

ДИСТАНЦИОННАЯ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ РАЙОНОВ В ЗЕЛЕНОКАМЕННОМ ПОЯСЕ ЗАПАДНОЙ ЭФИОПИИ

Ю.Н.Серокуров,
В.Д.Калмыков

ООО «Институт дистанционного прогноза руд»,
г. Москва

В результате анализа космической информации среднего разрешения предложена дистанционная прогнозно-поисковая модель выделения благоприятных для локализации золоторудных районов участков в пределах зеленокаменного пояса на западе Эфиопии, определены перспективные площади для поиска новых месторождений и рудопроявлений.

Ключевые слова: золото, дистанционный прогноз, зеленокаменные пояса, Западная Эфиопия.

Одно из направлений дистанционного прогноза — подход, опирающийся на принципы аналогий и предусматривающий первоначальное выявление в пределах известных рудоносных площадей признаков, по совокупности которых они отличаются от окружающего безрудного пространства. При изучении нескольких эталонов устанавливаются постоянно присутствующие на рудных площадях признаки, не связанные с особенностями ландшафта. Созданные на этой основе дистанционные прогнозно-поисковые модели позволяют оценивать перспективы рудоносности земной коры в любых регионах планеты. Системный подход предусматривает возможность вначале по материалам низкого разрешения оконтуривать благоприятные участки для локализации крупных рудных таксонов (зон, районов), а затем в их пределах по материалам все повышающейся детальности — более мелких (узлов, полей) [2, 4–6].

Внедрение этого подхода в практику требует планомерного изучения по единым методикам значительного числа эталонных рудных площадей для создания банка разномасштабных прогнозно-поисковых моделей руд различных формационных типов. Но без участия государства, обладающего всем объемом ранее накопленной информации и заинтересованного в комплекс-

ной оценке собственных ресурсов, решение данного вопроса невозможно. Поэтому в последние двадцать лет недропользователями наиболее востребована дистанционная оценка перспектив уже лицензированных ими участков для поисков конкретных полезных ископаемых. Решение таких задач затрудняли небольшой (первые десятки и сотни квадратных километров) размер предлагаемых к оценке площадей и отсутствие апробированных на эталонах прогнозно-поисковых моделей для таксонометрических единиц (районы, поля, узлы) искомого оруденения.

В связи с этим при выполнении работ возникла прежде всего задача оценки позиции заданных участков по отношению к границам рудных таксонов более высокого ранга. Большое влияние на эффективность дистанционного прогноза оказывала корректность постановки задач, ориентирующих специалистов на визуализацию только той информации, которая в максимальной степени отражает благоприятные признаки и процессы. Поэтому, приступая к оценке новой территории, нужно было знать особенности геологического строения ее поверхности и в доступном объеме земной коры, иметь представление о геологической истории развития региона, обладать сведениями об общей металлогении и известных факторах контроля искоемых руд.

Подобная информация обычно извлекалась из фондовых и опубликованных работ, а их полнота и объективность зависели от степени изученности территорий. В итоге составлялись программы, которые обосновывали необходимые этапы дистанционных исследований и задачи, решаемые в их рамках.

В качестве иллюстрации приведены результаты первого этапа прогнозных работ, касающихся золотых руд Эфиопии. Последние являются ведущим полезным ископаемым и добываются с первого тысячелетия до нашей эры. К настоящему времени зафиксировано около 80 коренных и 250 россыпных проявлений золота, но поиски новых месторождений продолжаются, для чего различные фирмы лицензируют свободные участки в пределах обширных территорий. Основой для выбора их контуров являются преимущественно прямые признаки – геохимические, шлихогеохимические и минералогические ореолы, проявления россыпной и коренной минерализации. Использованию структурных факторов контроля золотых руд для их поисков препятствует слабая изученность территории страны современными (прежде всего, геофизическими) методами.

Эфиопия находится на востоке Восточно-Африканского плоскогорья, где глубокий грабен субмеридионального простирания отделяет Эфиопское нагорье на западе от Эфиопско-Сомалийского плато на востоке (рис. 1). Значительные перепады высот современного рельефа (от 116 до 4623 м) обуславливают формирование здесь разнообразных ландшафтов (каменистые пустыни, волнистые плоскогорья, высокогорные луга, «горные» степи, равнинные саванны, влажные тропические леса) и климата.

В геотектоническом плане это северо-восточная часть древней Африкано-Аравийской платформы, где в раннем архее начала формироваться «серогнейсовая» протоконтинентальная кора, а в среднем и позднем – зеленокаменные пояса, большая часть которых к настоящему времени не сохранилась. Деструкция в начале протерозоя привела к появлению эократонов, разделенных подвижными поясами с признаками океанической коры. Она завершилась 2,0–1,8 млрд лет назад новой (эбурнейской) эпохой

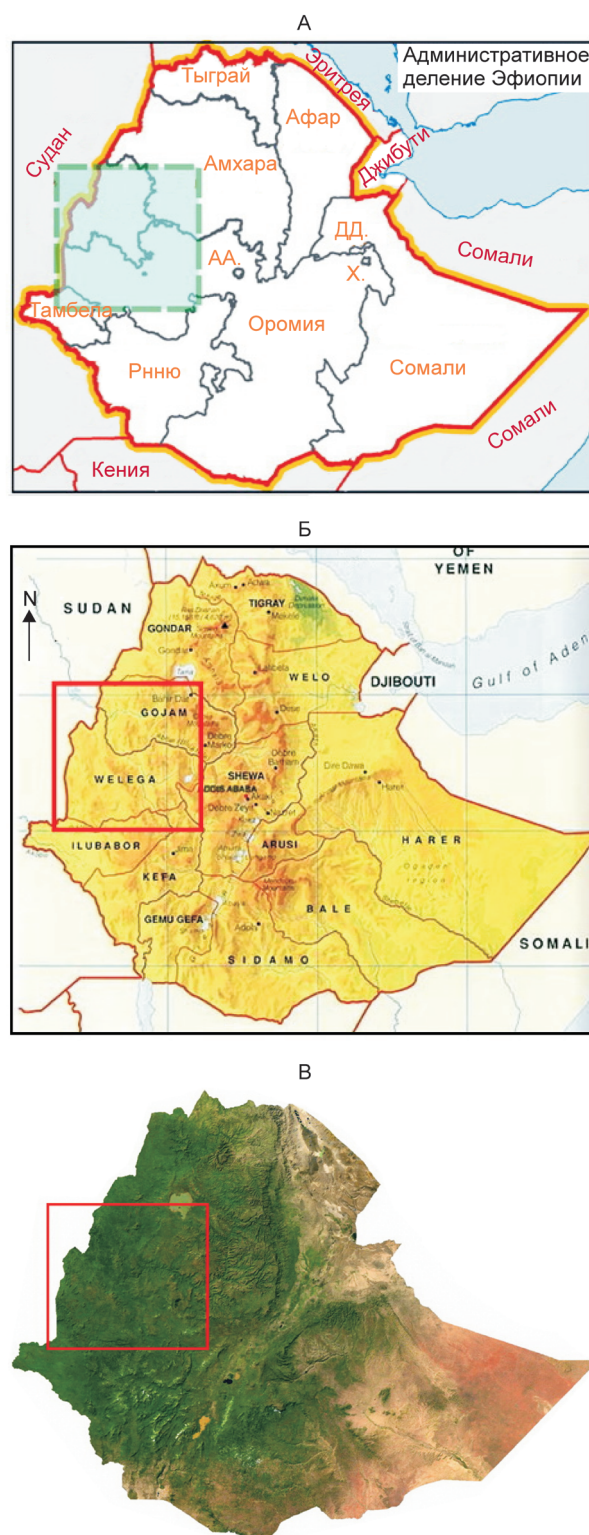


Рис. 1. Позиция оцененного участка на административной (А), рельефной (Б) и космической (В) картах Эфиопии

Информационные технологии при прогнозе, поиске и оценке твердых полезных ископаемых

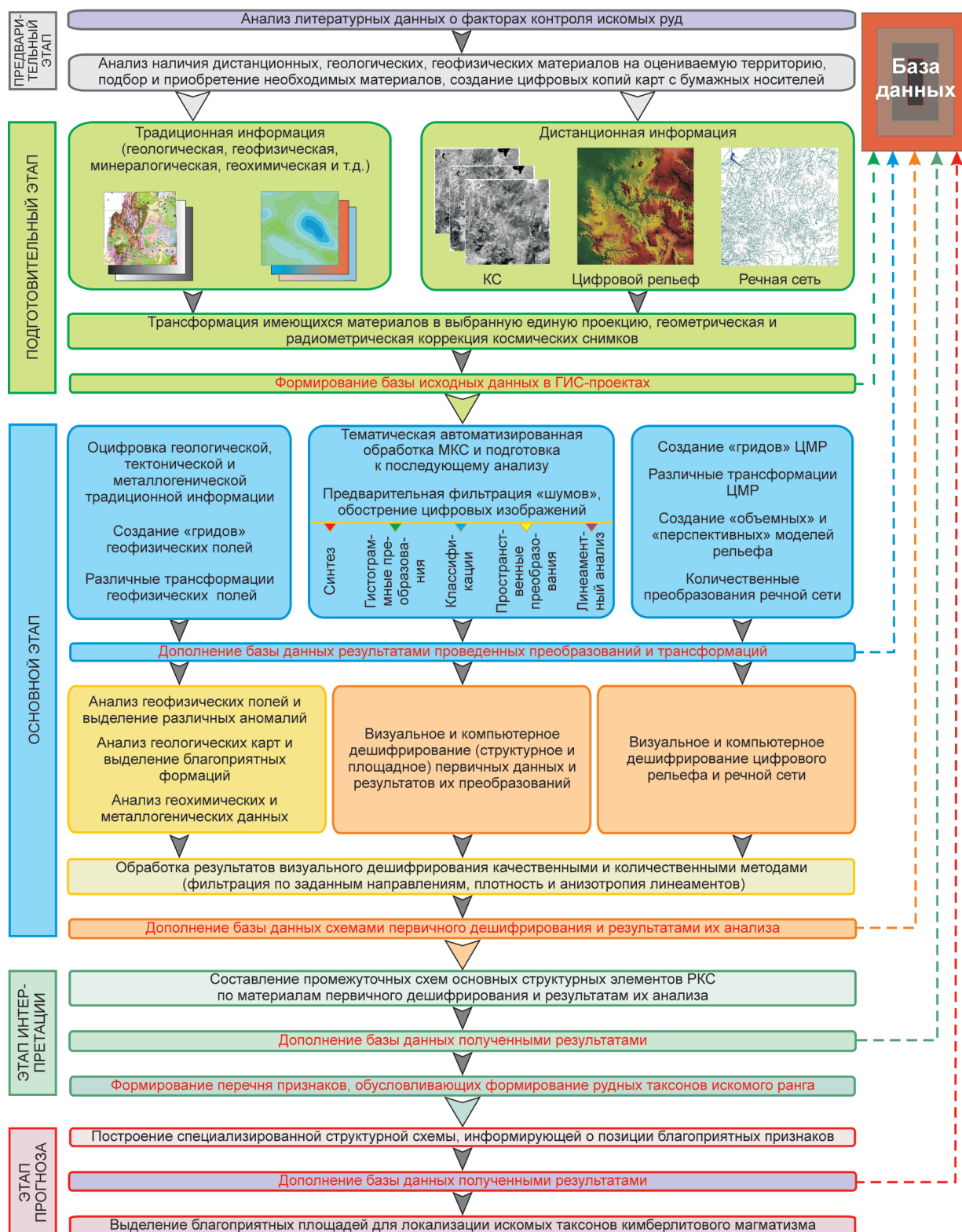


Рис. 2. Технология анализа дистанционных и традиционных материалов в прогнозных целях

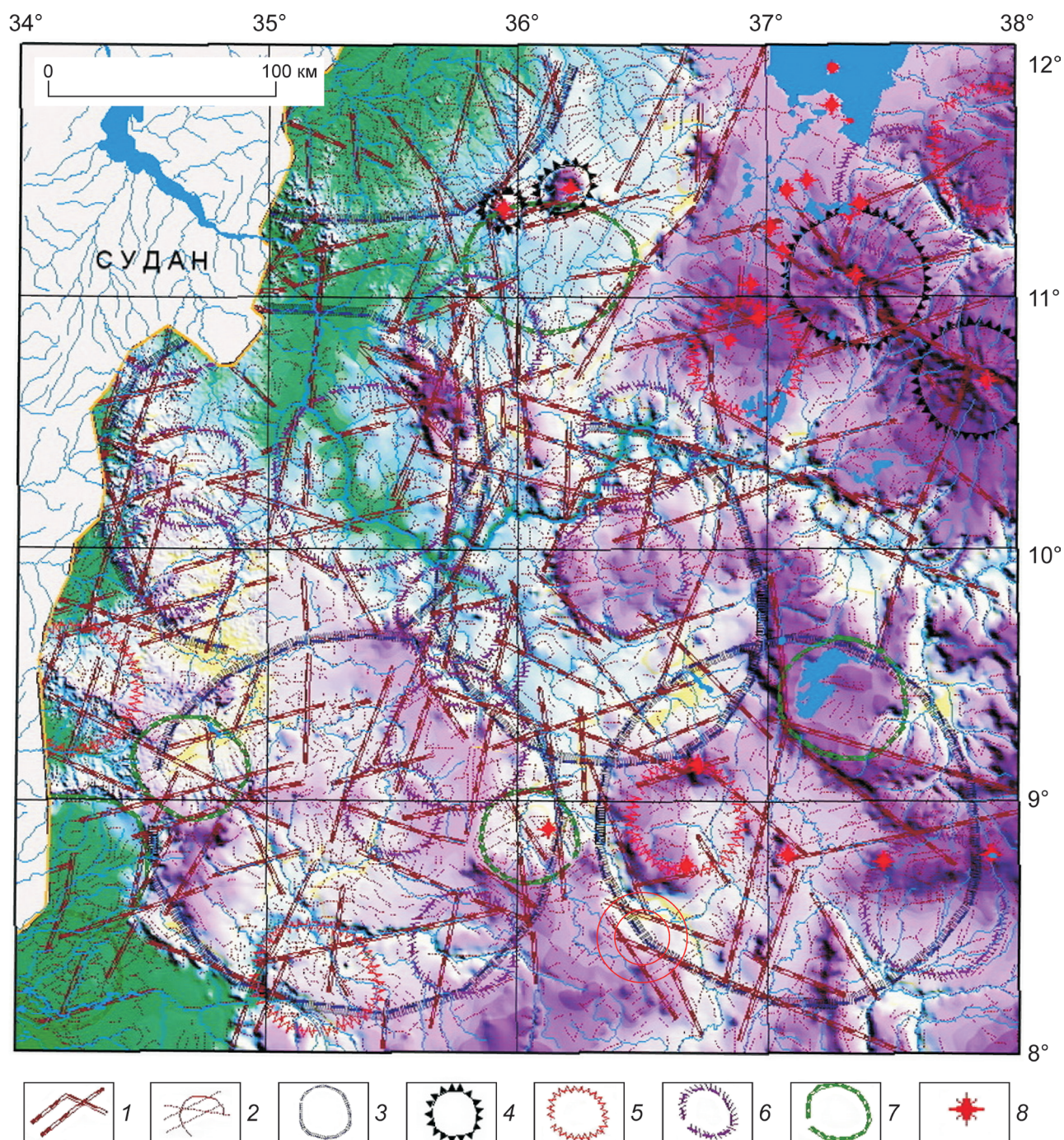


Рис. 3. Специализированная космоструктурная карта центральной части Западной Эфиопии:

1 – крупные линейменты различных возрастов и простираний; 2 – мелкие линейменты и кольцевые структуры, проявленные в верхних частях земной коры; 3 – контуры областей над энергетическими очагами в верхних частях мантии; 4 – контуры вулканических конусов; 5 – контуры куполов; 6 – кольцевые структуры с дифференцированной морфологией поверхности; 7 – контуры впадин; 8 – известные вулканы

кратонизации, в результате которой образовались стабильные области, включившие и эпиархейские кратоны, и значительные участки раннепротерозойских подвижных поясов. Кратонизация сопровождалась мощными наземными извержениями кислых лав и игнимбритов, становлением гранитных интрузий. Следующая деструкция приурочена к началу среднего протерозоя (900–800 млн лет), когда континент вновь был расчленен на ряд кратонов, между которыми возникли глубоководные бассейны с корой океанского или субокеанского типа. В пределах современной Эфиопии расположена область сочленения Нубийско-Аравийского и Мозамбикского зеленокаменных поясов этого возраста, простирающихся в субмеридиональном направлении. Их развитие завершилось в венде складчато-надвиговыми деформациями, сопровождавшимися метаморфизмом (вплоть до гранулитовой фации) и гранитообразованием. Высокая тектоническая и магматическая активность в регионе продолжалась в кембрии – начале ордовика, что рассматривается как проявление панафриканского орогенеза, соответствующего байкальскому в России [3, 8, 9].

Последующая геологическая история этой части платформы освещена слабо из-за отсутствия осадочного чехла до конца палеозоя. Известно, что лишь в конце карбона на востоке Африки возникла новая разветвленная рифтовая система, а в перми, триасе и юре сюда с севера вторгались моря, оставившие толщи эвапоритов и комплекс Карру. В средней юре произошли мощные излияния платобазальтов, а затем начался распад Гондваны и стали определяться контуры современного Африканского континента. Еще один важный этап в развитии региона – появление в кайнозое (олигоцене) Восточно-Африканской рифтовой системы в связи с подъемом из мантии мощных тепловых потоков, формировавших «термальные купола», которые обусловили рост крупных поднятий, образование гор и грабенов. Сопровождавшие эти процессы вновь формирующиеся разломы часто наследовали древние структуры. Высокая современная сейсмичность свидетельствует о значительной нестабильности территории и в настоящее время.

Таким образом, в современном геологическом строении региона участвуют три структурных этажа – докембрийский фундамент, позднепалеозой-мезозойский платформенный чехол и кайнозойский рифтовый комплекс.

Фундамент обнажен только в эрозионных окнах сложной формы, площадь которых не превышает 30% территории страны. Его составляют архейские (гнейсы, мигматиты амфиболитовой, реже гранулитовой фаций метаморфизма) и раннепротерозойские (кварциты, слюдяные и графитовые сланцы, мраморы) комплексы пород, разделенные позднепротерозойскими складчатыми поясами, заполненными офиолитовыми ассоциациями (ультрабазиты, габброиды, амфиболиты, метавулканиты), глубоководными песчано-глинистыми осадками, известково-щелочными вулканическими комплексами. С последними пространственно ассоциируют интрузии диорит-гранодиоритового состава, возраст которых 800 (и более?)–600 млн лет. В интервале 700–500 млн лет вулканогенно-осадочные толщи поясов подверглись многофазным деформациям (складчатость, чешуйчато-надвиговые структуры), сопровождавшимся мигматизацией и внедрением посттектонических калиевых гранитов.

Все известные проявления золота приурочены к областям выхода на поверхность древнего фундамента, где группируются в обособленные рудные районы, объединяющие небольшое количество средних и мелких по запасам месторождений и множество рудопроявлений. Рудные тела представляют собой зоны и штокверки жил и прожилков разного размера в верхнепротерозойских метаморфических и интрузивных породах, большинство которых малосульфидного кварцево-жильного типа. В качестве источников золота рассматривается мантия, а также нижние и средние части земной коры. К благоприятным факторам локализации золоторудных районов и узлов такого типа относят участки наличия определенных геологических формаций (коматитит-толеитовой, риолит-базальтовой, базальт-андезит-дацит-риолитовой, перидотит-пироксенит-габбро-норитовой, железисто-кремнисто-сланцевой, эвапоритовой, кремнисто-карбонатной, черносланцевой), зоны и узлы пере-

сечения глубинных разломов, крупные палеоструктуры, вулканические постройки, палеодепрессии, ареалы малых интрузий и даек [1–3, 7]. Россыпные месторождения формировались в результате разрушения коренных тел и встречаются в большинстве современных водотоков.

Платформенный чехол, скрывающий фундамент на большей части страны, в нижних частях представлен флювиогляциальными толщами позднего палеозоя – триаса (300–400 м), заполняющими эрозионные и тектонические депрессии в рельефе фундамента, а выше – глинисто-карбонатными прибрежными и мелководными юрскими и нижнемеловыми осадками. На востоке страны разрез дополнен прибрежно-лагунными отложениями позднего мела и карбонатными толщами палеоцена – среднего эоцена.

Особенность геологического строения региона – широкое развитие образований кайнозойского рифтогенного комплекса. В плиоцен-четвертичное время на ранней стадии рифтогенеза здесь произошло интенсивное излияние базальтов из многочисленных вулканов и сформировались обширные покровы на Эфиопском и Сомалийском нагорьях. В рифтах извергались субщелочные и толеитовые базальты, накапливались толщи туфов и игнимбритов щелочных риолитов. В районе Афара отмечено резкое (в 2–3 раза) утонение земной коры.

На существующих геологических картах разломная тектоника отражена крайне слабо и не позволяет выделять позицию и границы глубинных зон разных рангов. Практически полностью отсутствуют сведения о позиции разновозрастных очагов активизации в мантии и земной коре, которые являются основной движущей силой рудных процессов [1].

Исходя из изложенного, задачами дистанционного прогноза при оценке золотоносного потенциала региона следует считать:

создание на базе доступных космических съемок и результатов их трансформаций дистанционной основы для крупных участков выхода на поверхность фундамента платформы;

уточнение имеющейся и извлечение новой (не фиксируемой традиционными методами) информации об особенностях геологического строения этих участков;

формирование дистанционных прогнозно-поисковых моделей для оконтуривания благоприятных площадей локализации рудных таксонов в рангах «район» и «узел».

Наиболее очевидная сложность работ такого рода – в древности прогнозируемого оруденения, связанного с доплатформенными этапами активизации региона. Выделение рудоконтролирующих структур требует сложных процедур по их визуализации и ранжированию в условиях проявления пострудных активизаций и наличия обширных кайнозойских и современных вулканических покровов.

Используемая нами технология дистанционного прогноза (рис. 2) предусматривает формирование ГИС-проектов, в которых:

пространственно совмещаются первичная дистанционная (фотопланы из снимков «Ландсат», цифровой рельеф) и традиционная (геологические карты, схемы полезных ископаемых) информация;

выполняются многочисленные трансформации этих материалов с помощью компьютерных программ для усиления, фильтрации и обобщения особенностей ландшафта, устранения посторонних «шумов» и т.д;

проводится визуальное и автоматизированное дешифрирование всех видов информации для уточнения приповерхностного и глубинного тектонического строения площади с ранжированием выделенных линейных и блоковых структур по масштабу, степени проявления, характеру взаимоотношений;

устанавливаются позиции древних подкоровых и внутрикоровых очагов тектономагматической активизации с классификацией их по глубине заложения и характеру взаимоотношений;

оконтуриваются участки аномального изменения современных ландшафтов под действием разноглубинных тектономагматических и гидротермальных процессов;

осуществляются качественный и количественный анализы полученных данных и сопоставление их с имеющимися традиционными материалами.

Окончательная информация обобщается и выносится на специализированную космоструктурную схему в виде фрагментов крупных лине-

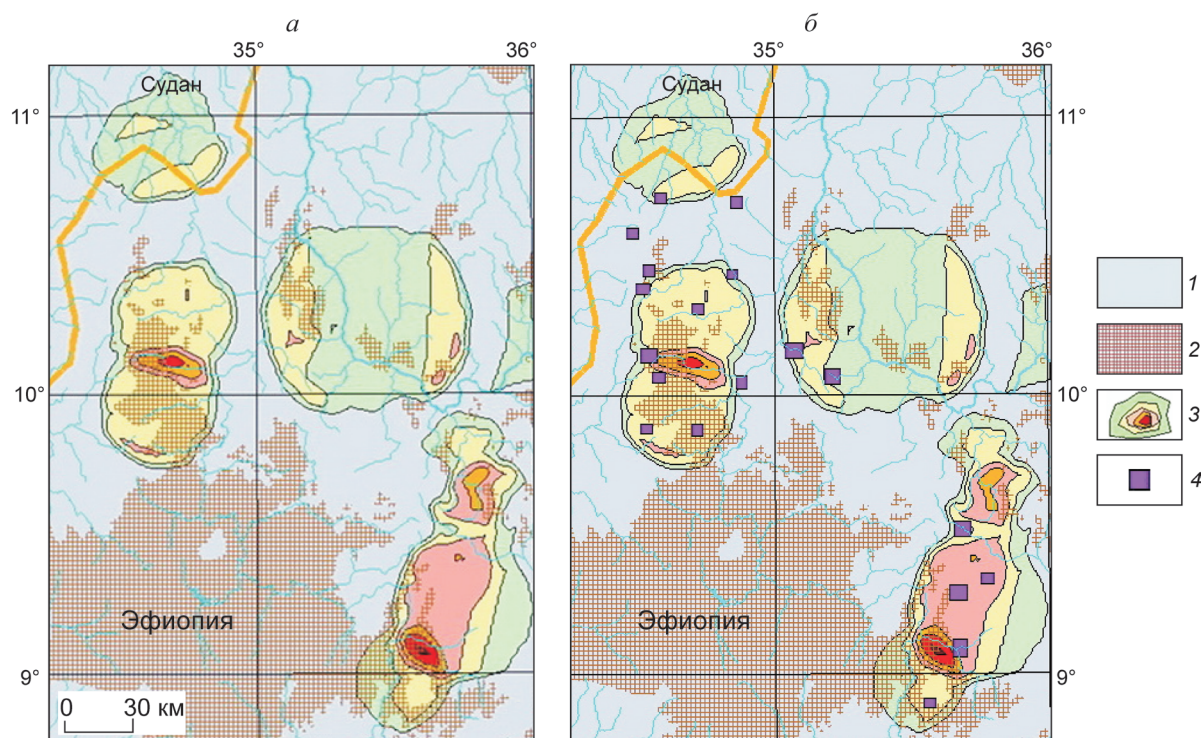


Рис. 4. Позиция благоприятных для локализации золоторудных районов участков по интенсивности аномального присутствия благоприятных дистанционных признаков:

1 – архей-протерозойские формации древнего основания платформы; 2 – фанерозойские осадочные и вулканические формации платформенного чехла; 3 – участки аномального присутствия благоприятных дистанционных признаков; 4 – позиция известных коренных рудопроявлений и месторождений золота относительно благоприятных участков, выделенных в результате анализа дистанционных материалов

аментов различных простираций, границ тектонических зон континентального, регионального и районного рангов. В качестве новой, обычно не отражаемой на существующих геологических картах информации приводятся проекции на поверхность разноглубинных очагов активизации, морфологические и структурные особенности которых позволяют ранжировать их по генезису, возрасту и влиянию на процессы рудообразования.

Результаты прогнозной оценки участка площадью 200 000 км² на западе Эфиопии показаны на рис. 3. Использована прогнозно-поисковая модель для оконтуривания участков благоприятных для локализации золоторудных таксонов в ранге «район». Она составлена по результатам анализа дистанционных материалов среднего разрешения (фотопланы из снимков «Ландсат», цифровой рельеф) и фиксиру-

ет участки наиболее вероятной вертикальной миграции рудоносных флюидов в земной коре с осаждением золота из них в благоприятных формациях. Это:

площади над тектоническими зонами континентального ранга северо-восточного и субмеридионального простираций;

площади над тектоническими зонами регионального ранга северо-западного и север-северо-восточного простираций;

площади над очагами активизации в верхних частях мантии, которые разделены на два класса – наиболее благоприятные и менее благоприятные;

площади над очагами активизации в нижних частях земной коры, которые по степени проявленности и геологической позиции разделены на три класса – наиболее благоприятные, благоприятные и менее благоприятные;

участки развития формаций с благоприятными условиями для рудоотложения (из-за слабой фотогеничности формаций этот признак уточнялся с привлечением геологической карты).

Перспективные участки для локализации золоторудных районов оконтурены по изолинии минимального аномального присутствия благоприятных признаков (рис. 4, а). Количество следующих изолиний в их пределах косвенно свидетельствует о ресурсном потенциале каждой аномалии.

В качестве отрицательного признака использованы площади распространения фанерозойского чехла. Они не включены в прогнозные модели и наложены на итоговые результаты построений, что дает возможность наглядно оценить доступность перспективных участков для наземных поисков.

Полученная информация полезна при принятии решений о выборе лицензионных участков для наземных поисковых работ, которые целесообразно сопровождать анализом дистанционных материалов более детального разрешения, что позволит выявить локальные приповерхностные очаги активизации. По результатам анализа может быть создана дистанционная модель для выделения участков благоприятных для локализации рудных таксонов в ранге «узлов».

Чтобы оценить достоверность дистанционного прогноза на схему (см. рис. 4, б) вынесены известные коренные месторождения и рудопроявления золота, заимствованные с карты «Location of Gold deposits and occurrences in the Western Ethiopia» м-ба 1:2 000 000.

Предложенная модель является лишь первым опытом прогноза руд этого типа и ее необходимо совершенствовать путем изучения других эталонных площадей с привлечением более обширной геолого-геофизической информации. Кроме того, модель открыта для включения новых благоприятных признаков, визуализация которых проведена на основе любых дополнительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золоторудные гиганты России и мира / М.М.Константинов, Е.М.Некрасов, А.А.Сидоров и др. – М.: Научный мир, 2000.
2. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д.В.Рундквиста. – Л.: Недра, 1986.
3. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. – М.: Недра, 1988.
4. Серокуров Ю.Н. Использование космических снимков для целей прогнозирования рудоносности территорий // Советская геология. 1991. № 10. С. 22–27.
5. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Громцев К.В. Опыт использования дистанционной информации для оценки золотоносного потенциала Восточных Саян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М., 2008. Вып. 5. Т. 1. С. 386–390.
6. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Макаров Д.В. Рудоносный потенциал Анабарского щита по материалам дистанционного зондирования // Руды и металлы. 2002. № 2. С. 7–14.
7. Соколовский А.К., Федчук В.Я., Корсаков А.К. Геодинамические обстановки формирования зеленокаменных поясов. – М.: МГГРУ, 2003.
8. Foster R.P., Piper D.P. Archean lode gold deposits in Africa: Crustal setting, metallogenesis and cratonization // Ore Geology Reviews. 1993. P. 303–347.
9. Jelenc D.A. Mineral occurrences of Ethiopia. – Addis Abeba, 1966.

Серокуров Юрий Николаевич,
доктор геолого-минералогических наук
idpr@yandex.ru

Калмыков Виктор Дмитриевич
kalmykov-v@yandex.ru

REMOTE SENSING-BASED EXPLORATION MODEL FOR GREENSTONE BELT LOCALIZED GOLD MINERALIZATION, WESTERN ETHIOPIA

Yu.N.Serokurov,
V.D.Kalmykov

Based upon analysis of the medium-range resolution remote sensing data, an exploration model is developed for contouring of areas favorable for localization of the gold targets within a greenstone belt of Western Ethiopia. New prospective areas are localized.

Key words: gold, remote sensing, greenstone belt, Western Ethiopia.