломит±анкерит±кварц) и жильным и жильно-прожилковым окварцеванием во флишоидных карбонатно-терригенных отложениях различных стратоединиц в субпараллельных ЗСРД с повышенным расщеплением в призмковых частях складок и их крыльях.

Геохимические – ареалы линейно-ориентированных вторичных ореолов рассеяния мышьяка и золота с изоконцентрациями золота от 0,003 до 0,1г/т и выше.

Экзогенной золотонности – многочисленные шлиховые потоки и месторождения россыпного золота (в том числе с наличием золотин с признаками ближнего сноса).

Рудно-формационные – месторождения, рудопроявления и пункты минерализации золотосульфидно-кварцевой и золотокварцевой рудных формаций. На ряде месторождений оба этих типа оруденения пространственно совмещены (Западное, Вернинское, Копыловское, Сухой Лог).

Геофизические – структура магнитного и гравитационного полей отражает структурно-формационные особенности строения, выраженные в закономерно изменяющейся в плане ориентировке антиклинорных ЗСРД третьего порядка с запад-северо-западного простирания с крутым залеганием осевых плоскостей в южном сегменте, на север-северо-западное с пологим залеганием в северном сегменте. Кроме того, в гравимагнитометрических полях находят свое отражение и размещение интрузии гранитоидного ряда, в том числе и не вскрытые эрозией.

С учетом принципов эквивалентности и соподчиненности структурно-формационного и металлогенического районирования и сочетания прямых и косвенных элементов-признаков золотонности в **Бодайбинском рудном районе (РР)** выделены три металлогенических таксона ранга **рудного узла (РУ)** – Кудули-Хомолхинский, Маракано-Тунгусский и Южно-Бодайбинский с выявленными месторождениями золота и два **потенциально рудных узла (ПРУ)** – Кулибриянский и Анангро-Аунакитский с невыявленными к настоящему времени месторождениями золота (рис. 4).

Выделенные рудные узлы по геолого-структурным особенностям и слагающим их литолого-фаціальным толщам с золоторудной минерализацией на различных стратиграфических уровнях с наличием в них углеродсодержащих толщ флишоидного строения соответствуют складчатым структурам второго порядка. Это позволило сохранить за ними названия последних, чтобы подчеркнуть их геологическую и металлогеническую общность.

Особенности геолого-структурного плана строения рудных и потенциально рудных узлов и их размещение отражены на схеме структурно-формационного районирования с элементами золотонности (см. рис. 1). Схема составлена с учетом комплекса структурно-формационных, литолого-фаціальных, рудно-формационных, минералого-геохимических, геофизических данных предшественников и дополнительной информации, полученной по результатам полевых работ ЦНИГРИ на опорных профилях и участках детализации в 2013–2015 гг.

В пределах рудных узлов **рудные поля** выступают как его составляющие элементы и характеризуются сходным сочетанием выше перечисленных элементов-признаков рудных узлов, но проявленные на локальных фрагментах *в пределах ЗСРД третьего и более высоких порядков*. Это позволило в рудных и потенциально рудных узлах с учетом их опосредованности выделить **рудные (РП) и потенциально рудные поля (ПРП)**.

ЗСРД характеризуются следующими параметрами: длина варьирует от 50 до 75 км (средняя 45 км), ширина от 3 до 7 км (средняя 4 км). Средняя площадь – 180 км², которая принимается как средняя площадь рудного поля в карбонатно-терригенных отложениях флишоидного строения, что согласуется с требованиями металлогенического кодекса [11].

В пределах ЗСРД потенциально золотонными являются две–три минерализованные зоны мощностью до 500 м и протяженностью от 10 до 20 км. При средней длине 15 км и общей мощности трёх минерализованных зон 1500 м, средняя площадь минерализованных зон составляет 22,5 км² и принимается как средняя площадь поискового участка в карбонатно-терригенных отложениях флишоидного строения Южно-Бодайбинского РУ. Пример строения минерализованных зон приведен на рис. 5.

В пределах минерализованных зон локализуются **рудные зоны** мощностью от 3 до 55 м (средняя – 30 м)

Рис. 2. Литолого-стратиграфическая колонка Бодайбинского рудного района:

1 – известняки; 2 – доломиты; 3 – известняки: а – углеродистые, б – мергелистые, в – органогенные (строматолитовые и онколитовые); 4 – гравелиты и граувакки; 5 – песчаники; 6 – алевриты, в том числе углеродсодержащие; 7 – аргиллиты, в том числе углеродсодержащие; 8 – известковистые песчаники; 9 – интрузии гранитоидов палеозойского Конкудеро-Мамаканского комплекса: а – первой и б – второй фаз; 10 – дайки: а – гранитов, б – лампрофиров; 11 – интервал с установленной золоторудной минерализацией; 12 – месторождения золота: а – крупные, б – средние и мелкие); характеристика толщ приведена на колонке; наименование месторождений согласно номерам (см. услов. обозн. к рис. 1)

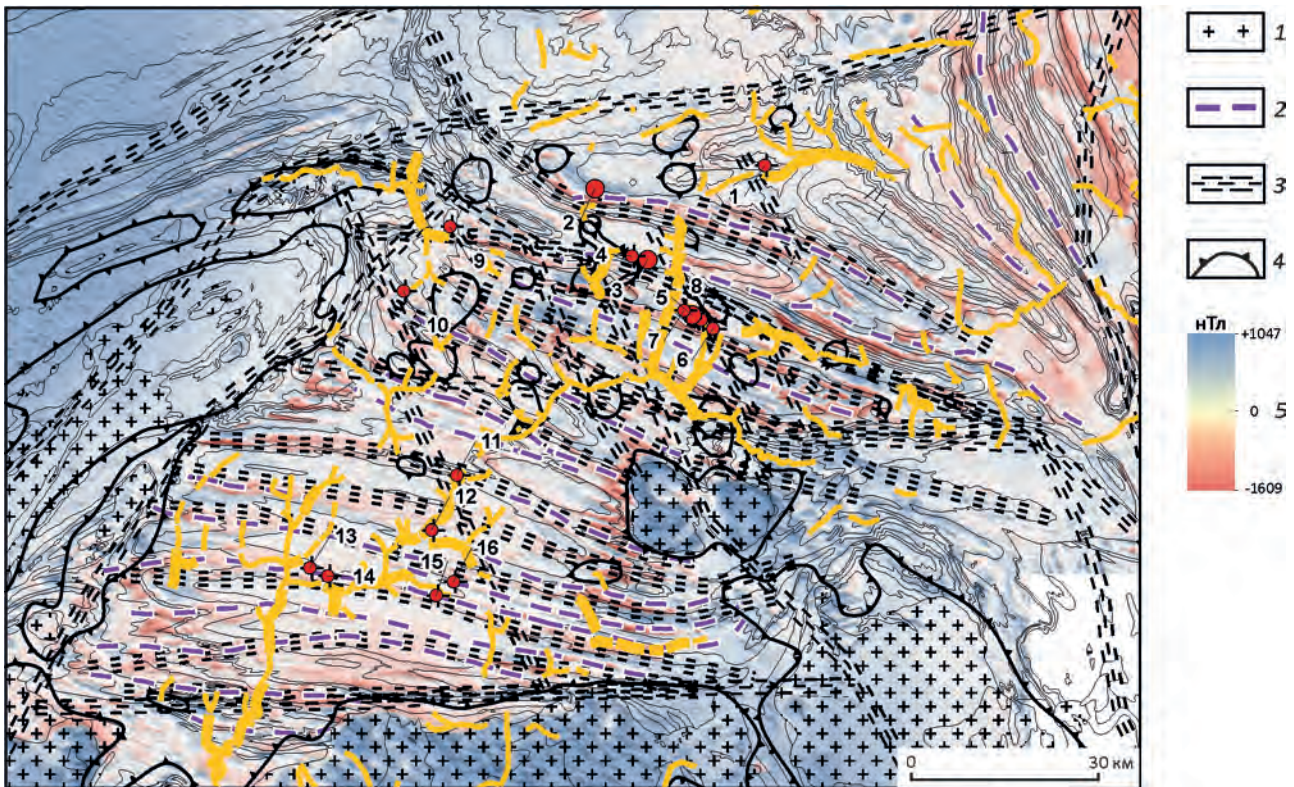


Рис. 3. Отражение складчатых структур и гранитоидов в магнитном поле. По данным А.В.Тарасова, ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» в интерпретации авторов:

1 – интрузии гранитов палеозойского Конкудеро-Мамаканского комплекса; 2 – оси антиклиналей 3-го порядка; 3 – зоны глубинных разломов (по геофизическим данным); 4 – предполагаемые скрытые массивы гранитоидов (по комплексу геологических и геофизических данных); 5 – интенсивность магнитных аномалий показана оттенками цветов (положительные значения – синими, отрицательные – красными, промежуточные значения – бледно-желтыми); остальные услов. обозн. см. на рис. 1

и протяженностью от 0,5 до 5 км (средняя – 3 км) «*нерудной*» строения по мощности – чередования золоторудных интервалов с содержаниями золота более 1 г/т с убогими (менее 1 г/т) и безрудными интервалами мощностью до 3–5 м (максимальная мощность безрудного интервала, включаемого в единый контур потенциально рудного тела прожилково-вкрапленных и жильно-прожилковых руд золотосульфидно-кварцевого и(или) золото-кварцевого геолого-промышленного типа). Рудная зона не имеет отчетливо выраженных геологических границ и выделяется лишь по данным опробования в качестве объекта, экономически целесообразного для отработки. В отдельных случаях фрагмент рудной зоны может соответствовать рудному телу.

Затруднения при оконтуривании рудных полей в структурно-вещественных комплексах, сложенных карбонатно-терригенными толщами флишеидного строения, обусловлены отсутствием сведений как о литолого-фациальных особенностях строения рудо-

вмещающих толщ (как возможных геохимических барьеров для локализации золоторудной минерализации), так и строения, зональности минерализованных зон с гидротермально-метасоматическими образованиями.

К методике оценки остаточных прогнозных ресурсов рудного золота категории P_3 в черносланцевых толщах Бодайбинского рудного района. Согласно методическим руководствам и рекомендациям по оценке прогнозных ресурсов благородных металлов [12–15], оценке прогнозных ресурсов по категории P_3 подлежат площади рудных районов и рудных узлов в составе металлогенической зоны. Количественная оценка прогнозных ресурсов рудных районов проводится на основе их аналогии с изученными площадями того же ранга или с учетом рассчитанной удельной площадной (объемной) продуктивности на рудное золото оцениваемого таксона [12, 14, 15].

Учитывая гетерогенность строения и относительно крупные размеры рудных районов (до 10 000 км² ± ±30%) с рудовмещающими карбонатно-терригенными

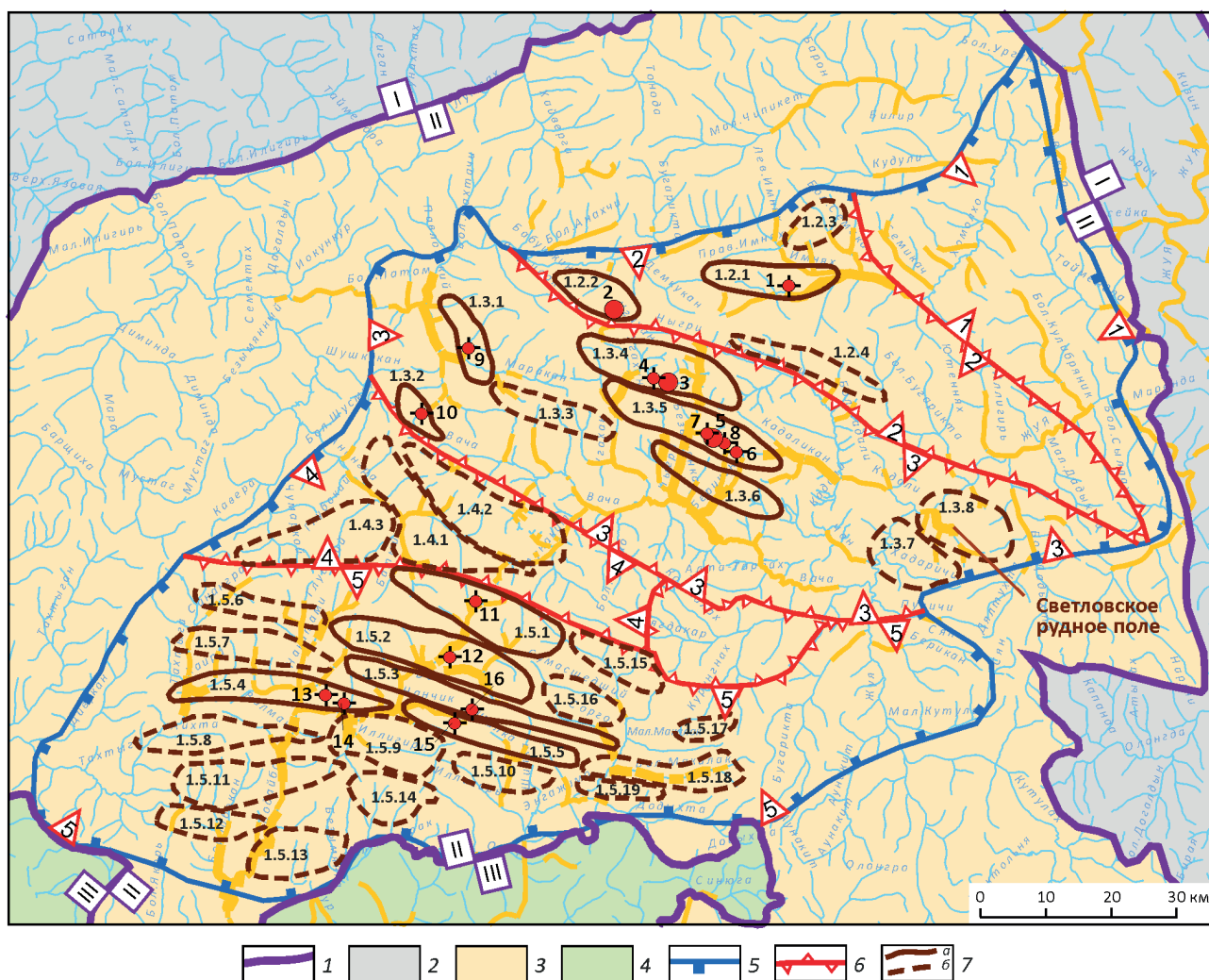


Рис. 4. Схема металлогенического районирования на рудное золото Бодайбинского рудного района:

1 – границы и номера структурно-металлогенических зон; 2–4 – структурно-металлогенические зоны: 2 – Чуйско-Тонодско-Нечерская (I), 3 – Мамско-Бодайбинская (II), 4 – Баргузино-Муйская группа (III); 5 – граница Бодайбинского рудного района; 6 – границы рудных узлов (2 – Хомолхинский, 3 – Маракано-Тунгусский, 5 – Южно-Бодайбинский) и потенциальных рудных узлов (1 – Кулибриянский, 4 – Анангро-Аунакинский); 7 – границы: а – рудных полей (1.2.1 – Голец Высочайший, 1.2.2 – Верхне-Угаханское, 1.3.2 – Ыканское, 1.3.4 – Сухоложское, 1.3.5 – Вернинско-Невское, 1.3.6 – Кропоткинское (Атыркан-Бериканское), 1.5.1 – Красное, 1.5.2 – Артёмовское, 1.5.3 – Копыловско-Электрическое, 1.5.4 – Васильевское, 1.5.5 – Чанчинско-Бериканское) и б – потенциальных рудных полей (1.2.3 – Баронское, 1.2.4 – Гадалимакитское, 1.3.3 – Ровненское, 1.3.7 – Мало-Тунгусское, 1.3.8 – Светловское, 1.4.1 – Аунакитское, 1.4.2 – Анангрское, 1.4.3 – Глубокое, 1.5.6 – Накатаминское, 1.5.7 – Владимирское, 1.5.8 – Волманское, 1.5.9 – Иллигирское, 1.5.10 – Ходар-Бериканское, 1.5.11 – Балахнинское, 1.5.12 – Бодайбокское, 1.5.13 – Кяхтинское, 1.5.14 – Тамаракское, 1.5.15 – Верхнеэнгажиминское, 1.5.16 – Сорго, 1.5.17 – Мало-Макалакское, 1.5.18 – Макалакское, 1.5.19 – Додыхтинское; остальные услов. обозн. см. на рис. 1

отложениями при таком подходе снижается степень надежности и достоверности оценки прогнозных ресурсов, даже с учетом площадной (или объемной) продуктивности, так как указанная продуктивность с наибольшей достоверностью может быть рассчитана только для полностью опроискованных площадей ранга рудного поля. Кроме того, в указанных выше работах

исключен металлогенический таксон ранга рудного узла, что нарушает иерархический ряд металлогенических таксонов и их соподчиненность геологическим эквивалентам. Вместе с тем, площадь рудного узла на порядок меньше рудного района ($1000 \text{ км}^2 \pm 30\%$), что значительно увеличивает степень достоверности оценки его прогнозных ресурсов.

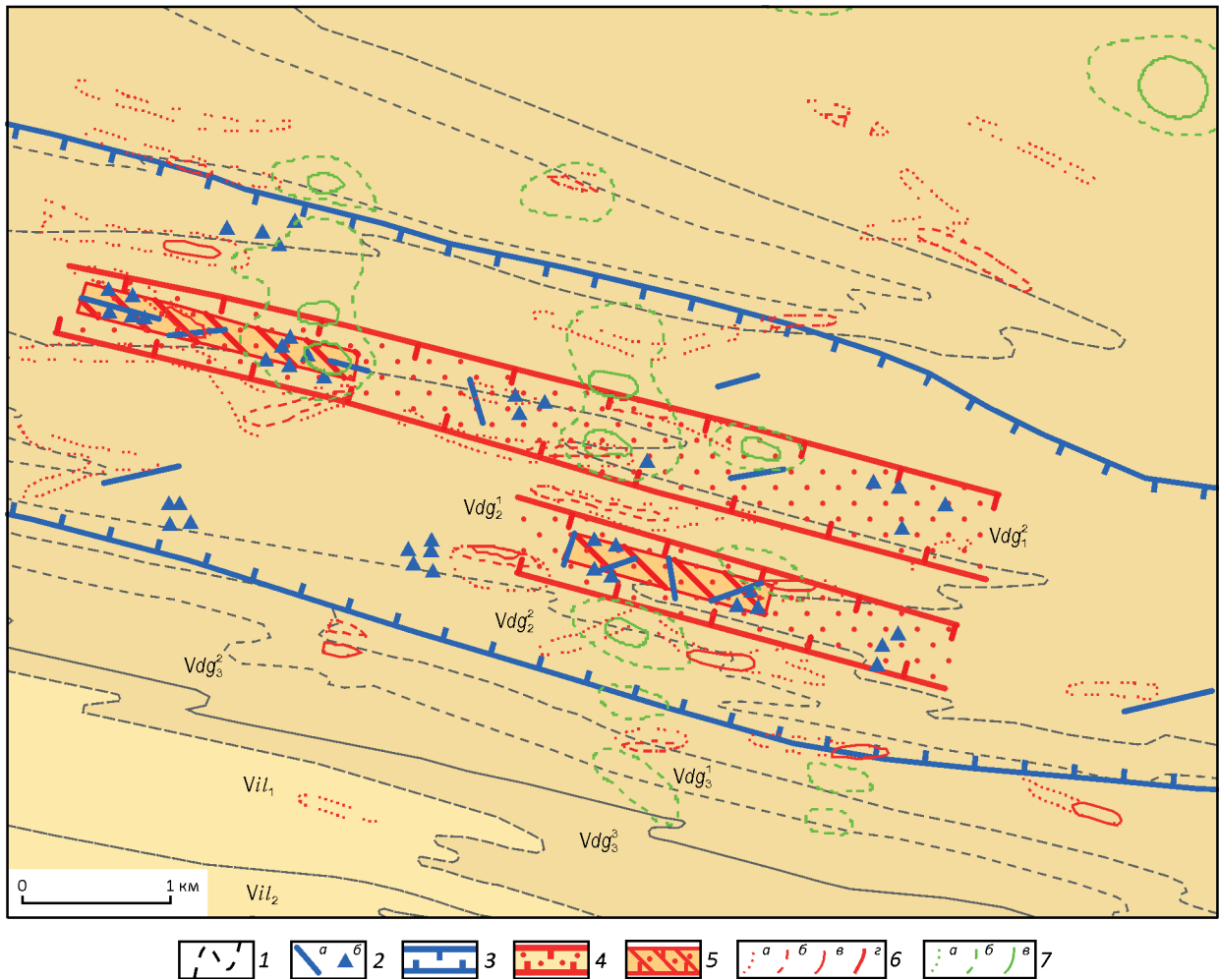


Рис. 5. Схема типового строения зон складчато-разрывных деформаций 3-го порядка:

1 – границы литологических подразделений; 2 – жилы кварцевые и кварц-карбонатные в коренном залегании (а) и их развалы (б); 3 – зоны складчато-разрывных деформаций 3-го порядка с железомagneзиальной карбонатизацией («буропатизацией»); 4 – минерализованные зоны (железомagneзиальная карбонатизация, березитизация, сульфидизация, жильно-прожилковая кварцевая минерализация); 5 – рудные и потенциально рудные зоны (интенсивно проявленные железомagneзиальная карбонатизация, березитизация, сульфидизация, жильно-прожилковая золотокварцевая и золотосульфидно-кварцевая минерализация); 6 – вторичные ореолы рассеяния золота с изоцентрами (в г/т): а – 0,003–0,01, б – 0,01–0,1, в – 0,1–1, з – >1; 7 – вторичные ореолы рассеяния мышьяка с изоцентрами (в %): а – 0,003–0,005, б – 0,005–0,008, в – >0,008

На площади Бодайбинского рудного района к настоящему времени нет достаточно полно и достоверно опоискованных площадей ранга рудного узла и даже рудного поля, оконтуренных по совокупности литолого-структурных, рудно-минералогических и шлихогеохимических, геохимических данных, с учетом их отражения в геофизических полях. Ярким примером может служить упомянутое выше рудное поле с месторождением Сухой Лог, границы которого, а, следовательно, и его площадь на достигнутой стадии изученности не установлены. Это отмечено и авторами пояснительной записки к геологической карте масштаба 1:1 000 000 [2],

что также определяет и условность оценки площадной удельной продуктивности объекта-эталона.

Авторы настоящей публикации предлагают вариант оценки прогнозных ресурсов рудного золота категории P_3 потенциально рудных узлов и остаточных прогнозных ресурсов площадей рудных узлов на основе расчета удельной площадной продуктивности площадей соответствующего ранга с учетом рассчитанной площадной продуктивности рудных полей с выявленными месторождениями и введением понижающих коэффициентов для оценки рудных и потенциально рудных узлов.

Удельная площадная продуктивность эталонной площади принимается для ПРУ и ПРП с понижающими коэффициентами достоверности (Кд 0,5), и коэффициентом геологического подобия (Кп 0,5–1,0) эталонному объекту.

Наиболее достоверно *удельная площадная продуктивность* может быть оценена только для площадей рудных полей и месторождений, а *удельная объемная продуктивность* – для месторождений.

Площадная удельная продуктивность золотоносности рудного поля (q) рассчитывается по формуле $q = M_1 / S_1$, где M_1 – сумма запасов в тоннах (включая погашенные) всех месторождений, выявленных на рудном поле, с суммированием к ним прогнозных ресурсов категории P_1 с коэффициентом перевода их в запасы равном 0,5 и P_2 с коэффициентом перевода – 0,25; S_1 – площадь рудного поля в км². Для каждого рудного узла площадная продуктивность рудных полей оценивается отдельно.

Из рассчитанной площадной продуктивности всех рудных полей конкретного рудного узла (или района) необходимо рассчитать их среднюю продуктивность, которую с *понижающим коэффициентом* (Кд) – 0,5 авторы предлагают учесть для надежности оценки прогнозных ресурсов категории P_3 рудного узла, в состав которого входят оцененные площади рудных полей.

Прогнозные ресурсы рудного золота категории P_3 площадей потенциально рудных узлов оцениваются с учетом коэффициента их подобия (Кп) эталонному рудному узлу с оцененными прогнозными ресурсами.

Коэффициент подобия (Кп от 0,5 до 1,0) *оценивается экспертно* на основе анализа сходства составов рудовмещающих пород, структурных рудоконтролирующих элементов, наличия прямых элементов-признаков золотоносности (пункты и рудопроявления золота, геохимических аномалий ВОР и ПОР золота и(или) мышьяка, масштабов россыпной золотоносности) и косвенных признаков прогнозируемого геолого-промышленного типа рудных залежей, установленных по результатам проведенных геологических, геохимических, геофизических и специализированных поисковых работ на площади ПРУ по отношению к эталонному рудному узлу. Предложенный вариант оценки близок к сочетанию прямого расчета и экспертной оценки нестандартных (по масштабам) площадей рудных полей и рудных узлов, сложенных карбонатно-терригенными отложениями флишеидного строения.

Для оценки прогнозных ресурсов категории P_3 площади рудного узла используется формула Быховера: $P^* = S^* \times q^*$, где P^* – ресурсы в т; S^* – площадь оцениваемого объекта в км²; q^* – удельная площадная продуктивность объекта-аналога в т/км², а оценка площади потенциально рудного узла проводится по той же формуле, но с введением в неё поправочного коэффициента подобия (Кп*) площади эталонному рудному узлу, что соответствует формуле: $P = S^* \times q^* \times Kп^*$.

Ниже приводится пример авторской оценки по категории P_3 остаточных прогнозных ресурсов рудного золота Бодайбинского золоторудного района и его рудных и потенциально рудных узлов.

Площадь **Бодайбинского золоторудного района** 13 249,0 км², из них продуктивная 12030 км² (по сумме продуктивных площадей 3 золоторудных и 2 потенциально золоторудных узлов). *Площадная удельная продуктивность (средняя из 5 рудных узлов)* – 0,55 т/км². Прогнозные ресурсы категории P_3 рудного золота составят 12030 км² × 0,55 т/км² = 6616,5 т. Округленно **6616 т**. Из них реализованные в запасы составляют: Хомолхинский РУ – **136,6 т** (месторождения Голец Высочайший и Угахан); Маракан-Тунгусский РУ – **3200 т** (месторождения Сухой Лог, Вернинское, Невское Перевальное, Ожерелье); Южно-Бодайбинский РУ – **58 т** (месторождения Копыловское, Б.Чанчик, Красное, Догалдынская Жила, Кавказ), а в апробированные прогнозные ресурсы категории P_1 – **1417 т** и категории P_2 – **528 т**.

С учетом *переводных коэффициентов* 0,5 для прогнозных ресурсов категории P_1 в *условные запасы* составят (1417 × 0,5) = **708,5 т** и 0,25 для категории P_2 (528 × 0,25) = **132 т**. Таким образом, общие запасы, с учетом условно реализованных, составят: 136,6 т + 3200 т + 708 т + 132 т = 4176,6 т. Округленно **4180 т**.

В результате *остаточные прогнозные ресурсы категории P_3* составят: 6616 т – (136 + 3200 + 708 + 132) т = **2440 т** (в том числе 2360 т – нераспределенный фонд).

Данная оценка подтверждается проведенными ниже расчетами оценки прогнозных ресурсов каждого из пяти выделенных авторами рудных узлов, выполненных с учетом различной удельной площадной продуктивности выделенных рудных и потенциально рудных узлов, рассчитанной для каждого их них.

Отметим, что степень опосредованности на рудное золото рудных узлов горно-буровыми выработками различна, в связи с этим, прежде всего, оценим остаточные прогнозные ресурсы наиболее известного Маракано-Тунгусского рудного узла с уникальным по запасам месторождением Сухой Лог.

Маракано-Тунгусский золоторудный узел площадью 3008,1 км² расположен в центральной части рудного района (см. рис. 6). Его площадь оконтурена по ареалу среднерифейско-вендских углеродистых карбонатно-терригенных отложений бужуихтинской, угаханской, хомолхинской, имнянской, аунакитской, вачской, анангской, догалдынской и илигирской свит. Стратифицированные толщи слагают Маракано-Тунгусскую мегасинклиналь 2-го порядка, протягивающуюся с северо-запада на юго-восток на расстояние 120 км при ширине 30–35 км. Её строение осложнено зонами со складчатых и постскладчатых субпродольных разрывных нарушений взбросового и надвигового типа, формирующих зоны складчато-разрывных деформаций. В центральной части они интродуцированы гранитодами

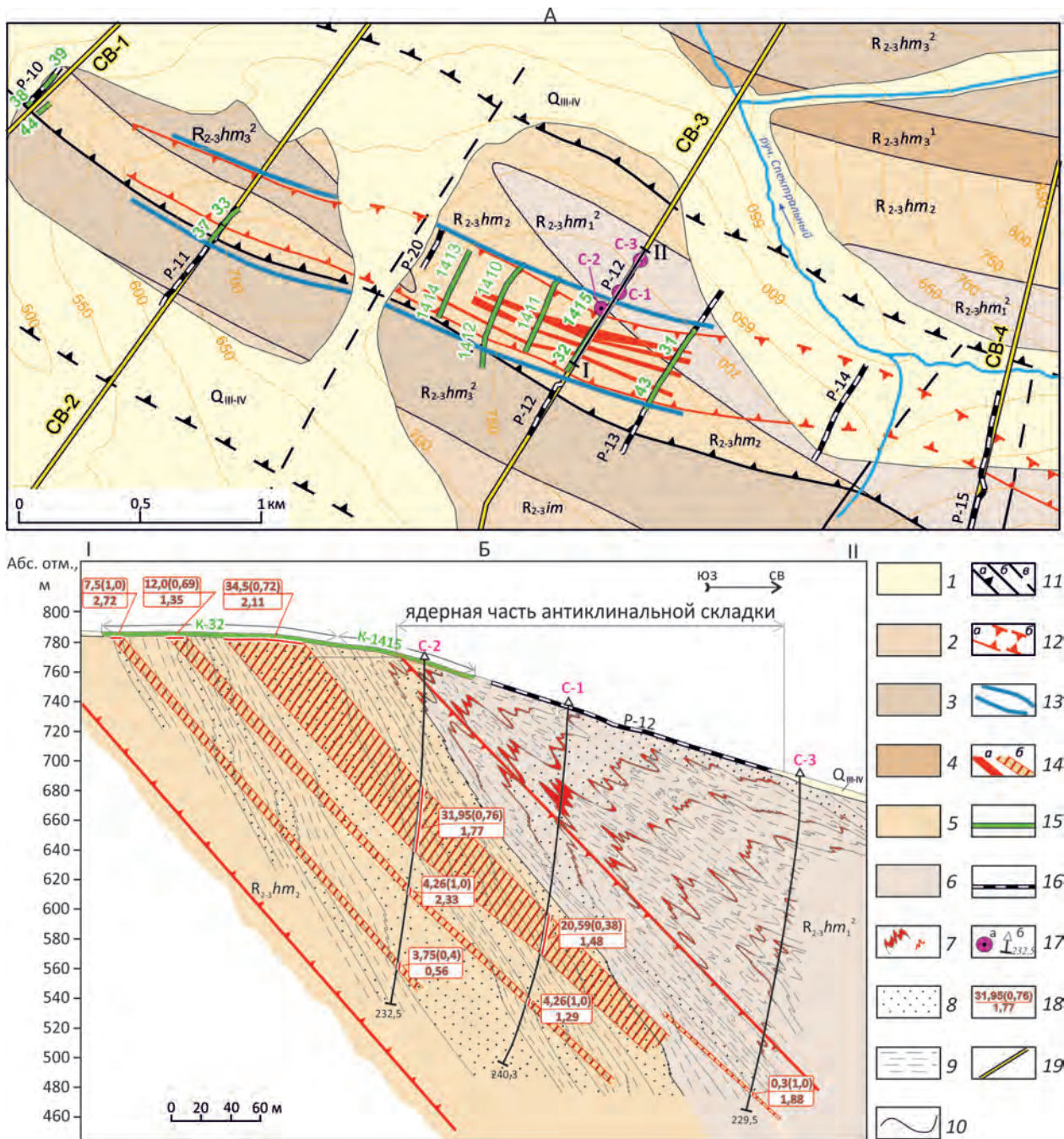


Рис.6. Геологическая карта (А) и разрез по линии I-II (Б) рудопроявления Зона Северная Светловского рудного поля:

1 – четвертичные рыхлые отложения; 2 – имнянская свита: метапесчаники, сланцы известковистые, мрамора; 3–6 – хомолхинская свита: 3–4 – верхняя подсвита: 3 – сланцы углеродистые (слюдисто-кварцевые) с прослоями кварцевых и известковистых песчаников верхней пачки, 4 – сланцы углеродистые с прослоями известняков нижней пачки, 5 – средняя подсвита: переслаивание углеродистых сланцев и кварцевых песчаников, 6 – нижняя подсвита: сланцы углеродистые с прослоями кварцевых метапесчаников верхней пачки; 7 – кварцевые жилы; 8–9 – преимущественный литологический состав рудопроявляющей толщи: 8 – песчаники, 9 – метаргиллиты и метаалевролиты; 10 – геологические границы; 11 – разломы: а – взбросы и надвиги, б – сдвиги, в – предполагаемые; 12 – контуры минерализованных зон: а – установленные, б – предполагаемые; 13 – контуры шлиховых ореолов золота по данным опробования шурфов; 14 – рудные зоны: а – на карте и б – на разрезе; 15–16 – бульдозерные горные выработки и их номера; 15 – канавы, 16 – расчистки; 17 – колонковые скважины: а – на карте, б – на разрезе с номерами и глубиной забоя; 18 – рудные пересечения в канавы и скважинах (числитель – истинная мощность, в скобках – коэффициент рудоности, знаменатель – среднее содержание золота, г/т); 19 – опорные геолого-геофизические профили и их номера на карте

верхнего палеозоя (Константиновский шток). С северо-востока мегасинклиналь ограничена серией надвигов Кадаликанской антиклинали третьего порядка, с юго-запада и юга – зоной разломов запад-северо-западного простирания.

Рудовмещающими золотое оруденение структурами являются зоны складчато-разрывных деформаций с интенсивным расщеплением пород и проявлением гидротермально-метасоматических процессов – бурошпатизации, сульфидизации, окварцевания. Они трассируются, как и в пределах всего рудного района ВОР золота и мышьяка, шлиховыми ореолами золота. Золотое оруденение промышленной значимости приурочено к узкосжатым и запрокинутым до лежащих антиклинальным складкам 3-го и 4-го порядков в узлах пересечения продольных складчато-разрывных зон с системами более поздних разрывов северо-западного и субмеридионального простираний.

На площади узла выявлены четыре зоны складчато-разрывных деформаций (с севера на юг): Сухоложская, Маракано-Тунгусская (Маракано-Вернинская), Ровнинско-Атыркан-Бериканская (Ровнинско-Кропоткинская), Вачская (Южно-Вачская), вмещающие месторождения и рудопроявления золото кварцевой и золотосульфидно-кварцевой рудных формаций на различных литолого-стратиграфических уровнях. В их пределах выделены рудные поля с выявленными месторождениями: Сухоложское (месторождение Сухой Лог, рудопроявление Широкое), Мараканское (месторождения Ожерелье, Ыканское), Вернинско-Невское (месторождения Вернинское, Невское, Перевального и рудопроявления Товарищ) с золотосульфидным, золото-кварц-сульфидным и золото-кварцевым оруденением. Выделены и потенциально рудные поля, в том числе с установленными рудопроявлениями: Кропоткинское (рудопроявление Атырканское) и Кудускитское, Светловское (рудопроявления Дорожное, Северное), Мало-Тунгусское (рудопроявление Дальнее), Ровнинское. Все они перспективны на выявление месторождений золота вышеупомянутых рудно-формационных типов. Площади рудных полей с выявленными месторождениями рудного золота Маракано-Тунгусского рудного узла варьируют от 25 до 75 км², составляя в среднем 50 км².

Расчет удельной продуктивности площадей золоторудных полей Маракано-Тунгусского рудного узла для оценки их прогнозных ресурсов рудного золота по категории P₂ в черносланцевых толщах приведен с учетом суммы запасов и условных запасов. Условные запасы рудного золота 7 рудных полей были оценены по поставленным на учет прогнозным ресурсам с переводными коэффициентами 0,25 для категории P₂ и 0,5 для категории P₁ и составили 631 т. Выявленные запасы с учетом запасов месторождения Сухой Лог – 3200 т.

Средняя удельная площадная продуктивность рудных полей Маракано-Тунгусского РУ – 3,5 т/км² (без уче-

та всех запасов уникального месторождения Сухой Лог). Учитывая, что общая площадь выявленных и оцененных семи рудных полей составляет около 15% от общей площади рудного узла считаем, что для надежности и достоверности оценки прогнозных ресурсов категории P₃ удельная площадная продуктивность рудного узла может быть принята с понижающим коэффициентом 0,5. С его учетом удельная площадная продуктивность рудного узла составит 3,5 т/км² × 0,5 = 1,75 т/км².

Площадь Маракано-Тунгусского РУ равна 3008,1 км² (из них продуктивная – 2700 км²), общие прогнозные ресурсы P₃ составят: 2700 км² × 1,75 т/км² = 4725 т. К настоящему времени выявленные реальные запасы оцениваются в 3228 т (из них 2972 т на месторождении Сухой Лог), сумма прогнозных ресурсов категории P₁ – 307,6 т; категории P₂ – 174 т, приведенных к запасам составит 197,3 т. Таким образом, **остаточные прогнозные ресурсы категории P₃** составят: 4725 т – (322800 + 197,3) т = 1299,7 т (округленно 1300 т).

Их реализация на территории Маракано-Тунгусского рудного узла возможна на площадях перспективных участков ранга рудных полей с рудопроявлениями Светловское, Мало-Тунгусское, Кудускитское, Атыркан-Бериканское, Ровное, Угольное, Верхне-Вачское, Верхне-Угаханское и других рудных полей, которые по критериям и признакам золотоносности сходны с рудными полями с выявленными месторождениями золотосульфидно-кварцевой и золото-кварцевой рудных формаций в терригенно-карбонатных толщах флишоидного строения.

Хомолхинский золоторудный узел площадью 1472,6 км² (см. рис. 6) – второй рудный узел с выявленным и подготавливаемым к освоению месторождением Угахан и эксплуатируемым месторождением Голец Высочайший. Площадь рудного узла оконтурена по ареалу среднерифейско-вендских потенциально рудовмещающих углеродистых и углеродсодержащих карбонатно-терригенных отложений хайвергинской, бугарихтинской, бодайбокканской, бужуихтинской, угаханской, хомолхинской, имняхской, аунакитской, вачской и анангской свит. Они слагают Хомолхинскую мегасинклиналь второго порядка. Южная граница, отделяющая его от Маракано-Тунгусского рудного узла, проводится по зоне надвига.

В рудном узле известно два золоторудных месторождения – Голец Высочайший и Угаханское, ряд рудопроявлений (Горелое, Сыллах, Норминское и др.) и пунктов золоторудной минерализации золотосульфидно-кварцевой, золотосульфидной и золото-кварцевой формаций. В пределах рудного узла отрабатываются богатые россыпи золота. Установленные месторождения золота локализованы в углеродистых отложениях хомолхинской и бужуихтинской свит, характеризующихся песчано-алевролит-сланцевым составом. Отдельные рудопроявления выявлены в углеродистых алевро-песчаных породах бужуихтинской и песчани-

ках бугарихтинской свиты. Рудовмещающими золотое оруденение структурами являются зоны складчато-разрывных деформаций с интенсивным расщеплением пород, на участках сочленения флексуобразных изгибов осей складок с секущими их сбросами.

Выделены две ЗСРД (с севера на юг): Верхне-Хомолхинская, с месторождением Голец Высочайший и рудопроявлениями Горелое и Норминское и Кадаликанская с месторождением Угахан, локализованные на различных литолого-стратиграфических уровнях.

На площади выделены рудные поля – Гольца Высочайшего с месторождением Голец Высочайший и Верхне-Угаханское с месторождением Угахан и потенциально рудные поля – Гадалимакитское и Баронское.

Эталонный объект рудного узла – месторождение Голец Высочайший, залегающее, как и Сухоложское, в терригенных отложениях хомолхинской свиты. Прогнозные ресурсы по категории P_3 рудного золота Хомолхинского рудного узла оценены по следующим данным. Месторождение Голец Высочайший имеет утвержденные балансовые запасы рудного золота категории C_1+C_2 : $16,5+26,9$ т= $43,4$ т, забалансовые запасы категории C_2 – $9,2$ т, погашенные запасы – 18 т, отвалы – $0,5$ т (протокол ГКЗ № 2126 от 12.02.2010 г). Утвержденные на 01.01.2003 г. ресурсы рудного поля месторождения Голец Высочайший категории P_1 равны 33 т. Всего – $43,4+9,2+18+0,5+(33 \times 0,5)=87,6$ т.

Площадь рудного поля «Голец Высочайший» – 76 км², следовательно, его удельная площадная продуктивность составляет $87,6$ т: 76 км²≈ $1,15$ т/км². Площадь рудного поля Верхне-Угаханское (с месторождением Угахан) – 55 км². Утвержденные запасы месторождения – 36 т+ 13 т забалансовые (Протокол ГКЗ № от 2014г). Всего – 49 т (месторождение разведывается). Удельная площадная продуктивность составит: 49 т: 55 км²≈ $0,9$ т/км². В итоге общий объем запасов C_1+C_2 и ресурсов категории P_1 , приведенных к запасам, составит: $87,6$ т+ 49 т≈ $136,6$ т. Общая площадь двух РП – 131 км², соответственно их средняя удельная площадная продуктивность составит: $136,6$ т: 131 км²≈ $1,0$ т/км².

Для расчета средней удельной площадной продуктивности рудного узла применен понижающий коэффициент $0,5$. Таким образом, она составит: $1,0$ т/км²× $0,5=0,5$ т/км². Это значение и принимается для оценки прогнозных ресурсов категории P_3 рудного золота Хомолхинского (Кудули Холмохинского) рудного узла.

Общая площадь рудного узла составляет $1472,6$ км², из них продуктивная (три минерализованные ЗСРД шириной по 5 км и длиной по 60 км) составит: 15 км× 60 км= 900 км². В итоге прогнозные ресурсы категории P_3 Хомолхинского рудного узла ($1472,6$) км² можно оценить: 900 км²× $0,5$ т/км²= 450 т.

Из них к настоящему времени реализовано в запасы на двух месторождениях – $136,6$ т и приведенные к запасам прогнозные ресурсы категорий $P_1=10$ т× $0,5=5$ т

и $P_2=30$ т× $0,25=7,5$ т. Таким образом остаточные (не реализованные) **прогнозные ресурсы категории P_3** , рекомендуемые к постановке на учет, составят: 450 т– $136,6$ т– $12,5$ т= 281 т, округленно – **280** т.

Реализация прогнозных ресурсов возможна в первую очередь в пределах ЗСРД Верхне-Хомолхинская и Кадаликанской, а также Гадалимакитском и Баронском потенциально рудных полях.

Южно-Бодайбинский рудный узел площадью $4463,7$ км² (см. рис. 6) – третий рудный узел с выявленными и эксплуатируемыми месторождениями. Он расположен в южной части Бодайбинского золоторудного рудного района. Площадь РУ характеризуется относительно высокой степенью геологической, геофизической, геохимической и поисковой изученности в центральной части и слабой изученностью его западного, восточного и южного флангов.

На площади рудного узла выявлено несколько мелких месторождений рудного золота с запасами от 1 до 36 т (Кавказ, Копыловское, Черкесское, Догалдынская жила, Большой Чанчик, Красное) и ряд рудопроявлений золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой рудных формаций. Здесь известны многочисленные месторождения россыпного золота, обрабатываемые с XIX в.

В геологическом плане площадь рудного узла представляет собой **Южно-Бодайбинскую мегасинклиналь** 2-го порядка, сложенную среднерифейско-вендскими углеродистыми карбонатно-терригенными отложениями флишoidalного строения. Центральная, наиболее погруженная его часть, представлена преимущественно углеродистыми сланцево-песчаниковыми отложениями илигирской и догалдынской свит венда суммарной мощностью около 2000 м. На крыльях вскрываются отложения анангской, вачской, аунакитской свит, а по периферии – имняхской, хомолхинской, угаханской, бужуихтинской и бодайбокканской свит (А.И.Иванов, 2014). Мегасинклиналь, в свою очередь, осложнена сильносжатými складками третьего и более высоких порядков с крутыми осевыми плоскостями, деформированными зонами расщепления, надвигами и взбросами.

С запада и востока площадь РУ ограничена гранито-гнейсовыми структурами, а с юга – полями гранитоидов. С севера рудный узел ограничен межблоковой ЗСРД (Верхне-Бодайбинской), представляющей собой зону глубинного разлома на границе с Анангро-Аунакитским блоком ранга потенциально рудного узла.

В пределах рудного узла выделено 7 рудоконтролирующих субпараллельных зон складчато-разрывных дислокаций (ЗСРД третьего порядка), в которых проявлены как прямые, так и косвенные признаки золотоносности: Верхне-Бодайбинская, Александрo-Догалдынская, Александровско-Копыловская, Успенско-Чанчинская, Илигирско-Крутинская, Балахна-Ходар-Бериканская, Бодайбокканская.

ЗСРД характеризуются развитием интенсивной напряженной складчатости третьего и более высоких порядков, с проявлением интенсивного расщепления субсогласного северо-западного и субширотного направлений, гидротермально-метасоматических преобразований пород – бурошпатизации, сульфидизации, жильного и жильно-прожилкового (до штокверкоподобного) окварцевания. Зоны трассируются локальными и точечными контрастными и малоконтрастными вторичными ореолами рассеяния золота (с изоконцентрациями от 0,003 г/т и выше) и мышьяка. В геофизических полях ЗСРД отражаются понижения значения градиента магнитного поля.

Специфическая особенность тектонического строения площади – наличие субмеридиональных секущих зон повышенной трещиноватости с жильной золото-кварцевой минерализацией, образующих рудные тела на месторождении Кавказ. На месторождениях Копыловское и Большой Чанчик рудные жильно-прожилковые зоны золотосульфидно-кварцевые залегают субсогласно с общим структурным планом.

В пределах ЗСРД оконтурены рудные поля с установленными месторождениями и рудопоявлениями и потенциально рудные поля со слабо изученными рудопоявлениями и комплексом поисковых признаков – потенциально золотоносными гидротермально-метасоматическими образованиями, вторичными ореолами рассеяния золота и мышьяка.

Для оценки прогнозных ресурсов рудного золота площади Южно-Бодайбинского рудного узла была использована удельная площадная продуктивность, рассчитанная через сумму запасов в месторождениях рудного узла и прогнозных ресурсов категории P_1 на площадь разведанных рудных полей.

Отступление в методике оценки удельной площадной продуктивности рудных полей через принятые

понижающие переводные коэффициенты прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 в запасы обусловлено как отсутствием достаточно надежных сведений о площадях рудных полей и их уточненной оценке прогнозных ресурсов, так и о запасах месторождений распределенного фонда недр.

Принятый авторами расчет удельной площадной продуктивности золоторудных полей Южно-Бодайбинского рудного узла для оценки их прогнозных ресурсов рудного золота по категории P_2 , отраженный в табл. 1, дает представление о выявленных к настоящему времени запасах, которые на ряде месторождений, после их до разведки могут составить первые десятки тонн. Приведенные сведения имеют вспомогательное значение для предварительной оценки золотоносности рудного узла и последующей уточненной оценки прогнозных ресурсов рудного золота рудных полей и перспективных участков ранга месторождений.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, удельная площадная продуктивность *рудных полей* Южно-Бодайбинского рудного узла составила **0,63 т/км²**, а площадная продуктивность для оценки прогнозных ресурсов категории P_3 рудного золота для *рудного узла* составит: $0,63 \text{ т/км}^2 \times 0,5 = \mathbf{0,315 \text{ т/км}^2}$.

Площадь Южно-Бодайбинского рудного узла – 4463,7 км², из них продуктивная на золотое оруденение площадь ЗСРД с золотоносными зонами метасоматитов составляет **2000 км²**. При рассчитанной для рудного узла площадной продуктивности рудных полей в пределах рудного узла – 0,315 т/км² прогнозные ресурсы рудного золота категории P_3 составят: $2000 \text{ км}^2 \times 0,315 \text{ т/км}^2 = \mathbf{630 \text{ т}}$.

Часть из них к настоящему времени реализованы в запасы (58 т) и часть – в прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1 . При приведении прогнозных ресурсов к запасам ($P_2 - 52 \text{ т} \times 0,25 = \mathbf{13,0 \text{ т}}$ и $P_1 - 12 \text{ т} \times 0,5 = \mathbf{6,0 \text{ т}}$) получаем еще

1. Расчет удельной продуктивности эталонных площадей золоторудных полей Южно-Бодайбинского рудного узла

Эталонные рудные поля	Запасы кат. $C_1 + C_2$, т	Ресурсы кат. P_1	Ресурсы кат. P_2	Сумма запасов (с учетом условных), т	Площадь эталонных объектов, км ²	Удельная площадная продуктивность (q), т/км ²
		Условные запасы, т	Условные запасы, т			
Копыловское *	7,6	$\frac{3,9}{1,9}$	$\frac{12}{3,0}$	12,5	15	0,8
Догалдынская жила	2,96	$\frac{6}{3,0}$	$\frac{15}{3,7}$	9,66	15	0,64
Кавказ*	1,037	$\frac{6,62}{3,31}$	$\frac{1,0}{0,5}$	3,81	15	0,25
Черкесское	0,465	Нет сведений		0,465	15	0,03
Большой Чанчик	8,7			8,7	18	0,58
Красное*	36			36	35	2,4
ИТОГО	56,75	$\frac{16,52}{8,26}$	$\frac{28}{7,0}$	72,01	113	0,63

Примечание. Расчет приведен без учета реальных запасов месторождений Красное и Копыловское, находящихся в настоящее время на стадии разведки; * – оценка прогнозных ресурсов по состоянию на 01.10.2015 г.

19 т. Итого – 77,0 т. В результате **остаточные прогнозные ресурсы категории P_3** составят: 630 т–77 т=553 т, которые рекомендуются к постановке на учет по состоянию на 01.01.2016 г.

Оценка по категории P_3 остаточных прогнозных ресурсов рудного золота потенциально рудных узлов. К потенциально рудным узлам Бодайбинского рудного района отнесены Кулебряникский и Анангро-Аунакитский.

Кулебряникский потенциально золоторудный узел (ПРУ) площадью 1164,8 км² расположен на северо-восточном фланге рудного района и оконтурен по ареалу среднерифейско-вендских пород, представленных углеродистыми и углеродсодержащими терригенными, карбонатно-терригенными и терригенно-карбонатными отложениями, смятыми в относительно узкие антиклинальные и синклинальные складки третьего и более высоких порядков с пологими осевыми плоскостями, осложненные серией разрывных нарушений субогласных осевым поверхностям складок. В общем структурном плане Бодайбинского мегасинклинория структурно-вещественные комплексы Кулебряникского узла соответствуют мегасинклинали 2-го порядка, отделенной с юго-запада от сходной с ней структуры Хомолхинской мегасинклинали пологими зонами надвигов и общим разворотом структурного плана с запад-северо-западного простирания на меридиональное.

По данным В.В.Коткина (2010) в ЗСРД проявлены процессы типа березитизации и лиственитизации (серицит, хлорит, эпидот, бурые шпаты и сульфиды), жильно-прожилковое окварцевание. Установлены шлиховые потоки и ореолы золота. В ассоциации с золотом в потоках рассеяния, ПО и ВОР развиты аномальные содержания Ag, Pb, Cu, и Bi; в шлихах – галенит, халькопирит, арсенипирит, пирротин и висмутовый минерал. Установлены промышленные россыпи Au. Выявлены единичные пункты золоторудной минерализации в углеродистых карбонатно-терригенных отложениях флишоидного строения.

Оценка прогнозных ресурсов рудного золота категории P_3 проведена с учетом коэффициента его геологического подобия (K_p 0,6) относительно расположенного юго-восточнее Хомолхинского рудного узла с удельной площадной продуктивностью в 0,5 т/км².

Общая площадь рудного узла составляет 1164,8 км², из них продуктивная – 600 км² (три ЗСРД шириной по 5 км и длиной по 40 км).

В итоге прогнозные ресурсы категории P_3 Кулебряникского ПРУ можно оценить как: 600 км²×0,5 т/км²×0,6=180 т, которые рекомендуются к постановке на учет в составе общей оценки по категории P_3 Бодайбинского рудного района.

Анангро-Аунакитский потенциально рудный узел (ПРУ) площадью 1059,5 км² расположен между Маракан-Тунгусским и Южно-Бодайбинским золоторуд-

ными узлами (см. рис. 6). Он сложен верхнерифейско-вендскими углеродистыми карбонатно-терригенными отложениями хомолхинской, имняхской аунакитской, вачской и анангрской свит. На восточном фланге ПРУ стратифицированные комплексы интродуцированы гранитоидным массивом верхнепалеозойского возраста. В структурном плане его площадь соответствует сложно построенному антиклинорию второго порядка.

Поисковая изученность на рудное золото площади потенциально рудного узла низкая, так как специализированных работ на рудное золото не проводилось. На площади проявлен комплекс критериев и признаков золотоносности, в том числе продуктивные на золотое оруденение разновозрастные углеродистые карбонатно-терригенные отложения флишоидного строения, пункты золоторудной минерализации, россыпи золота, зоны сульфидизации и метасоматитов различного состава с жильным окварцеванием, вторичные ореолы рассеяния золота. По данным предшественников на площади потенциально рудного узла выделены две ЗСРД с широко проявленными потенциально золотоносными гидротермально-метасоматическими процессами (бурошпатизация, сульфидизация и жильно-прожилковое окварцевание). Зоны трассируются вторичными ореолами рассеяния золота и мышьяка, шлиховыми ореолами и потоками золота.

Перечисленные выше признаки золотоносности указывают на возможность выявления здесь 2-х основных геолого-промышленных типов золотого оруденения: прожилково-вкрапленных золотосульфидно-кварцевых и прожилково-жильных золотокварцевых в углеродсодержащих литокомплексах флишоидного строения.

В пределах узла с учетом фрагментов выделенных ЗСРД оконтурены 3 потенциально рудных поля: Аунакитское – 170 км², Анангрское – 84 км², Глубокое – 110 км², перспективные на выявление рудных зон с оруденением жильно-прожилкового и прожилково-вкрапленного типов золотосульфидной, золотосульфидно-кварцевой и золотокварцевой рудной формаций, аналогичных месторождениям Ожерелье, Вернинское, Невское и др. в пределах Маракано-Тунгусского рудного узла и Кавказ, Копыловское, Большой Чанчик в Южно-Бодайбинском рудном узле.

Состав и строение минерализованных зон и вмещающих их углеродистых карбонатно-терригенных толщ флишоидного строения на площади Анангро-Аунакитского ПРУ указывают на их сходство с выбранными для оценки прогнозных ресурсов рудного золота эталонными площадями Хомолхинского, Южно-Бодайбинского и Маракано-Тунгусского рудных узлов с установленной промышленной золотоносностью.

Для оценки прогнозных ресурсов рудного золота категории P_3 площади Анангро-Аунакитского ПРУ авторы использовали усредненную удельную площадную продуктивность вышеупомянутых трех эталонных рудных узлов, которая составила $(0,5+1,75+0,315):3=0,85$ т/км².

Общая площадь ПРУ – 1059,5 км², а площадь выявленных к настоящему времени продуктивных ЗСРД с потенциально золотоносными метасоматитами – **364 км²**. При коэффициенте подобия геологического строения (Кп 0,5) Южно-Бодайбинскому рудному узлу прогнозные ресурсы рудного золота составят: 364 км² × 0,8 т/км² × 0,5 = 154,7 т (округленно **155 т**). Из них 16 т с содержанием золота 3,5 г/т числятся в Кадастре прогнозных ресурсов на площадь Аунакитского участка в распределенном фонде недр по состоянию на 01.01.2014 г.

В целом площадь ПРУ изучена недостаточно, здесь рекомендуется проведение комплекса поисковых работ масштаба 1:50 000 и детальнее с горными выработками.

Согласно уточненным требованиям, для оценки прогнозных ресурсов категорий P₂ и P₁ необходима информация о параметрах *рудных зон с рудными пересечениями, отвечающими заданным параметрам по мощности и содержанию золота*. Для этого на площади должен быть проведен комплекс поисковых геологических, геохимических, геофизических работ масштаба 1:25 000 и детальнее с горными работами на магистральных профилях через 400–200 м, а также масштаба 1:10 000 и детальнее с горными выработками на двух-трех профилях через 100–200 м для выявления рудных пересечений в минерализованных зонах. Такой комплекс работ был проведен сотрудниками ЗАО «Сибирская геологическая компания» («СибГК») в 2007–2009 гг. и совместными работами с ФГУП ЦНИГРИ в 2013–2015 гг.

В качестве примера оценки прогнозных ресурсов категорий P₁ и P₂ авторы приводят данные по их оценке в рудных зонах Светловского и Мало-Тунгусского рудных полей, расположенных на восточном фланге рудного узла.

Светловское рудное поле (см. рис. 6) сложено карбонатно-терригенными отложениями среднего рифея–венда, деформированными складчато-разрывными

дислокациям, контролирующими размещение золотоносных гидротермально-метасоматических образований железомagneзиально-карбонатного состава (бурошпатизации) и *березитоподобного состава* (серицит±мусковит, пирит±пирротин±арсенопирит±±доломит±анкерит±кварц) с жильным и жильно-прожилковым окварцеванием (минерализованные зоны Северная, Дорожная, Верхне-Тунгусская и др.). На аналогично построенном, но значительно менее описанном Мало-Тунгусском потенциально рудном поле выявлена минерализованная зона Дальняя с одноименным рудопроявлением.

Наиболее изучена центральная часть минерализованной **зоны Северная** (см. рис. 6). Здесь в 2013–2015 гг. горно-буровыми работами выявлены и прослежены по простиранию и падению в относительно пологом залегании три рудные зоны, в которых установлены рудные пересечения с содержаниями золота от 1,35–2,33 г/т на мощности 4,26–34,5 м. По результатам работ была проведена оценка прогнозных ресурсов, которые апробированы и поставлены на учет по состоянию на 1.01.2016 г.: в центральной части зоны длиной 1300 м по категории P₁ – **46 т**, на остальной части зоны длиной 2800 м по категории P₂ в количестве **84 т**. Кроме того, была проведена оценка прогнозных ресурсов рудного золота зоны Дорожная (P₁ – **9,0 т** и P₂ – **4,6 т** с содержанием 2,4 г/т) и зоны Верхне-Тунгусская (P₁ – **6,0 т** и P₂ – **3,6 т** с содержанием 2,4 г/т). Оценка проведена с учетом коэффициентов *рудности по мощности* – 0,39 (для оценки по категории P₁) и *линейной рудности* – 0,32 (для оценки категории P₂). В целом суммарная оценка составила по категориям P₂ – **92 т** и P₁ – **61 т**.

Оценка прогнозных ресурсов *зоны Дальняя* Мало-Тунгусского потенциально рудного поля по категории P₂ составила **16,9 т** с содержанием Au 2,4 г/т.

Проведенная укрупненная геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов рудного золота только в пределах Центральной, более изученной части рудной

2. Реализация прогнозных ресурсов категории P₃ рудного золота в запасы Бодайбинского рудного района по состоянию на 01.01.2016 г.

Металлогенические таксоны	Прогнозные ресурсы (т) категории P ₃ на 01.01.2015 г.	Реализовано в запасы категорий C ₁ +C ₂ (т)	Реализовано с переводом в условные запасы, т		Остаточные ресурсы (т) категории P ₃ на 01.12.2016 г.
			категория P ₁	категория P ₂	
Бодайбинский РР	6110	3422	329×0,5=164,0	256×0,25=64,0	2460
<i>В том числе:</i>					
1-Кулибриянский ПРУ	150	–	–	–	150
2-Хомолхинский РУ	450	136	10×0,5=5,0	30×0,25=7,5	280
3-Маракано-Тунгусский РУ	4725	3228 (с учетом запасов месторождения Сухой Лог)	307×0,5=153,5	174×0,25=43,5	1300
4-Анангро-Аунакитский ПРУ	155	–	–	–	155
5-Южно-Бодайбинский РУ	630	58	12×0,5=6,0	52×0,25=13,0	553

зоны Северная с оцененными прогнозными ресурсами категории P_1 показала возможность рентабельной отработки ожидаемых ресурсов открытым способом. При принятых проектных решениях и цене на золото освоение объекта может представлять коммерческий интерес.

По материалам статьи можно сделать следующие выводы. Оцененные, по предложенной методике, остаточные прогнозные ресурсы категории P_3 рудного золота апробированы в ЦНИГРИ по состоянию на 15.01.2016 г. и отражены в табл. 2. Примененный подход показал, что в нераспределенном фонде недропользования по состоянию на 01.01.2016 г. на площади Бодайбинского рудного района остаточные прогнозные ресурсы рудного золота категории P_3 , с учетом различных вариантов их оценки, составляют 2460–2438 т. По мнению авторов, остаточные прогнозные ресурсы категории P_3 рудного золота могут быть реализованы в полном объеме в ресурсы более высоких категорий с выявлением месторождений золотосульфидно-кварцевой и золотокварцевой рудных формаций в минерализованных зонах с метасоматитами железомagneзиально-карбонатного состава в сочетании с метасоматитами березитоидного состава в зонах складчато-разрывных дислокаций углеродисто-карбонатно-терригенных толщ флишеидного строения Бодайбинского рудного района.

Разница в оценке прогнозных ресурсов категории P_3 площади рудного района с усредненной удельной площадной продуктивностью (средняя из 5 рудных узлов) – 0,55 т/км² по отношению к сумме прогнозных ресурсов каждого из выделенных рудных узлов составила около 2%. Это связано с условностью оценок площадей продуктивных формаций и различной продуктивностью рудных узлов (от 0,315 до 1,75 т/км²). Последняя находится в прямой зависимости от степени опоскованности и разведанности рудных полей и месторождений, в том числе рудных полей с месторождениями Сухой Лог, Вернинское, Невское, Ожерелье и др.

Для оценки прогнозных ресурсов рудного золота категории P_2 согласно уточненным требованиям, необходима информация о параметрах минерализованных и рудных зон на площади рудного поля, опоскованного комплексом геологических, геохимических, геофизических работ в масштабе 1:25 000–1:10 000 и детальнее с горными выработками. Количественная оценка прогнозных ресурсов проводится методом прямого расчета с учетом выявленных параметров минерализованных с рудными пересечениями на двух–трех профилях (шаг 200×100 м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буряк В.А. Генетические типы и закономерности локализации золотого оруденения Ленского района // Вопросы геологии и золотоносности Ленского района (сборник статей). – Иркутск, 1969. С. 116–140.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации карта масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист0-500-Бодайбо. Пояснительная записка. – С-Пб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010.
3. Иванов А.И. Закономерности формирования линейной складчатости северной части Байкало-Патомского нагорья // Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Иркутск, 1984.
4. Иванов А.И. Рифейско-палеозойское эндогенное рудообразование северной части Байкало-Патомского нагорья // Тез. докл. «Геология, тектоника, петрология и рудоносность докембрия Сибирской платформы и ее обрамления». – Иркутск, 1987. С. 182–183.
5. Иванов А.И. Основные этапы рудообразования и металлогеническое районирование северной части Байкало-Патомского нагорья // Тез. докл. XI Всесоюзного металлогенического совещания «Металлогения Сибири». Т. II. – Новосибирск, 1987. С. 87–88.
6. Иванов А.И., Рязанов Г.В. Структурно-кинематический анализ Патомского прогиба. – Новосибирск: Наука, 1992.
7. Докембрий Патомского нагорья / А.И.Иванов, В.И.Лившиц, О.В.Перевалов и др. – М.: Недра, 1995.
8. Иванов А.И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014.
9. Конкин В.Д., Галямов А.Л., Ручкин Г.В. К методологии прогноза и поисков крупнообъемных месторождений золота в черносланцевых комплексах // Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири: материалы 2-й науч.-практ. конф. Т. 1 / Отв. ред. С.П.Зайцев. – Новосибирск: СНИИГиМС. 2015. С. 155–157.
10. Коткин В.В., Пачерский Н.В. Использование моделей месторождений рудного золота для прогноза и поисков в Ленском горно-промышленном районе // Прогноз, поиск, оценка рудных и нерудных месторождений – достижения и перспективы / Сб. тезисов докладов науч.-практ. конф. (20–22 мая 2008 г.). – М.: ЦНИГРИ, 2008. С. 108–109.
11. Металлогенический кодекс. – М.: Геокарт-ГЕОС, 2012. С. 30–31.
12. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Золото» / Отв. ред. Б.И.Беневольский. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
13. Методические рекомендации по комплексированию работ по прогнозированию и поискам золоторудных месторождений в терригенных толщах / Отв. ред. В.М.Яновский. – М.: ЦНИГРИ, 1984.
14. Методические указания по оценке, апробации и учету прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. – М., 1997.
15. Принципы, методы и порядок оценки прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Рекомендации межинститутской рабочей группы Роснедра / Под ред. А.И.Кривцова. – М.: ЦНИГРИ, 2010.
16. Российский металлогенический словарь. – С-Пб: ВСЕГЕИ, 2003.
17. Салон Л.И. Геология Байкальской горной области. Т. 2. – М.: Недра, 1967.
18. Термины и понятия, используемые при прогнозно-металлогенических исследованиях. – С-Пб, 1991.
19. Требования к результатам работ по поискам и разведке месторождений цветных и благородных металлов / Отв. ред. М.М.Константинов, А.И.Кривцов. – М.: ЦНИГРИ, 1983.