

## ГЕОЛОГИЯ РОДОВИЩ КОРИСНЫХ КОПАЛИН

УДК 553.411.071

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.07>М. Мизерная, канд. геол.-минералог. наук, доц.,  
E-mail: mizernaya58@bk.ru;

Г. Оразбекова, PhD, доц.,

E-mail: orazbekova@bk.ru;

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева,  
ул. Серикбаева, 19, г. Усть-Каменогорск, 070004, Казахстан;  
Б. Дьячков, д-р геол.-минералог. наук, акад. НАН РК, проф.,

E-mail: bdyachkov@mail.ru;

ТОО "Алтайский геолого-экологический институт", г. Усть-Каменогорск, Казахстан  
А. Мирошникова, PhD,

E-mail: anastasiya-2588@mail.ru;

Филиал "НЦ КПМС РК", "ВНИИцветмет",

ул. Промышленная, 1, г. Усть-Каменогорск, 070002, Казахстан;

В. Зацерковный, д-р техн. наук, проф.,

E-mail: vitalii.zatsekovnyi@gmail.com;

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,  
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, УкраинаМОДЕЛИРОВАНИЕ МАГМАТОГЕННЫХ РУДНЫХ СИСТЕМ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. В.А. Михайловим)

Посвящено результатам использования системного геологического моделирования при прогнозировании золоторудных месторождений на территории старейшего района золотодобычи в Республике Казахстан – Западно-Калбинского золоторудного пояса (Восточный Казахстан). Исследования направлены на разработку критериев прогноза и поисков новых рудных объектов в благоприятных геологических структурах. Основное внимание при проведении исследований было уделено системному анализу геологических факторов, взаимодействие которых обеспечивает синергетический эффект и выявление закономерностей формирования золоторудных объектов. Для решения этой задачи авторами произведена количественная оценка устойчивости развития рудогенерирующих элементов системы по методике С.В. Васильева.

Количественная оценка устойчивости отдельных факторов и их взаимодействия позволили оценить качественное состояние отдельных участков и определить естественные границы площадей соответствующего иерархического уровня, перспективных на поиски месторождений определенного полезного ископаемого.

Были проведены работы по выделению площадей, перспективных на поиски месторождений, на основе количественной оценки устойчивости отдельных факторов. С использованием геологических материалов, результатов геофизических работ, космогеологических данных произведена локализация перспективных площадей в пределах Западно-Калбинской структурно-формационной зоны и Жумбинской рудно-магматической системы в Восточном Казахстане.

Ключевые слова: рудно-магматическая система, золото, месторождение, оценка устойчивости геологических факторов.

**Постановка проблемы.** Рассматриваемая в данной статье Западно-Калбинская металлогеническая зона относится к северо-западному сектору Центрально-Азиатского подвижного пояса, тектоническое строение и эволюция которого была охарактеризована в работах (Mizernaya et al., 2018; Los, 2015; Rafailovich, 2009). Западно-Калба является лидером по потенциалу золота среди складчатых поясов Казахстана. Ее окончательное формирование как геологической структуры проходило в позднем палеозое в результате коллизии Казахстанского и Алтае-Монгольского палеоконтинентов. В строении данной территории участвуют отложения *алевролитовой аспидной* формации  $D_3fm_{1-2}$ , *базальтовая известняково-терригенно-кремнистая* формация фамена и ранневизейские образования представлены *известняково-песчаниково-алевролитовой* формацией. Отложения перекрываются флишовой *углеродисто-известково-терригенной* формацией ( $C_{1V2-3}$ ) мощностью 500 м и граувакковой *алевролитово-песчаниковой* формацией ( $C_{1s}$ ) (Mizernaya et al., 2017).

Среди интрузивных образований к наиболее древним относятся протрузии серпентинитов, приуроченные к зоне Чарско-Горностаевского глубинного разлома. С девонским вулканизмом связаны базитовые субвулканические тела и дайки. В период коллизии внедрились малые интрузии и дайки (*габбронорит-диабазовая* формация, карабиружский комплекс  $C_{2-3}$ ) и *плагиоогранит-гранодиоритовая* формация (кунушский комплекс  $C_3$ ), с которой связано золото-кварцевое и зо-

лото-сульфидно-кварцевое оруденение. Рудоконтролирующими являются системы северо-западных и широтных глубинных разломов (Чарско-Горностаевский, Западно-Калбинский, Кызыловский и др.), а также северо-восточные и меридиональные разломы, фиксируемые по геолого-геофизическим данным и дешифрированию космоснимков (Rafailovich, 2013). В пределах Западно-Калбинского золоторудного пояса обнаружено более 450 золоторудных месторождений и проявлений, однако многие из них изучены недостаточно и требуют постановки более детальных исследований. Проблема изучения золоторудных объектов на данной территории заключается в том, что хорошая геологическая изученность определяет низкую вероятность обнаружения новых месторождений, и основной задачей прогнозирования является "разбраковка" известных золоторудных объектов с целью выявления из их числа потенциальных крупных месторождений, требующих доразведки.

**Анализ последних исследований и публикаций.**

Большой вклад в изучение золоторудной металлогении региона внесли многие специалисты и научные сотрудники различных организаций (Ф.С. Подсеваткин, А.Я. Котов, Ю.А. Овечкин, В.И. Наливаев, В.В. Масленников, Н.И. Бородаевский, К.Р. Рабинович, В.И. Старов, Н.А. Фогельман, В.А. Нарсеев, В.А. Глоба, А.М. Мыслик, В.Д. Борцов, В.Н. Любечский, А.Ф. Коробейников, М.С. Рафаилович, Х.А. Беспяев, Г.Н. Щерба, Н.В. Полянский, Б.А. Дьячков, М.А. Мизерная, В.Н. Майоров,

Ю.А. Антонов, А.А. Шатобин и др.). Основные результаты исследований прошлых лет отражены в многочисленных публикациях (Chekalin, D'yachkov, 2013; Mizernaya et al., 2018; Los, 2015; Rafailovich, 2009, 2013; Dolgoplova et al., 2015 и др.).

Прогнозные металлогенические исследования в регионе проводились в разные годы, в том числе авторами данной статьи, что отражено в работах (Mizernaya et al., 2018; Bespaev et al., 2013; Korobeinikov, 2011; Rafailovich, 2013). В качестве основных факторов локализации золотого оруденения в разные годы рассматривались геотектонические, литолого-стратиграфические, магматические, метаморфические, структурно-тектонические, минералого-геохимические и геофизические критерии. На основании обобщения геолого-геофизических материалов были разработаны основные типы моделей: структурно-металлогенические, полифакторные и геолого-генетические. Первые относятся к моделям объемного строения структурно-формационных зон и могут уточнить распределение оруденения в разрезе рудных поясов и металлогенических зон. Полифакторные модели рудных узлов и рудных полей учитывают тектоническую позицию в пределах структурно-формационных зон, особенности тектоники и ее связь с локализацией рудных месторождений, геофизические и геохимические характеристики и т.д. Третий тип представляет собой модели типовых месторождений и содержит характеристики рудовмещающих структур, параметры и форму рудных тел, геофизические характеристики рудных полей, зоны метаморфических преобразований пород, вещественный состав руд, их геолого-промышленные типы и основные этапы рудообразования (Tomson, 1988, с. 143).

**Выявление нерешенных ранее частей общей проблемы.** Все эти модели характеризуются различной степенью наполнения и достоверности геологической информации, что в результате, по мнению авторов, приводит к снижению результатов прогнозных построений. По представлениям ряда исследователей (Vasilyev, 1990; Mykhailov, 2019; Tretyakov, 2009) парадигмой современного прогнозирования должны являться представления о формировании месторождений в процессе развития рудообразующих систем. Структурные и статистические связи между элементами геологического пространства и месторождениями должны при этом интерпретироваться как закономерности размещения полезных ископаемых, на которых базируются вероятностные прогнозные построения.

Опыт прогнозных исследований свидетельствует об отсутствии доминантных факторов развития рудообразующих систем и размещения месторождений. В связи с этим, на основании представлений о взаимосвязи формирования месторождений с процессами эволюции недр, необходимым элементом прогноза является изучение и моделирование самоорганизующихся рудообразующих систем.

По представлению (Vasilyev, 1990; Mykhailov, 2019; Tretyakov, 2009), применительно к прогнозированию полезных ископаемых, важными методологическими правилами являются: учет автономности рудообразующих систем относительно вещественно-структурных особенностей геологической среды; отказ от концепции наличия "доминантных факторов" формирования и размещения рудных объектов. Представления об однотипности рудоконтролирующих структур согласуются с данными о принципиальной схожести геологических факторов, определяющих размещение золоторудных полей различных регионов мира. По мнению (Tomson, 1988), локальные площади развития эндогенного оруденения контролируются однотипными по своей природе

наложенными тектоно-магматическими структурами очагового характера. К ним относятся ареалы развития малых интрузий и ювенильные магматические флюиды по (Marakushev, 1983). Эти факторы инвариантны для различных этапов развития золоторудных провинций: сводообразования (Северный Казахстан, Васильковское месторождение); коллизионного (Бакырчик, Секисовка); позднеорогенного (Южный Тянь-Шань); тектоно-магматической активизации (Даурская зона); формирования зеленокаменных трогов (Канада, Зимбабве) (Tomson, 1988, с. 123). Авторами статьи была использована методика количественной оценки устойчивости развития рудогенерирующих элементов рудно-магматических систем (Letnikov, 1998).

Таким образом, взаимодействие ограниченного количества эндогенных геологических факторов приводит к формированию промышленных скоплений рудного вещества (месторождения), то есть к возникновению качественно нового образования, которого каждый из факторов в отдельности произвести не в состоянии. Подобное сочетание элементов литосферы в современном понимании – магматогенная рудная система, обладающая общими свойствами, не вытекающими из суммы свойств ее частей. В связи с этим ее реконструкция должна проводиться на основе методологии системного анализа. По представлениям Ф.А. Летникова, этим условиям наиболее всего отвечает направление системного анализа, рассматривающее геологическое пространство как пространственно-временной континуум, развитие которого обусловило формирование месторождений.

**Формулирование целей статьи.** Основная цель данной статьи – обоснование применения высокоэффективных прогнозных исследований для укрепления потенциала минерально-сырьевой базы Казахстана на золото. Предполагалось, что использование методики системного анализа позволит выделить набор геологических факторов, которые приводят к выявлению закономерностей формирования золоторудных объектов. Была предпринята попытка выделить площади, перспективные на поиски месторождений на основе количественной оценки устойчивости отдельных факторов.

**Изложение основного материала исследований.** В рамках данной методики, при выборе элементов количественной устойчивости показателей разной ранговости, нами проводились следующие исследования. В первую очередь проведена систематизация имеющихся материалов по геологическому строению, магматизму, тектоническим условиям формирования, особенностям рудной минерализации разнотипных золоторудных месторождений района. В дальнейшем это позволило выделить эталонные объекты, принадлежащие к различным геолого-минералогическим и геолого-промышленным типам. Была проведена оценка перспектив изучаемого района (на площади около 10 тыс. км<sup>2</sup>) с выделением перспективных площадей ранга рудных узлов. Далее, на площадях ранга рудных узлов были проведены исследования с определением более детальных площадей ранга рудных полей и произведена типизация рудовмещающих очаговых магматогенно-рудных систем, определяющих локализацию золотого оруденения. Это в итоге позволило составить схематические карты прогноза золоторудных месторождений на площади изученного района с количественной оценкой прогнозных ресурсов золота.

Принципиальная схожесть геологических факторов, определяющих размещение золоторудных месторождений и повторяемость геологических процессов в истории Земли (Mykhailov and Tots, 2018), определяют чрез-

вычайно важный тезис о том, что прогнозные процедуры, ориентированные на определенное полезное ископаемое, должны проводиться в границах региональных зон, геохимически (металлогенически) специализированных на это полезное ископаемое.

Можно сделать вывод, что металлогенические зоны представляют собой геохимически специализированный объем геологического пространства, сформированный на протяжении нескольких эпох рудогенеза. Промышленные месторождения одного полезного ископаемого, расположенные в его пределах, могут быть разновозрастными, коррелироваться с различными магматическими комплексами и принадлежать разным рудным формациям, что позволяет вовлекать в прогнозные исследования конкретные магматические образования определенного возраста и вещественного состава, сформированные в определенных тектонических циклах и эпохах.

В связи с этим была произведена реконструкция разновозрастных рудообразующих систем, выявление закономерностей размещения крупных золоторудных месторождений в системах разного уровня и выделение перспективных площадей и участков на основании установленных закономерностей.

Как было сказано выше, основными геологическими факторами, определяющими размещение золоторудных месторождений, были определены ареалы развития малых интрузий пестрого состава, узлы пересечения продольных и поперечных разломов, обеспечивающие наиболее проницаемые области и пути миграции ювенильных сквозьмагматических флюидов (Dolgoplova, 2015). Эти элементы разделяются на три класса: рудогенерирующие, рудоподводящие и рудовмещающие (рудолокализирующие).

Рудогенерирующими представляются: собственно магматический процесс и парагенетически связанный с ним процесс привноса полезного компонента сквозь магматическими флюидами. Реконструкция и визуализация проявления этих процессов возможна путем изучения и структурирования продуктов их деятельности – интрузивных образований и золоторудных рудопоявлений и месторождений. Рудоподводящими являются глубинные разломы различной ориентации. К рудовмещающим (рудолокализирующим) относятся зоны пликативной и дизъюнктивной тектоники, развитые в пределах рудного поля.

Основное внимание отводится расшифровке структуры размещения и обоснованию совокупности геологических факторов, системное взаимодействие которых обеспечивает синергетический эффект и возможность выявления закономерностей расположения "эталонных объектов" в системе. Для решения этой задачи авторами произведен расчет количественной оценки устойчивости развития рудогенерирующих элементов путем вычисления "меры устойчивости". "Мера устойчивости" понимается как категория, отображающая количественную оценку качественного различия геологической ситуации участков с разной плотностью развития рудогенерирующих факторов. Для ее расчета авторами данной работы использована методика, предложенная С.В. Васильевым и апробированная А.В. Третьяковым при проведении прогнозных исследований на золоторудные объекты на Северо-Востоке Азии и при изучении закономерности размещения россыпей Казахстана (Tretyakov, 2009).

Сущность этой методики заключается в преобразовании ноль-единичной картографической геологической информации (есть признак – нет признака) в относительную безразмерную количественную величину – меру

устойчивости развития фактора. Она вычислена с помощью палетки путем подсчета фактов "наличия–отсутствия" проявления оцениваемого фактора в элементарной ячейке площадью 4 км<sup>2</sup> и ближайшей окрестности каждой ячейки (окрестность включает 8 таких же элементарных ячеек). Значения меры изменяются от "0" до "9".

По результатам выделены продуктивные интервалы меры, интерпретированные затем как перспективные площади. Они соподчинены золотоносным поясам, вложены в них и иерархически отвечают рудным узлам. Результаты прогнозных исследований визуализированы на картах размещения перспективных золоторудных узлов на площади Западно-Калбинского золоторудного пояса (картах прогноза золотоносности) (рис. 1).

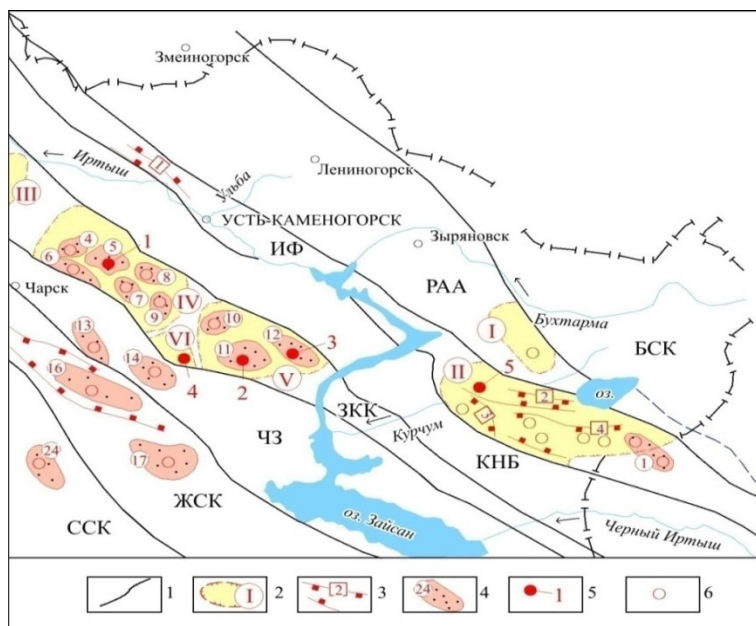
Данные (Pankratova et al., 2010; Naumov et al., 2014) показывают, что золотое оруденение преимущественно локализовано в пределах Западно-Калбинско-Коксентауской и Иртыш-Фуянской структурных зон (СЗ) и определяет их геохимическую специализацию – то есть задача выделения специализированных на золото региональных геохимических зон решена предшествующими исследователями.

Как видно (рис. 1), наибольшие масштабы золотоносности приурочены к Западно-Калбинскому золоторудному поясу. В Западно-Калбинском золоторудном районе наблюдается отчетливая иерархичность размещения объектов: рудный район – рудный узел, что свидетельствует о формировании соподчиненных диссипативных структур (рудные узлы) в процессе эволюции геологических структур более высокого порядка (рудные районы). В этом районе сконцентрировано наибольшее значительное количество месторождений и расположено уникальное месторождение Бакырчик (Antonov, 2010).

Как видно, размещение даек и малых интрузий в пределах изучаемого отрезка Западно-Калбинской зоны имеет явно выраженный очагово-поясовый характер. В целом они образуют пояс северо-западного простирания, конформный простиранию основных структур (Antonov, 2017).

В пределах пояса выделяются три "сегмента". В западной части выделяется две субпараллельные зоны северо-западного простирания, в пределах которых распределение даек и малых интрузий имеет очаговый характер с мерой устойчивости, достигающей "9" в локальных структурах. Восточнее дайки и малые интрузии образуют единый пояс с изрезанными границами и сложным внутренним строением. На этом отрезке, на юго-западном фланге Западно-Калбинской зоны, развит наиболее масштабный узел концентрации магматических образований с устойчивостью до "9", соответствующий, заключенному в зонах Чарского и Баладжальского разломов, Буконьско-Мариновскому поясу даек и малых интрузий, выделенному (Rafailovich, 2013). Восточнее этого узла магматические образования образуют фактически единую зонально-узловую систему.

В структуре описываемых образований отчетливо проявлена иерархичность и соподчиненность локальных очагов с высокой устойчивостью меры, которые "вложены" в области, менее насыщенные магматическими образованиями. По особенностям распределения устойчивости в границах локальных структур подчиненные структуры разделены на бимодальные (две локальные структуры на своде одной) и одномодальные, характеризующиеся постепенным нарастанием меры с одним экстремумом во внутренних частях.



**Рис. 1. Западно-Калбинский золоторудный пояс:**

- 1 – границы структурных зон (БСК – Белоубинско-Сарымсакты-Куртинская; РАА – Рудноалтайско-Ашалинская; ИФ – Иртыш-Фуеньская; КНБ – Калба-Нарым-Бурчумская; ЗКК – Западно-Калба-Коксентауская; ЧЗ – Чарско-Зимунайская; ЖСК – Жарма-Саур-Харатунгская; ССК – Сиректас-Сарсазан-Кобукско-Эртайская);
- 2 – рудные районы; 3 – рудные зоны; 4 – рудные узлы; 5 – "эталонные" месторождения (1 – Бакырчик, 2 – Джумба, 3 – Кулуджун, 4 – Балажал, 5 – Маралиха); 6 – прочие золоторудные месторождения.
- Распределение золотого оруденения (СЗ): РАА: рудный район: I – Маймырский. ИФ: рудный район: II – Курчум-Кальджирский; рудные зоны: 1 – Полеваевско-Предгорненская, 2 – Лотошно-Маралихинская, 3 – Приреченско-Кыстав-Курчумская, 4 – Кальджир-Алкабекская; рудный узел: 1 – Манка-Долоносайский. ЗКК: рудные районы: III – Мукурский, IV – Бакырчикский, V – Кулуджунский, VI – Баладжальский; рудные узлы: 4 – Эспе, 5 – Бакырчик,
- 6 – Сарытау, 7 – Казан-Чункур, 8 – Канайка, 9 – Жантас, 11 – Джумба, 12 – Кулуджун. ЧЗ: рудные узлы: 13 – Аюжал-Боконский, 14 – Ашалы. ЖСК: рудная зона: 6 – Максут-Петропавловская; рудные узлы: 16 – Аргимбай, 17 – Арсеньевское. ССК: рудный узел: 24 – Ащису

Распределение "эталонных объектов" относительно описанной структуры даек и малых интрузий имеет закономерный характер. Так, месторождение Бакырчик локализовано в интервале меры 4, а Кызыловская зона (рассматриваемая автором как гигантская рудолокализирующая структура) охватывает интервалы меры от 4 до 7; при этом как месторождение Бакырчик, так и Кызыловская зона располагаются в сводовой части подчиненной очаговой структуры бимодального типа. Месторождение Балажал приурочено к градиентной зоне крупной бимодальной магматогенной структуры и охватывает интервалы значений меры 3, 4. Месторождение Жумба расположено в градиентной зоне и сводовой части бимодальной структуры с максимальным значением меры 6, его рудное поле охватывает интервал значений меры от 1 до 6.

Можно сделать вывод, что размещение эталонных объектов относительно структуры даек и малых интрузий подчинено только структурной закономерности, которая заключается в том, что все они приурочены к локальным диссипативным очаговым структурам, располагаясь либо в их сводовой части (Бакырчик, Жумба), либо в градиентной зоне (Баладжал, Жумба, Кулуджун) (рис. 2).

Таким образом, в пределах Западно-Калбинского золоторудного пояса произведена реконструкция магматогенно-рудных структур регионального уровня, позволявшая выделить перспективные площади ранга рудных узлов. Это дало возможность далее выделить перспективные площади ранга рудных полей.

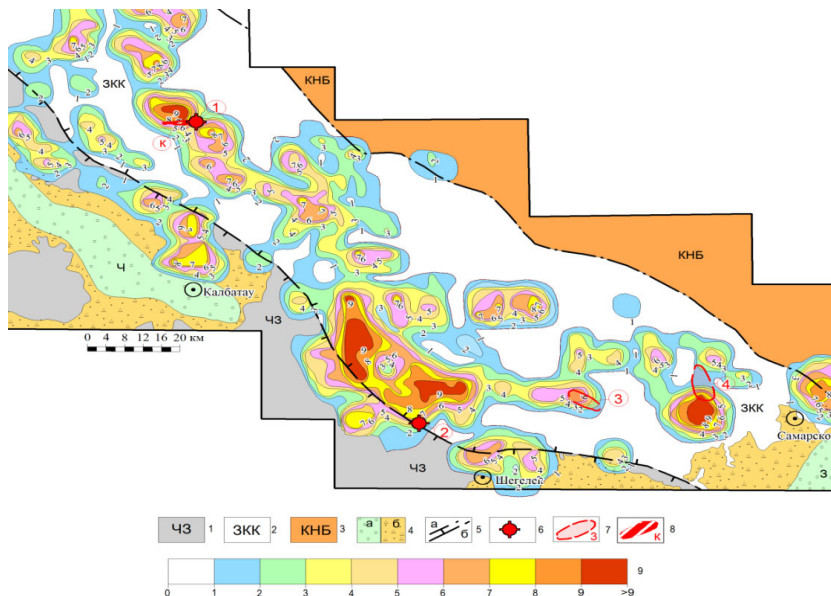
**Выделение перспективных площадей ранга рудных полей.** На примере Жумбинской магматической рудной системы (МРС) произведена локализация перспективных площадей в категории рудных полей и месторождений. На основании исследований, с использованием

геологических материалов масштаба 1 : 200 000, в качестве рудогенерирующих факторов выделены структуры размещения малых интрузий разного состава и золоторудных объектов; в качестве рудоподводящих элементов – системы глубинных разломов, сутурные зоны и зоны смятия, выделенные по космогеологическим данным. Реконструкция МРС Жумбинского рудного поля в региональном плане позволила выделить локальные перспективные площади ранга рудных узлов.

Жумбинская рудная зона расположена на восточном фланге Западно-Калбинской зоны, (месторождения Жумба, Варяг, Федор-Ивановское и несколько рудопроявлений). Площадь сложена туфопесчаниками средней толщи серпуховского яруса с прослоями алевролитов. На поверхности магматические образования отсутствуют, результаты же интерпретации геофизических полей свидетельствуют о наличии нескрытых интрузий гранитоидного состава (Korobeinikov, 2011). В пределах рудной зоны проявлены метасоматические образования (обохренность зоны окисления сульфидизированных пород и пиритизация). Кварцево-жильные тела компактно группируются в пяти узлах, с четырьмя из которых связаны известные месторождения золота (Жумба, Варяг, Федор-Ивановское, Свистун). На первом этапе проведены процедуры структурирования метасоматически измененных пород и кварцевожильных тел. Установлено, что размещение гидротермально-метасоматических образований и золоторудных месторождений в ней подчинено трем радиально ориентированным зонам, что подчеркивает ее глубинный очаговый характер (рис. 3, а). Наиболее обширный ареал метасоматически измененных пород фиксирует площадь гидротермально-рудной системы (рудного узла). Во внутренних частях всех "лучей" сформированы диссипативные

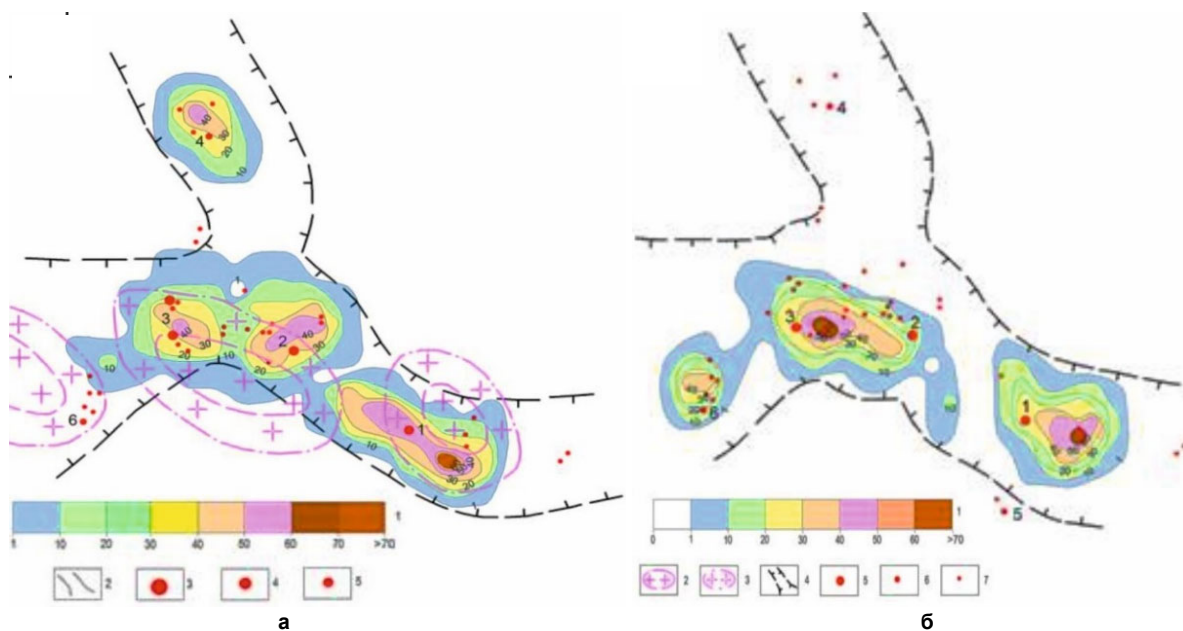
структуры с максимальными значениями меры устойчивости, что свидетельствует о наличии "центров" интенсивного проявления метасоматических процессов. В ядерной части структуры расположено наиболее масштабное поле кварцево-жильных образований. Известные месторождения и перспективные рудопроявления в структуре метасоматических образований локализованы в областях значений меры 4–6, площадь которых составляет 33 км<sup>2</sup> или 40,5 % от общей площади метасоматитов. Кварцево-жильные тела менее значительны.

Площадь их развития составляет 50,5 км<sup>2</sup>. Они локализованы преимущественно во внутренних частях метасоматитов. Анализ геологического материала в совокупности с результатом статистических данных показывает, что все месторождения описываемой РМС локализованы на участках совместного устойчивого развития метасоматических образований и кварцево-жильных тел, что рассматривается в качестве мультипликативного показателя их размещения (рис. 3, а).



**Рис. 2. Структура размещения даек и малых интрузий разного возраста, основного, среднего и кислого состава на площади Западно-Калбинского района и положение в ней "эталонных" месторождений (составила Г.Б. Оразбекова):**

- 1–3 – структурные зоны: 1 – Чарско-Зимунайская, 2 – Западно-Калба-Коксентауская, 3 – Калба-Нарым-Бурчумская;  
 4: а – неотектонические впадины длительного развития: Ч – Чарская, З – Зайсанская, б – покров пролювиальных отложений;  
 5 – граничные глубинные разломы ЗКК: а – Теректинский, б – Чарско-Горностаевский;  
 6 – эталонные золоторудные месторождения (1 – Бакырчик, 2 – Баладжал); 7 – золоторудные поля эталонных месторождений (3 – Жумбинское, 4 – Кулуджунское); 8 – Кызыловская зона (К);  
 9 – интервалы значений меры устойчивости структуры даек и малых интрузий



**Рис. 3. Структуры совместного развития метасоматитов, кварцевых жил и скрытых интрузий:**

- а – структура совместного развития кварцево-жильных тел и метасоматических образований на площади Жумбинской зоны:  
 1 – интервалы значений меры устойчивости; 2 – экзоконтактовая область воздействия нескрытых интрузий гранитоидов, оконтуренная по значению "1" меры устойчивости; 3 – нескрытые интрузии гранитоидов по геофизическим данным;  
 4 – границы гидротермально-рудной системы. б – структура совместного развития кварцево-жильных тел и интрузивных образований на площади Жумбинской зоны: 1 – интервалы значений меры устойчивости, выделенных по геофизическим данным;  
 2 – границы магматогенно-рудной системы. Остальные условные обозначения – см. рис. 3, а

Площадь устойчивого совместного развития этих образований составляет 43,7 км<sup>2</sup> или 14,7 % от площади рудного узла. Анализ распределения золоторудных объектов разных масштабов показывает, что они локализованы в областях интервалов значения меры более 20, что составляет 13,5 км<sup>2</sup> или 30,9 % от площади совместного развития этих образований тел и соответственно 4,5 % от площади рудного узла.

Важным элементом модели рудоносной системы являются интрузивные образования.

Для оценки закономерности размещения рудных тел и гранитоидов рассчитана мера их устойчивой совместности (рис. 3, б). Наиболее масштабные золоторудные объекты, локализованные в областях интервалов значения меры более 20 (на площади 10,8 км<sup>2</sup>), были выделены как перспективные прогнозные участки. По результатам построений перспективы прогнозирования золоторудных объектов Жумбинской рудной зоны связаны с тремя площадями, каждая из которых рассматривается в ранге рудного поля (Жумбинская, Варяг-Федор-Ивановская и Новая в районе рудопроявления № 15 (рис. 3), на которых наиболее вероятно выявление нового золоторудного месторождения.

**Выводы.** Таким образом, по результатам исследования на региональном и локальном уровнях выявлены общие закономерности и принципы формирования РМС. В пределах Западно-Калбинского золоторудного пояса в результате реконструкции магматогенно-рудных структур регионального уровня, с применением методов системного анализа, были выделены перспективные площади ранга рудных узлов и рудных полей. На примере изучения Жумбинской рудной зоны реконструирована конкретная рудно-метасоматическая система в надинтрузивной зоне скрытого гранитоидного массива. Начальные этапы ее развития фиксируются обширными полями ороговикования, зонами пиритизации и ожелезнения вмещающих пород. Интенсивность проявления метасоматических процессов и кварцево-жильных тел неравномерная с образованием локальных узлов, вызванная обособленностью очагов рудоносных силикатных расплавов на заключительных этапах рудообразования. Локализация золотого оруденения происходила на всех стадиях формирования рудной системы, о чем свидетельствует наличие в рудах свободного золота и золота, связанного с сульфидами. В итоге исследования выделены перспективные площади в рангах рудных узлов для поиска новых золоторудных месторождений.

#### Список использованных источников

- Антонов, Ю.А. (2010). О некоторых структурно-литологических факторах контроля золотого оруденения месторождения Большевик в Восточном Казахстане. *Геология и охрана недр*, 2, 15–26.
- Антонов, Ю.А. (2017). Некоторые особенности локализации богатых руд месторождения Бакырчик (Восточный Казахстан). *Геология и охрана недр*, 2(63), 16–25.
- Беспяев, Х.А., Любецкий, В.Н., Любецкая, Л.Д., Муканова, А.Е. (2013). Особенности металлогении Западно-Калбинского золотоносного пояса. *Известия НАН РК, серия геологии и технических наук*, 5, 13–20.
- Васильев, С.В. (1990). Прогнозирование на основе системно-информационного подхода. *Компьютерный прогноз месторождений полезных ископаемых*, 208–225.
- Коробейников, А.Ф. (2011). Научные основы прогнозно-минералогических и поисковых исследований на благороднометалльное оруденение. *Известия Томского политехнического университета*, 318, 1, 14–22.
- Летников, Ф. (1992). Синергетика геологических систем. Новосибирск: Наука.
- Лось, В.Л. (2015). Проблемы и задачи прогнозирования рудных объектов. *Геология и охрана недр*, 2(55), 66–75.
- Михайлов, В.А. (2019). Рудно-магматична система Sukumaland (Танзанія). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 1(84), 34–41.
- Михайлов, В.А., Тоц, А. (2018). Новый Золоторудный район в Танзании. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 3(82), 55–59.

Наумов, Е.А., Калинин, Ю.А., Ковалев, К.Р. и др. (2014). Золоторудные месторождения Восточного Казахстана в углеродистых терригенно-карбонатных комплексах и их изотопно-геохронологические характеристики. Гигантские месторождения золота Центральной Азии. Укрепление золоторудного потенциала Казахстана. *Материалы Международного симпозиума, Алматы*, 123–129.

Панкратова, Н.Л., Павлова, З.Н., Степаненко, Н.И. (2012). Золотоносные углеродистые тектоносланцы и перспективы Кулджунского рудного поля (Западная Калба). *Науки о Земле в Казахстане. МГК-34*, 270–280.

Рафаилович, М.С. (2013). Геология золота Центральной Азии: эволюция оруденения, метасоматические формации, эксплозивные брекчии. Алматы.

Третьяков, А.В. (2009). Формирование, закономерности размещения и перспективы россыпной золотоносности Востока Казахстана. Алматы.

Chekalin, V. M., D'yachkov, B. A. (2013). Rudny Altai base-metal belt: Localization of massive sulfide mineralization. *Geology of ore deposits*, 55, 6, 438–454.

Dolgoplova, A., Seltmann, R. et al. (2015). Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Vasilkovskoye Gold Deposit (North Kazakhstan). *Mineral resources in a sustainable world*, 1–5, 77–80.

Mizernaya, M., Dyachkov, B., Miroshnikova, A. et al. (2017). Large sulfide-quartz stockwork gold deposits of kazakhstan - formation conditions and predicting criteria. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3, 82–88.

Mizernaya, M., Seltmann, R., Miroshnikova, M. et al. (2018). Geological and geochemical models of gold stockwork deposits in intrusive plutons of north and East Kazakhstan. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan-series of geology and technical sciences*, 2, 134–140.

Rafailovich, M. (2009). Gold deposits of Kazakhstan: geology, metallogeny, exploration models. *Almaty*.

#### References

- Antonov, Yu.A. (2010). About some structural-lithologic factors of gold ore control at Bolshhevik deposit in East Kazakhstan. *Geologiya i ohrana nedr*, 2, 15–26. [in Russian]
- Antonov, Yu.A. (2017). Some peculiarities of rich ores localization at Bakyrchik deposit (East Kazakhstan). *Geologiya i ohrana nedr*, 2(63), 16–25. [in Russian]
- Bespaev, Kh.A., Lyubetsky, V.N., Lyubetskaya, L.D., Mukanova, A.E. (2013). Peculiarities of metallogeny of West-Kalba gold ore belt. *News of NAS RK, geology and technical sciences series*, 5, 13–20.
- Chekalin, V.M., D'yachkov, B.A. (2013). Rudny Altai base-metal belt: Localization of massive sulfide mineralization. *Geology of ore deposits*, 55, 6, 438–454.
- Dolgoplova, A., Seltmann, R. et al. (2015). Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Vasilkovskoye Gold Deposit (North Kazakhstan). *Mineral resources in a sustainable world*, 1–5, 77–80.
- Korobeynikov, A.F. (2011). Scientific basis of prognostic-mineralogical and prospect-level surveys on precious metal ore. *News of Tomsk polytechnic university*, 318, 1, 14–22. [in Russian]
- Letnikov, F.A. (1992). Synergetics of geological systems. *Novosibirsk: Nauka*. [in Russian]
- Los, V.L. (2015). Problems and aims of ore objects forecasting. *Geologiya i ohrana nedr*, 2 (55), 66–75. [in Russian]
- Mizernaya, M., Dyachkov, B., Miroshnikova, A. et al. (2017). Large sulfide-quartz stockwork gold deposits of Kazakhstan - formation conditions and predicting criteria. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3, 82–88.
- Mizernaya, M.A., Seltmann, R., Miroshnikova, M.P. et al. (2018). Geological and geochemical models of gold stockwork deposits in intrusive plutons of north and East Kazakhstan. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan-series of geology and technical sciences*, 2, 134–140.
- Mykhailov, V. (2019). Ore – magmatic system Sukumaland (Tanzania). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(84), 34–41.
- Mykhailov, V., Tots, A. (2018). A new gold ore region in Tanzania. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(82), 55–59.
- Naumov, E.A., Kalinin, Yu.A., Kovalev, K.R. et al. (2014). Gold ore deposits of East Kazakhstan in carbonic terrigenous-carbonate complexes and their isotopic-geochronological characteristics. Giant fields of Central Asian gold. *Materials of international symposium*, *Almaty*, 123–129. [in Russian]
- Pankratova, N.L., Pavlova, Z.N., Stepanenko, N.I. (2012). Gold-bearing carbonic tectonoshales and potential of Kuldzhun ore field (West Kalba). *Earth sciences in Kazakhstan. MGK-34*, 270–280. [in Russian]
- Rafailovich, M.S. (2009). Gold deposits of Kazakhstan: geology, metallogeny, exploration models. *Almaty*.
- Rafailovich, M.S. (2013). Geology of Central Asian gold: ore evolution, metasomatic formations, explosive breccia. *Almaty*. [in Russian]
- Tret'yakov, A.V. (2009). Formation, location regularities, and potential of alluvial gold mineralization of East Kazakhstan. *Almaty*. [in Russian]
- Vasilyev, S.V. (1990). Forecasting based on system-informational approach. Computer projections of mineral deposits. M.: Nedra, pp. 208–225. [in Russian]

Надійшла до редколегії 01.06.2020

M. Mizernaya, Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof.,  
E-mail: mizernaya58@bk.ru;  
G. Orazbekova, PhD, Assoc. Prof.,  
E-mail: orazbekova@bk.ru;  
Department of Geology and Mining,  
East Kazakhstan State Technical University named after D. Serikbayev;  
B. Dyachkov, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Academician of the NSA of RK, Prof.,  
E-mail: bdyachkov@mail.ru;  
LLP "Altaiskiy Geologic-Ecological Institute", Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan;  
A. Miroshnicova, PhD,  
E-mail: anastasiya-2588@mail.ru;  
Department of the National Center of Complex Processing of Mineral's raw materials, "VNII tsvetmet",  
1 Promishlennaya Str., Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan;  
V. Zatskovnyi, Dr. Sci. (Tech.),  
E-mail: vitallii.zatskovnyi@gmail.com;  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,  
90 Vasilkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

## MODELING OF ORE-MAGMATIC SYSTEM OF GOLD DEPOSITS IN EASTERN KAZAKHSTAN

*The article is devoted to the results of using system-defined geological modeling for forecasting gold deposits on the territory of the oldest gold mining region in the Republic of Kazakhstan – the West Kalba gold belt (East Kazakhstan). Research is aimed at developing forecast criteria and searches for new ore objects in favorable geological structures. The main attention of the conducted research was focused on a system-defined analysis of geological factors, the interaction of which provides a synergy effect and reveals the patterns of formation of gold ore objects. To solve this problem, the authors made a quantitative assessment of the development sustainability of the ore-generating elements of the system according to S.V. Vasiliev methodology.*

*A quantitative assessment of the stability of individual factors and their interaction made it possible to assess the qualitative state of individual sections and define the natural boundaries of the areas of the corresponding hierarchical level, promising for the search of certain mineral deposits.*

*The specific work was carried out to define the areas promising for the search of deposits based on a quantitative assessment of the individual factors stability. Using geological materials, results of geophysical work, space-geological data, the localization of promising areas within the West Kalba structural-formation zone and the Zhumba ore-magmatic system in East Kazakhstan was done.*

*Keywords: ore-magmatic system, gold, deposit, assessment of the geological factors stability.*

М. Мізерна, канд. геол.-минералог. наук, доц.,  
E-mail: mizernaya58@bk.ru;  
Г. Оразбекова, PhD, доц.,  
E-mail: orazbekova@bk.ru;  
Східно-Казахстанський державний технічний університет ім. Д. Серікбаєва,  
вул. Серікбаєва, 19, м. Усть-Каменогорськ, 070004, Казахстан;  
Б. Д'ячков, д-р геол. наук, проф.,  
E-mail: bdyachkov@mail.ru;  
ТОО "Алтайський геолого-екологічний інститут", м. Усть-Каменогорськ, Казахстан;  
А. Мірошникова, PhD,  
E-mail: anastasiya-2588@mail.ru;  
Філіал РГП "НЦ КПМС РК" "ВНІІтцвмет"  
вул. Промислова, 1, м. Усть-Каменогорськ, 070004, Казахстан;  
В. Зацерковний, д-р техн. наук, проф.,  
E-mail: vitallii.zatskovnyi@gmail.com  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, Київ, 03022, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ МАГМАТОГЕННИХ РУДНИХ СИСТЕМ ЗЛОТОРУДНИХ РОДОВИЩ СХІДНОГО КАЗАХСТАНУ

*Присвячено результатам використання системного геологічного моделювання при прогнозуванні золоторудних родовищ на території найстарішого району видобутку золота в Республіці Казахстан – Західно-Калбінського золоторудного поясу (Східний Казахстан). Дослідження спрямовані на розробку критеріїв прогнозу і пошуку нових рудних об'єктів у сприятливих геологічних структурах. Головна увага при проведенні досліджень була приділена системному аналізу геологічних факторів, взаємодія яких забезпечує синергетичний ефект і виявлення закономірностей формування золоторудних об'єктів. Для розв'язку цієї задачі авторами здійснена кількісна оцінка стійкості розвитку рудогенеруючих елементів системи за методикою С.В. Васильєва.*

*Кількісна оцінка стійкості окремих факторів та їхньої взаємодії дозволили оцінити якісний стан окремих ділянок і визначити природні границі площ відповідного ієрархічного рівня, перспективних на пошуки родовищ певної корисної копалини.*

*Були виконані роботи з виділення площ, перспективних на пошуки родовищ, на основі кількісної оцінки стійкості окремих факторів. З використанням геологічних матеріалів, результатів геофізичних робіт, космогеологічних даних проведено локалізацію перспективних площ у межах Західно-Калбінської структурно-формаційної зони і Жумбінської рудно-магматичної системи у Східному Казахстані.*

*Ключові слова: рудно-магматична система, золото, родовище, оцінка стійкості геологічних факторів.*