

Анализ транспортной доступности и геологической изученности на основе ГИС-технологий для планирования геологоразведочных работ в Алтае-Саянской складчатой области

Выполнена оценка транспортной доступности различных районов юго-западной части Алтае-Саянской складчатой области (АССО) на основе авторской методики, и проведён анализ геологической изученности на золото на основе анализа пространственных данных с использованием ГИС-технологий. Данная методика позволила перевести качественные понятия «доступность», «изученность» и «освоение» в количественные показатели, пригодные для сравнения разных кластеров внутри одного региона и для сопоставления различных регионов. Детально охарактеризованы основные составляющие параметры транспортной доступности – расстояние от дорог, уклон рельефа, ландшафтная проходимость местности. Представлены основные вычислительные методы и приёмы визуализации расчётных характеристик. Количественный анализ плотности изученности на золото позволил обосновать её неоднородность и выделить слабоизученные площади. На основании комплексирования полученных цифровых данных показано, что в южной, менее доступной части выделяются слабоизученные золотоносные рудные районы и узлы. Установлена корреляция транспортной доступности и геологической изученности, влияние этих показателей на представления о металлогеническом районировании. Обоснован вывод о том, что современные представления о золотоносности АССО и металлогеническом районировании определяются не только геологическими причинами, но и степенью транспортной доступности и современным состоянием геологической изученности.

Ключевые слова: пространственные данные, инфраструктура, транспорт, рельеф, геологическая изученность, Алтае-Саянская складчатая область, золото, геоинформационные технологии.

АНТОНЕЦ АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА, заместитель заведующего отделом, antonetc@tsnigri.ru

ВАХРУШЕВ АНДРЕЙ МИХАЙЛОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий отделом, vahrushev@tsnigri.ru

ЧЕРНЫХ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор, tsnigri@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

Analysis of transportation access and geological knowledge based on GIS technologies for exploration planning in Altai-Sayany fold area

A. V. ANTONETS, A. M. VAKHRUSHEV, A. I. CHERNYKH

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow

The paper assesses transportation access for various regions of the southwestern Altai-Sayany fold area (ASFA) and analyzes geological knowledge about gold based on spatial data analysis using GIS technologies. This work is based on our technique. This technique allowed to convert qualitative concepts (access, knowledge and development) into quantitative indicators useful to compare various clusters within one region as well as various regions. The main constituents of transportation access (distance from roads, topography slope and terrain trafficability) are characterized in detail. The main computation methods and design characteristic visualization techniques are presented. Quantification of gold knowledge density allowed validation of its diversity and recognition of underexplored areas. Based on complexing the obtained digital data, the paper shows that underexplored gold districts and clusters are identified in the southern, less accessible part. Correlation of trafficability and geological knowledge is revealed; these indicators are found to affect metallogenic zoning concepts. The conclusion is validated that the current ideas about ASFA gold potential and metallogenic zoning are determined by both geology and trafficability, and the current geological knowledge level.

Key words: spatial data, infrastructure, transportation, topography, geological knowledge, Altai-Sayany fold area, gold, geoinformation technologies.

Южная Сибирь исторически развивалась как горно-добывающая область. Её освоение связано с разработкой угля, золота, руд чёрных и цветных металлов, неметаллических видов сырья. По мере наращивания промышленного потенциала Сибири формировалась транспортная инфраструктура. Строительство дорог, в свою очередь, инициировало более активное проведение геологоразведочных работ (ГРП) и добычу полезных ископаемых.

В последние 30 лет в Алтае-Саянском регионе наблюдается резкое падение объёмов добычи золота, что обусловлено целым рядом причин. Одна из основных – исчерпание запасов месторождений, открытых ещё в конце XIX–начале XX века. Во многом это связано с ориентацией ГРП в последние 190 лет на одни и те же типы золотых месторождений (золото-россыпные, золото-кварцевые, золото-скарновые), концентрацией поисково-оценочных работ в районах действующих золотодобывающих предприятий и известных золото-россыпных узлов. Кроме того, с середины 1990-х годов наблюдается снижение объёмов геологоразведочных работ и их эффективности.

Анализ имеющихся данных по металлогении золота Алтае-Саянского региона [3–5] свидетельствует о высоких перспективах выявления золотого оруденения слабоизученных рудно-формационных типов, в скрытом залегании и в недостаточно изученных рудных узлах. На фоне рекордно выросшей цены на золото, благоприятных географо-экономических условий и с учётом ряда социально-экономических факторов Южная Сибирь рассматривается как один из перспективных регионов для развития золотодобычи в России.

Для принятия решений при планировании ГРП с одной стороны и направлений развития инфраструктурных проектов с другой необходимо учитывать текущее состояние транспортной инфраструктуры, степень изученности территории на золото, состояние минерально-сырьевой базы. В связи с неоднородностью физико-географических условий и исторических особенностей проведения ГРП регион имеет высокую дифференциацию этих характеристик. Географическое положение и административное деление исследуемой территории показано на рисунке (рис. 1).

В данной работе на основе авторской методики выполнены оценка транспортной доступности различных районов юго-западной части Алтае-Саянской складчатой области и анализ геологической изученности. На основе этих данных сделан вывод о степени освоенности этого региона. Используемый авторами методический подход позволил перевести качественные понятия «доступность», «изученность» и «освоение» в количественные показатели, пригод-

ные для сравнения разных кластеров внутри одного региона и для сопоставления различных регионов. Выполненные оценки основаны на использовании геоинформационных технологий при анализе пространственных данных.

Методика исследований. Исследование проводилось с использованием информации из открытых и отраслевых источников, для обработки которых применялся инструментарий следующих геоинформационных систем: Quantum GIS (QGIS), модуль GRASS, ArcGIS. Предварительные вычисления и построение объектов были выполнены в QGIS, дополнительная обработка растров (переклассификация, векторизация) осуществлялись с использованием модуля GRASS. В ArcGIS выполнялась финальная обработка и визуализация полученных данных.

1. Из каталога геологической изученности ФГБУ «Росгеолфонд» были загружены полигональные слои, которые были обработаны и разбракованы на основании атрибутивной и пространственной информации об объектах. Были удалены данные, не имеющие отношения к работам на золото, дублирующие объекты, некорректные записи в таблице атрибутов. В объединённом слое изученности остались пространственные объекты, представляющие собой площади проведения геологосъёмочных, поисковых и тематических работ, повлиявшие на увеличение степени изученности золотого и золотосодержащего оруденения. Таким образом, после экспертной обработки количество уникальных объектов слоя для анализа сократилось в разы.

Для подсчёта плотности была построена регулярная векторная сеть (размер ячейки $0,6^{\circ} \times 0,4^{\circ}$), которая представляла собой векторный полигональный слой и охватывала исследуемую территорию. Затем для каждой ячейки было подсчитано количество пересекающих её объектов слоя изученности с использованием инструментов пространственного соединения. Это количество стало атрибутом для построения растровой поверхности плотности геологической изученности. Участки территории АССО, выполненные неоген-четвертичными осадками, были наложены на полученный растр и исключены из него с помощью инструментов маскирования как не имеющие перспектив на золотое оруденение.

2. Расчёт поверхности расстояний основывался на данных Open Street Map (OSM). Загружались данные с тегом highways, которые впоследствии отфильтровывались по дополнительным тегам с целью исключения разновидностей дорог, не подходящих для автомобильных перевозок (полевые и лесные тропы, пешеходные зоны). Таким образом, был получен векторный линейный слой, вокруг которого строились буферные зоны (через каждый километр). Полигональному слою буферных зон назначили атрибут –

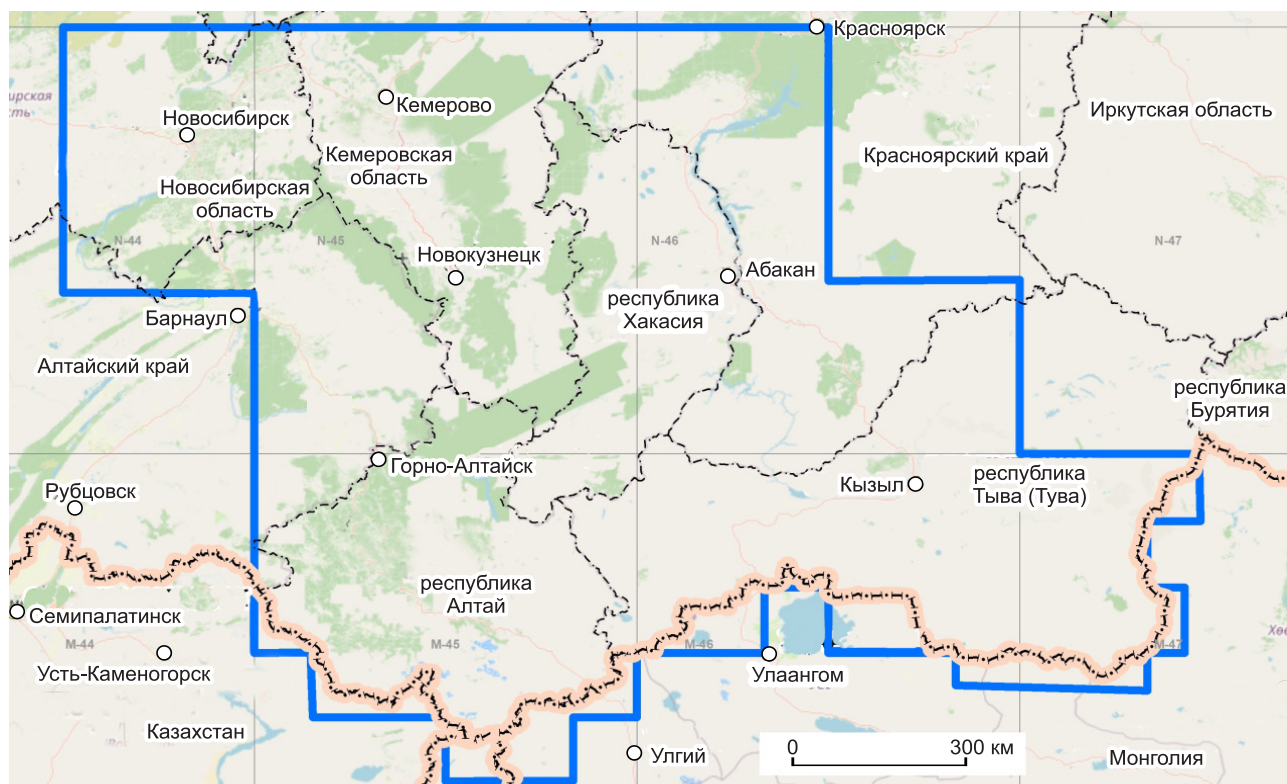


Рис. 1. Обзорная географическая схема расположения территории анализа

расстояние в километрах; затем полигон был переведён в растр.

3. Для более корректной информации о транспортной доступности учитывался уровень крутизны рельефа местности и прочие ландшафтные особенности территории. Использовались цифровые модели рельефа по данным GMTED2010, из которых был вычислен уклон (крутизна) в градусах. Кроме того, использовались данные топографической основы – площадные объекты (масштаба 1:500 000), каждому из которых присваивался определённый вес в зависимости от сложности перемещения. То есть «непроходимые болота» и «озёра» имели наибольший вес, «редколесье» и «кустарники» меньшие веса, а «просеки» и «твёрдые поверхности» самый низкий вес. Затем был вычислен растр, атрибутом которого выступили веса полигональных объектов.

Из двух поверхностей – уклона рельефа и ландшафтных особенностей – был вычислен комплексный растр проходимости территории. Для этого использовался метод взвешенного наложения в соотношении 2:1 в пользу уклона. Перед наложением оба изображения были пересчитаны по линейной функции с целью приведения их к единой шкале значений (от 1 до 100%).

4. Получение поверхности транспортной доступности основывалось на суммировании двух факторов: расстояний от существующих дорог и проходимости местности. Для этого использовалось взвешенное суммирование с равными весами (поверхность расстояний предварительно нормировалась).

5. Затем был получен результат наложения поверхностей транспортной доступности и геологической изученности. Предварительно растры были линейно нормированы от 1 до 100, а поверхность транспортной доступности дополнительно пересчитывалась, чтобы наибольшие её значения соответствовали благоприятным участкам. Затем ячейки обработанных растров накладывались друг на друга с помощью инструмента «наложение», наделяя каждое местоположение усреднёнными атрибутами; полученная поверхность представляет собой «индекс освоения территории» (ИОТ).

6. Для выделения двух областей – северной с более высоким ИОТ и южной с более низкими его значениями – были вычислены границы на поверхностях, полученных ранее: геологической изученности, расстояний от автодорог, проходимости территории. Использовался следующий алгоритм: извлечение изолиний из растра по значениям, преобразование

их вершин в точки, фильтрация точек по значениям и пространственному положению, реконструкция разделительной линии из оставшихся точек. Затем вдоль полученных линейных объектов были построены точки через каждые 1000 м. Этот точечный слой послужил основой для построения растра плотности их размещения, с использованием инструмента «тепловая карта». Затем растр разгружался до максимальных значений путём отсечения низких величин, после чего был полигонизирован, упрощён и преобразован в точки, по которым была восстановлена граница областей.

7. Вычисление ИОТ для объектов распределённого и нераспределённого фондов недр основывалось на извлечении значения растра в данной точке. Из каталогов ФГБУ «Росгеолфонд» получены точечные слои, затем к ним были добавлены атрибуты со значениями ИОТ.

Показатель ИОТ для металлогенических зон, рудных районов и узлов вычислялся методами зональной статистики. Для этого использовались полигональные слои по данным «Прогнозно-минерагенической карты Российской Федерации...» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»). Были посчитаны средние значения поверхности в площадях каждого полигона (металлогенического таксона).

Данная методика является авторской и основана на использовании геоинформационных систем и доступных пространственных данных. Исследование полностью воспроизводимо, а сделанные выводы могут уточняться и дополняться.

Геологическая изученность характеризует полноту и степень надёжности знаний о геологическом строении и полезных ископаемых территорий и является одним из ключевых показателей для оценки их перспективности на разные виды минерального сырья и проведения ГРП. Для сравнительного анализа степени геологической изученности АССО и её отдельных районов на рудное золото составлена схема плотности проведённых на этой территории геологоразведочных работ.

В качестве исходных данных для составления такой схемы были использованы доступные материалы каталогов геологической изученности ФГБУ «Росгеолфонд» [9]. На первом этапе выгружались необработанные данные из каталогов изученности, формировались выборки отчётов и схемы пространственного положения контуров ГРП. Затем проводилась их экспертная обработка (удаление дублирующих, некорректных записей, не имеющих отношения к работам на золото и др.). В анализируемую выборку включались отчёты по результатам геолого-съёмочных, поисковых и тематических работ, повлиявшие на увеличение степени изученности золотого и золотосодержащего оруденения. На за-

ключительном этапе выполнялись необходимые расчёты и итоговые графические построения средствами ГИС.

Алгоритм визуализации плотности данных об изученности территории АССО предусматривал подсчёт пространственного вхождения площадей работ в отдельные ячейки регулярной сетки [6]. Визуальное представление принципа подсчёта, лежащего в основе алгоритма, приведено на рис. 2.

Этап обработки и подготовки исходных данных являлся наиболее длительным и трудоёмким. Быстрый анализ данных изученности затруднён: излишней пространственной дискретностью, являющейся следствием исторически сложившегося учёта карточек изученности на основе принадлежности к определённому территориальному фонду геологической информации и номенклатурному листу масштаба 1:1 000 000; неполнотой доступных данных; ошибками заполнения каталогов; несоответствием масштабов и типов работ по картотеке изученности непосредственно названиям отчётов и др.

В результате векторный полигональный слой был обработан и разброван экспертами с целью выделения уникальных площадей ГРП, проводимых на золото. Далее в ГИС была рассчитана поверхность геологической изученности, которая представляет собой растр плотности, демонстрирующий количество площадей объектов изученности в каждой его ячейке (рис. 3).

Территория западной части АССО характеризуется неравномерной степенью изученности на золото. Наиболее исследованы «старые» золотодобывающие районы – Салаирский, Мартайгинский, Горно-Шорский, Коммунарковский, Ольховско-Чибежекский. Слабо изучены незолотоносные территории – среднепалеозойско-мезозойские угленосные наложенные впадины и мезозойско-кайнозойские структуры Западно-Сибирской плиты. Вместе с тем южная горная часть рассмотренной территории, сложенная, так же как и северная часть, преимущественно потенциально золотоносными каледонскими комплексами пород, отличается значительно меньшей изученностью, несмотря на наличие здесь прямых и косвенных поисковых признаков золота. Наименее всего изучена территория Республики Тыва, хотя здесь известны месторождения рудного золота, а россыпи отрабатывались с конца XIX в. Следует обратить внимание на то, что резкое снижение изученности Тывы приурочено к административной границе с другими субъектами Российской Федерации и никак не связано с изменением геологического строения.

Таким образом, выделяются две области – северная с более плотной изученностью и южная, изученная в меньшей степени. Для наглядности эти области были разделены границей, построенной

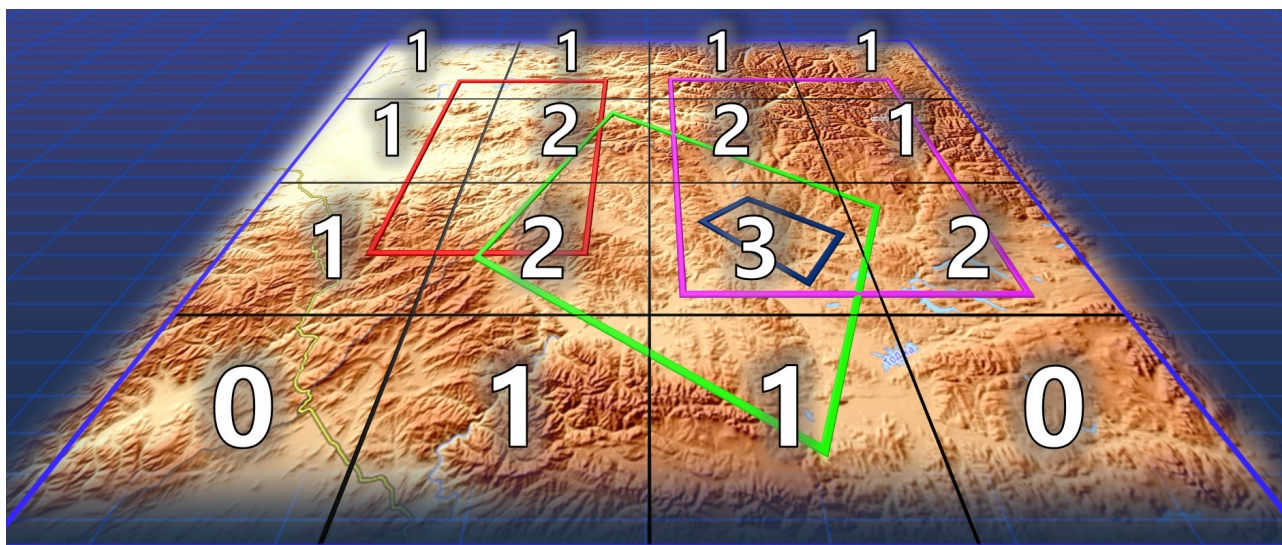


Рис. 2. Подсчёт плотности изученности по регулярной сетке средствами ГИС (spatial join), с последующей классификацией

методами ГИС, а именно: извлечение изолиний из раstra по значениям, преобразование их вершин в точки, фильтрация точек по значениям и пространственному положению, реконструкция разделительной линии из оставшихся точек. Полученная граница будет использована на следующих этапах для дальнейшего анализа. Следует отметить, что депрессии, выполненные неоген-четвертичными осадками, исключены из анализа, поскольку они не рассматриваются с точки зрения поисковой изученности и не имеют перспективы на золотое оруденение.

Транспортная доступность. Эффективность и степень использования природно-ресурсного потенциала регионов во многом зависят от наличия инфраструктуры – совокупности предприятий и организаций, относящихся к отраслям, обеспечивающим бесперебойное, эффективное функционирование производства. Развитая инфраструктура может стать одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность региона. При постановке и проведении ГРР особую значимость имеет производственная инфраструктура, которая содержит комплекс отраслей, обеспечивающих внешние условия производства: транспорт, связь, энергетика, газо- и водоснабжение. Наибольшее значение имеет транспорт, поскольку остальные объекты инфраструктуры развиты в основном в непосредственной близости к существующим дорогам.

На территории Алтае-Саянского региона используются четыре вида транспорта: железнодорожный, автомобильный, авиационный и водный. Наиболее крупная и доступная транспортная сеть – автодороги. Поэтому для оценки транспортной доступности (ТД)

участков недр использовались сведения об автомобильных дорогах, пригодных для перемещения автотранспорта. При решении этой задачи использовались материалы, подготовленные для пространственного анализа: дорожная сеть региона по данным Open Street Map (OSM), цифровая модель рельефа (ЦМР) GMTED2010, а также топографическая основа местности.

Дорожная сеть территории была составлена на основе открытых данных OSM [9], некоммерческого веб-картографического проекта. Авторы отмечают подробность и качество полученной информации. Наличие соответствующих атрибутов позволило в короткие сроки отфильтровать данные таким образом, чтобы исключить разновидности дорог, не подходящих для автомобильных перевозок (полевые и лесные тропы, пешеходные зоны). Оставшиеся пространственные объекты использовались для моделирования растрового представления, демонстрирующего насколько далеко каждая точка пространства находится от существующих дорог.

Растр расстояний от существующих автодорог составлен путём создания буферных зон через один километр в евклидовом пространстве. Полученные зоны были объединены в один векторный слой, где буферное расстояние от дорог (в километрах) является атрибутом, на основе которого рассчитывается растровая поверхность. Этот полигональный слой был переведён в растр, в котором самые тёмные участки соответствуют наибольшей удалённости от существующих автодорог (рис. 4).

Анализ растрового изображения позволил выделить две области – северную и южную. Северная

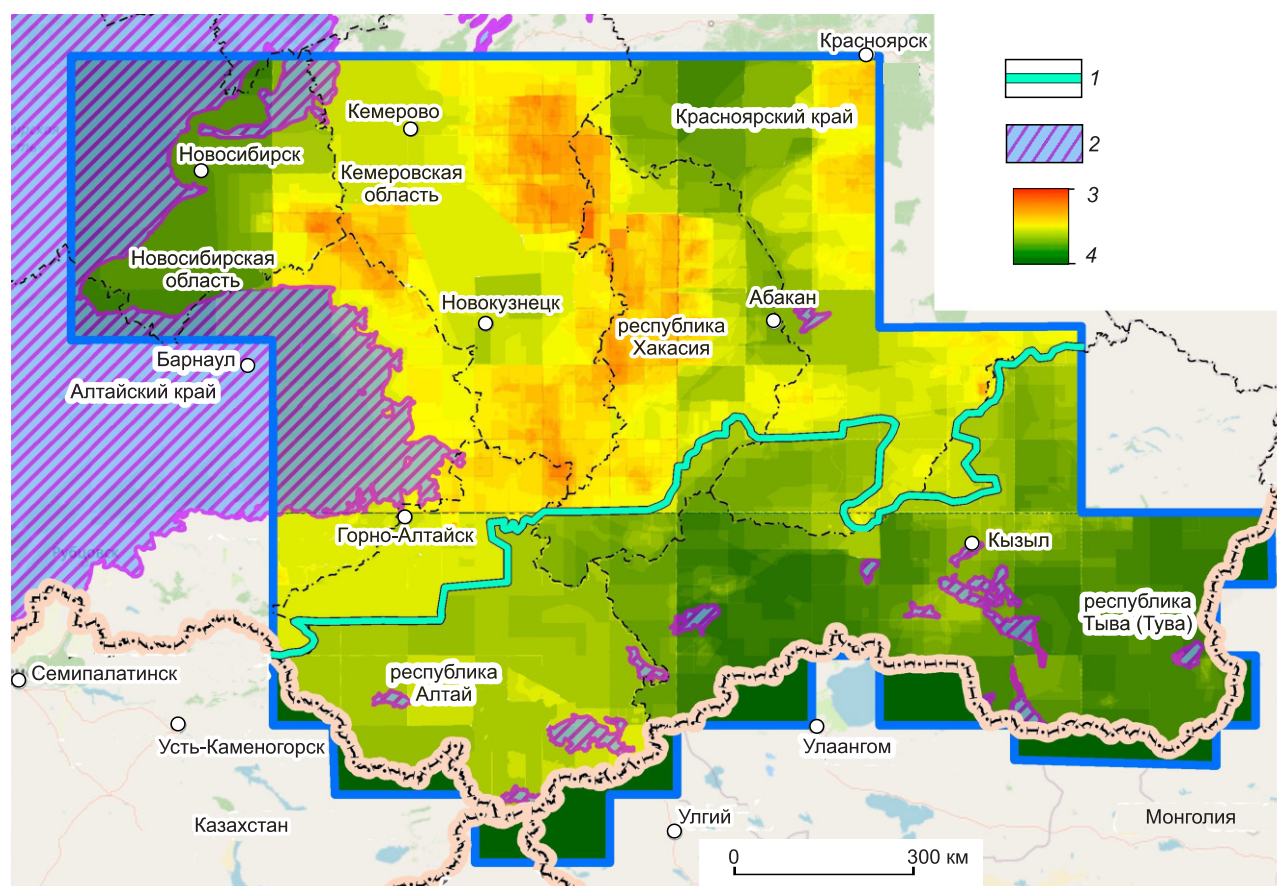


Рис. 3. Схема плотности геологической изученности АССО на рудное золото:

1 – граница северной и южной частей территории, построенная в полуавтоматическом режиме относительно поверхности плотности геологической изученности на золото; 2 – неоген-четвертичные отложения; поверхность плотности геологической изученности: 3 – высокая изученность (до 53), 4 – низкая изученность (от 0)

область характеризуется наличием густой сети автодорог и равнинным, а на отдельных участках низкогорным рельефом. Южная область отличается низкой плотностью автодорог, средне- и высокогорным рельефом, а большая часть территории расположена в условиях удалённости от автодорог на расстояние более 15 км. Анализ поверхности расстояний от автодорог включал следующие действия: построение изолиний по значениям, преобразование вершин полученных линейных объектов в точки, фильтрация точек по значениям и пространственному положению, реконструкция разделительной линии из оставшихся точек.

Горный рельеф значительно ограничивает развитие транспортной сети, увеличивая цену строительства дорог, мостовых переходов, придорожных объектов, а на некоторых участках делает прокладку дорог невозможной. Поэтому для более корректной информации о транспортной доступности был учтён уровень крутизны рельефа местности. На изучаемой

территории достаточно полными и корректными оказались данные GMTED2010 с пространственным разрешением 7,5 угл. с ~250 м [8]. Были использованы 4 листа ЦМР с общим пространственным покрытием 30°–70° с.ш. и 60°–120° в.д. и с абсолютными значениями высот в диапазоне от 56 до 4400 м в системе WGS 84 (World Geodetic System 1984). Выбор данной ЦМР обусловлен масштабом исследования и широким территориальным охватом. Для дальнейшего анализа и визуализации проходимости территории из ЦМР был вычислен уклон рельефа. Полученное изображение демонстрирует крутизну склона в градусах, что является показателем изменения высоты для каждой ячейки ЦМР.

Информацию о крутизне рельефа необходимо было дополнить иными факторами, влияющими на проходимость территории, – её ландшафтными особенностями. Для этого использовались данные топографической основы, представляющие пространственные сведения о растительности, особенностях

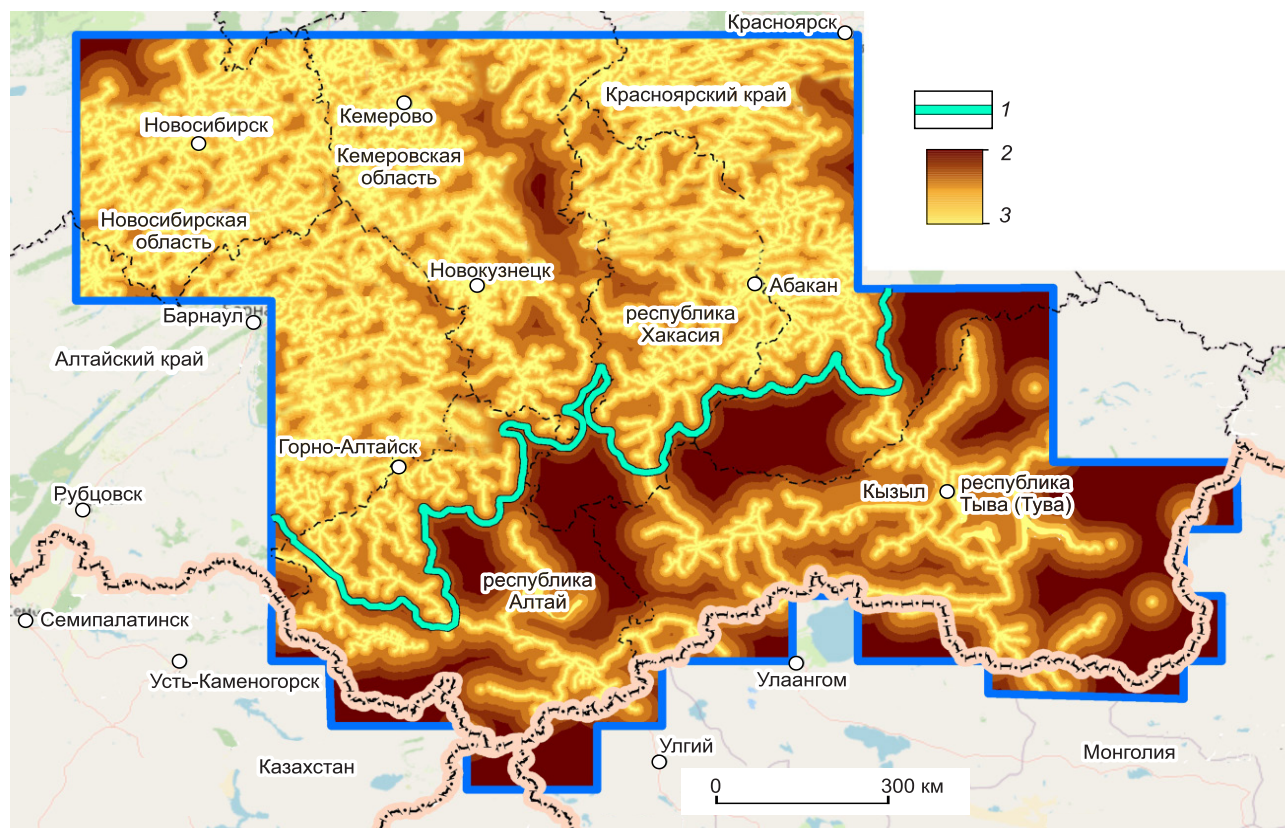


Рис. 4. Поверхность расстояний от автодорог (более тёмные цвета соответствуют наибольшей удалённости):

1 – граница северной и южной частей территории, построенная в полуавтоматическом режиме относительно поверхности расстояний от дорог; поверхность расстояний: 2 – высокие значения (до 50), 3 – низкие значения (от 1)

земельного покрытия, площадной гидрографии. Каждому объекту был присвоен определённый вес в зависимости от усложнения проходимости территории таким образом, чтобы полученная поверхность отображала сложность перемещения по территории в зависимости от наличия на ней разного вида растительности, озёр, болот и типов земельного покрытия. Затем полученный полигональный слой переводился в растр, в котором значения для ячеек были взяты из весов объектов слоя.

Полученные растры уклона рельефа и топоосновы были комбинированы в один методом наложения. Для этого оба изображения предварительно были нормированы по линейной функции (от 1 до 100) с целью приведения их значений к единой шкале измерений. Фактор горного рельефа считается доминирующим при определении проходимости территории, прочие ландшафтные особенности выступают как дополнительный параметр, поэтому при наложении растров, содержащих эти данные, использовалось соотношение 2:1. То есть растру уклона был присвоен вдвое больший вес

по сравнению с растром топоосновы. Результатом такой обработки является комплексный растр, представляющий собой поверхность проходимости территории, каждая ячейка которой демонстрирует сложность перемещения в процентах по местности в зависимости от характера её ландшафта. В визуальном выражении наиболее тёмные ячейки отображают участки с наиболее высокими показателями, что соответствует самым труднодоступным местам (рис. 5).

Так же как и на рис. 4, в АССО отчётливо выделяются две области – южная со сложными условиями проходимости и северная с более лёгкими. Граница, разделяющая эти области, была вычислена с использованием того же алгоритма, что и для поверхности расстояний.

В результате обработки исходных данных инструментами ГИС были получены следующие растровые представления: расстояния до автодорог и проходимость территории. Эти два фактора вносят свой вклад в затраты на перемещение через каждую ячейку результирующего растра стоимости. Для его

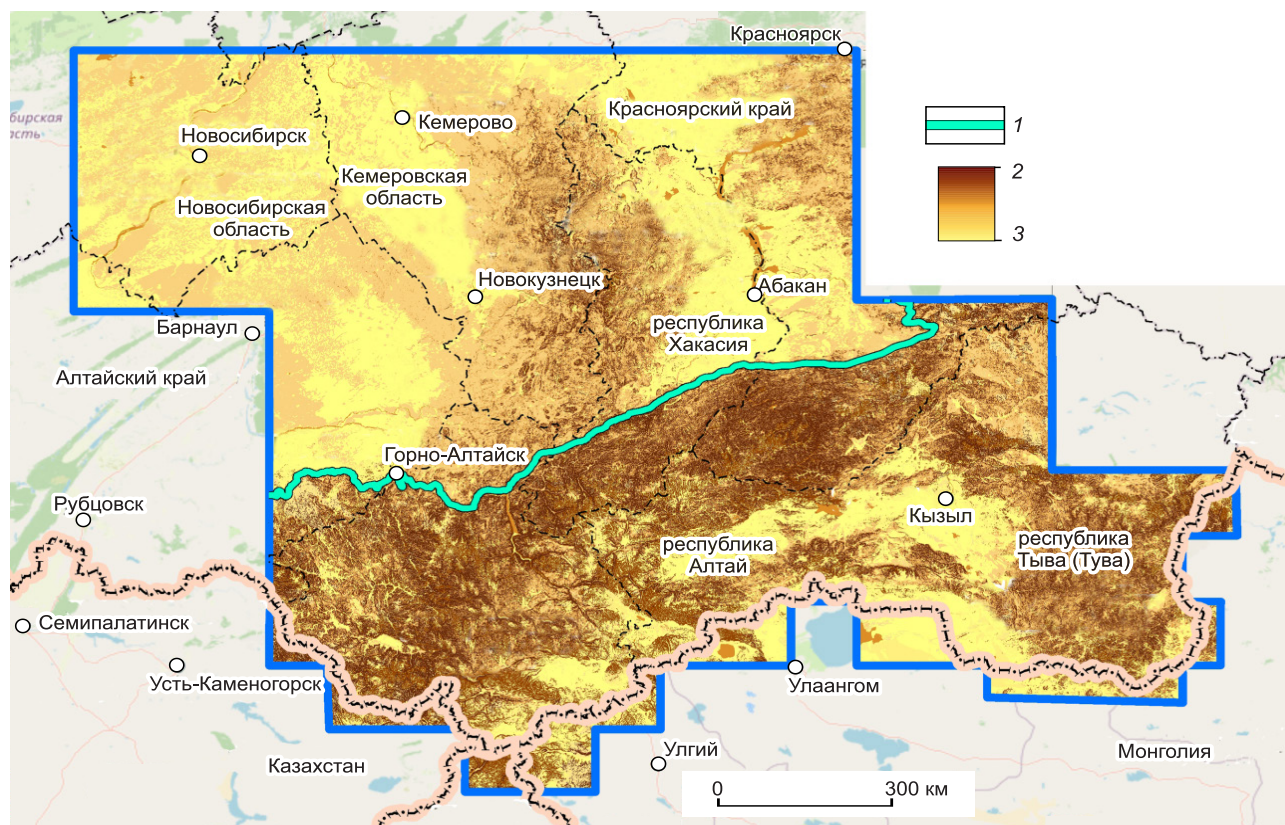


Рис. 5. Поверхность проходимости местности (более тёмные цвета соответствуют труднопроходимым участкам):

1 – граница северной и южной частей территории, построенная в полуавтоматическом режиме относительно поверхности проходимости; поверхность проходимости территории: 2 – сложные условия проходимости, 3 – простая проходимость

получения необходимо было объединить эти растры, предварительно произведя нормирование. Поверхность проходимости уже является нормированной, поскольку представляет собой результат наложения двух нормированных растров. Поверхность расстояний от автодорог нормировалась методом, который был использован при нормировании поверхностей, составляющих проходимость.

При осуществлении нормирования значения полученных растровых изображений были приведены к положительным целым числам, с учётом их атрибутов и влияния на стоимость (в условных единицах) перемещения через каждую ячейку растра. Кроме того, применялась дополнительная классификация по диапазонам значений для упрощения процесса взвешивания и суммирования [7].

После этого нормированные поверхности были наложены в равном отношении. Результатом этого наложения является схема транспортной доступности территории АССО (рис. 6). Каждая ячейка результирующего изображения демонстрирует «стоимость» (в условных единицах) перемещения.

Индекс освоения территории. На следующем этапе было выполнено наложение поверхностей транспортной доступности и геологической изученности. При этом ячейки этих двух растров накладывались друг на друга, наделяя каждое местоположение усреднёнными атрибутами. Для решения этой задачи растры были линейно нормированы от 1 до 100 с целью приведения их к единой шкале. Кроме того, поверхность транспортной доступности была пересчитана таким образом, чтобы наибольшие значения растра соответствовали участкам, благоприятным для транспортной инфраструктуры. Нормированные поверхности представляют собой индекс транспортной доступности (ИТД) и индекс геологической изученности (ИГИ). Затем после комбинации обработанных поверхностей был построен растр их наложения.

Полученную картину комплексного совмещения ИТД и ИГИ было принято именовать «индексом освоения территории» (ИОТ) (рис. 7). Каждая ячейка итогового растра демонстрирует степень совпадения изученных и неизученных участков с участками разной

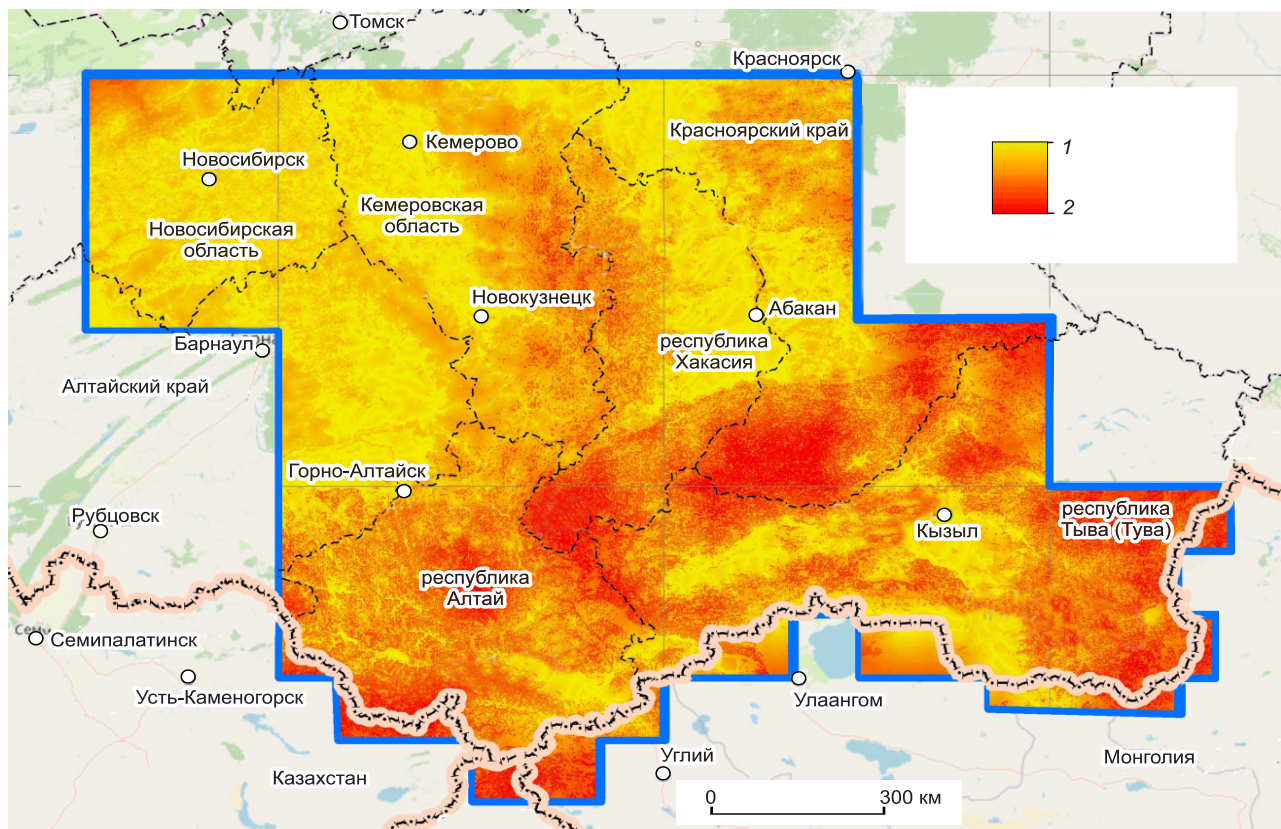


Рис. 6. Схема транспортной доступности западной части АССО:

поверхность транспортной доступности: 1 – высокая доступность, 2 – низкая доступность

степени доступности в процентах, которая основывается на анализе целого ряда факторов, описанных выше. Таким образом, можно понять, насколько проведение ГРП в той или иной точке пространства зависело от удобства для перемещения до неё.

Поверхность ИОТ наиболее ярко демонстрирует разницу северной и южной частей АССО с точки зрения освоённости. Вычисление «итоговой границы» было основано на проведении границ геологической изученности (см. рис. 3) и изображениях, использованных для моделирования поверхности и транспортной доступности (см. рисунки 4 и 5). Для этого вдоль линейных объектов (полученных границ) были построены точки через каждые 1000 м. Далее полученный точечный слой использовался для создания «тепловой карты», которая представляет собой поверхность, демонстрирующую плотность точек в каждой её ячейке. Полученный растр разгружался до максимальных значений плотности, и уже по ним была построена «средняя граница». На рис. 7 показаны изолинии, вычисленные из тепловой карты, которые представляют собой вероятность положения «итоговой границы». Получен-

ная линия разделяет поверхность на северную часть с высокими значениями ИОТ и южную с низкими. При этом сама поверхность полностью соответствует этому разделению, что подтверждает правильность подбора весов слияния, применённых на этом и предыдущих этапах.

Обсуждение результатов и выводы. Анализ положения объектов распределённого фонда недр (РФН) [10] показал, что подавляющее большинство (~80% от общего числа объектов на территории АССО) находится на участках с высокими показателями ИОТ. Для объектов нераспределённого фонда недр (НРФН) с прогнозными ресурсами золота категорий P_1 и P_2 также характерна высокая степень показателей ИОТ площадей их расположения (~70% объектов). Геологическое доизучение отдельных участков и повышение их освоённости может привести к обнаружению перспективных объектов, что повысит инвестиционную привлекательность территорий и приведёт к развитию инфраструктуры. Вероятен и обратный процесс: развитие транспортной инфраструктуры региона повысит его освоённость и облегчит процесс проведения ГРП, что, вероятно, приведёт к обнаружению

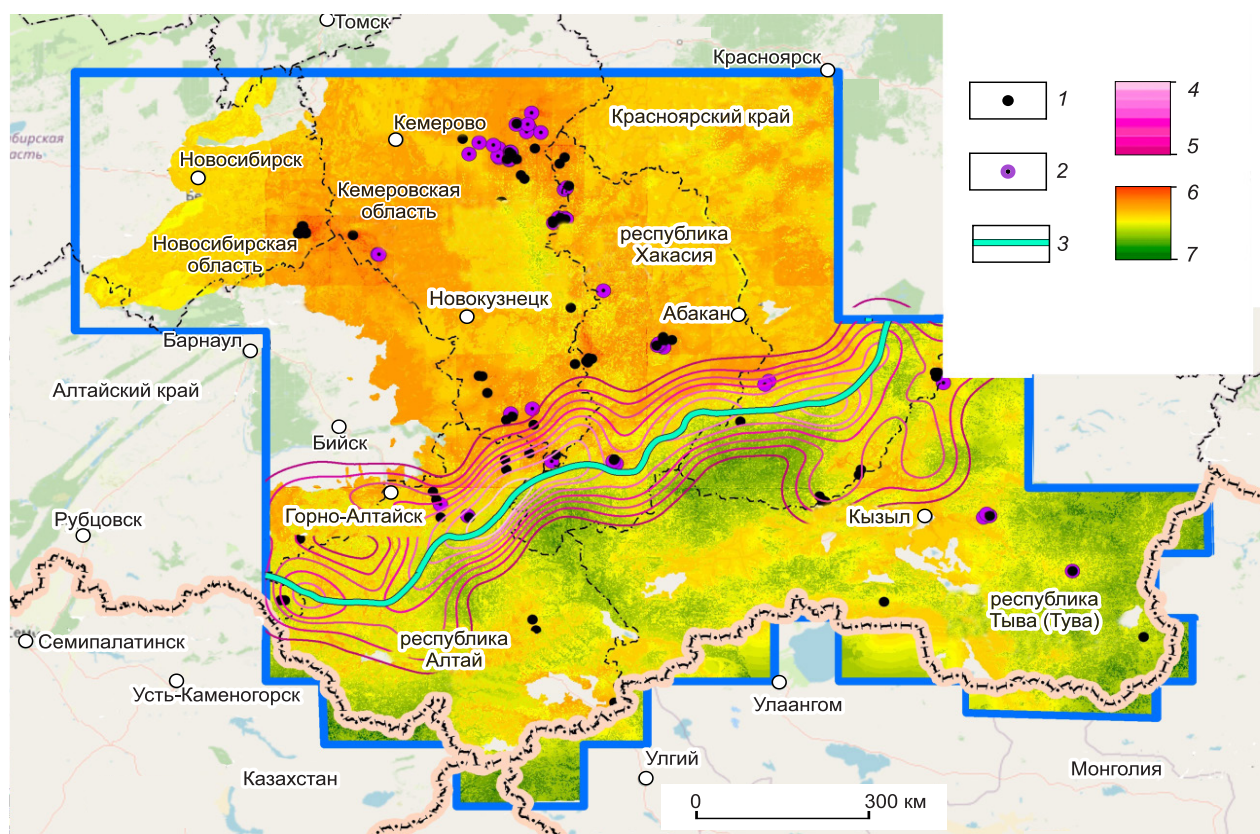


Рис. 7. Результат наложения плотности изученности и степени транспортной доступности:

объекты: 1 – нераспределённого фонда недр (НРФН), 2 – распределённого фонда недр (РФН); 3 – «итоговая граница» северной и южной частей территории, построенная в полуавтоматическом режиме; изолинии вероятности положения «итоговой границы»: 4 – высокая вероятность, 5 – низкая вероятность; поверхность наложения ТД и ГИ – индекс освоения территории: 6 – высокие значения (до 100), 7 – низкие значения (от 1); неоген-четвертичные осадки исключены

перспективных площадей в благоприятных геологических условиях.

Наиболее общую картину освоения можно получить, проанализировав распределение не только известных месторождений и проявлений, но и металлогенических зон, рудных районов и узлов. Для анализа использовался фрагмент «Прогнозно-минерагенической карты...» [2]. Методами зональной статистики были посчитаны средние значения поверхности освоённости в контуре каждого металлогенического таксона (рис. 8). Показатели меняются от 29–34% в рудных узлах Республики Тыва и до 60–70% в некоторых рудных узлах Салаира и Горной Шории. Значения выше 50% авторы принимают как высокие показатели ИОТ. Прослеживается очевидная корреляция пространственного распределения металлогенических подразделений относительно поверхности освоения региона. То есть металлогенические подразделения выделяются в изученных местах, обеспеченных транспортной инфраструктурой. Положение «итоговой границы» подтверждает этот вывод.

Данная закономерность позволяет сделать вывод о том, что выделение разноранговых металлогенических таксонов проводилось по наличию месторождений и проявлений, выявление которых определялось во многом доступностью и степенью изученности территории. Между тем принципы выделения металлогенических таксонов подразумевают оконтуривание рудоперспективных структур, площади развития рудогенерирующих и рудовмещающих комплексов пород вне зависимости от степени доступности и изученности территорий.

В 1950–1980-е годы развитие транспортной инфраструктуры в Советском Союзе осуществлялось по принципу государственного долгосрочного планирования освоения территорий, в то время как вопросы коммерческих рисков и неопределённости носили второстепенный характер. Государство вкладывало деньги в развитие инфраструктурных проектов, что, в свою очередь, способствовало развитию геологоразведочных работ и горнодобывающей промышленности. В современных условиях предполагается, что

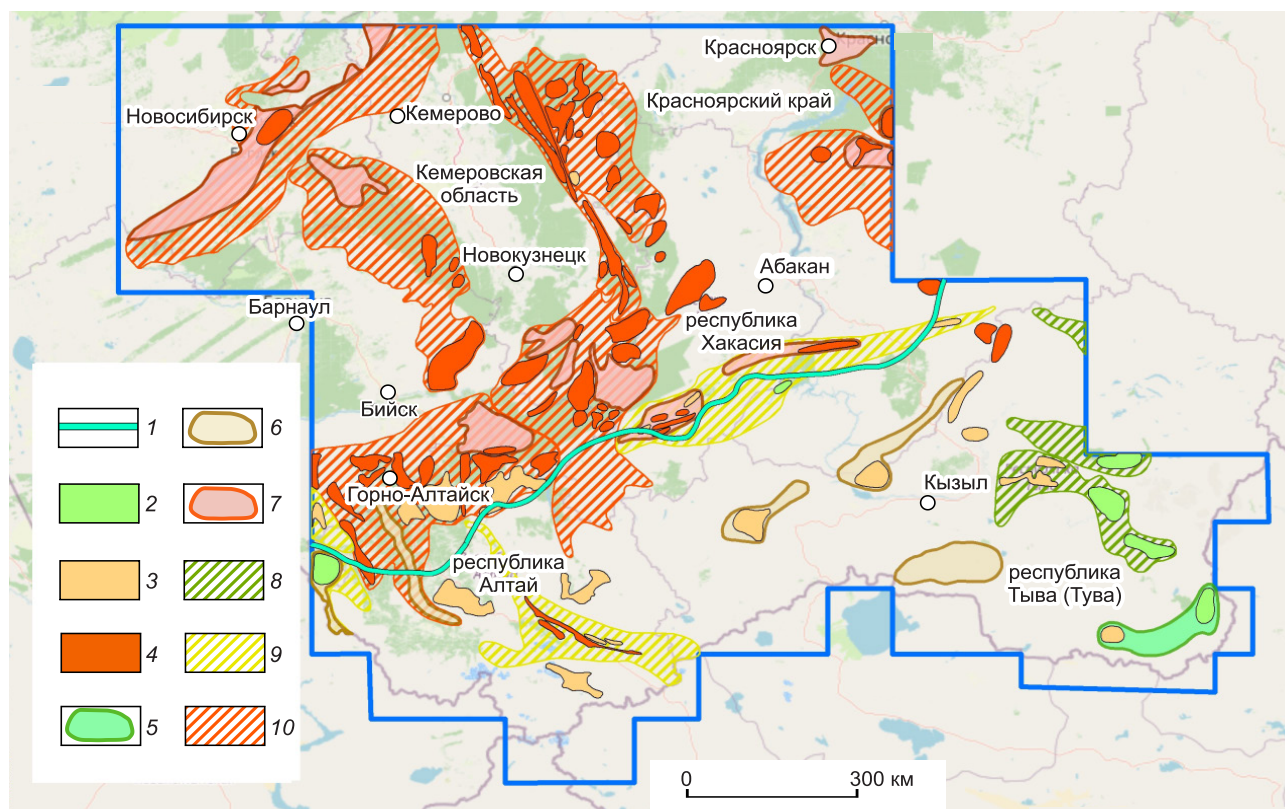


Рис. 8. Схема распределения средней освоенности (в %) металлогенических зон, рудных районов и узлов южной и западной частей АССО. Составлена с использованием Прогнозно-минерагенической карты [2]:

1 – «итоговая граница» северной и южной частей АССО; рудные узлы (в %): 2 – <40, 3 – 40–50, 4 – >50; рудные районы (в %): 5 – <40, 6 – 40–50, 7 – >50; металлогенические зоны (в %): 8 – <40, 9 – 40–50, 10 – >50

всё больше и больше ГРР поисковой стадии будут выполнять небольшие «юниорные» компании, которые обладают мобильностью в организации и производстве ГРР. Большие возможности перед недропользователями в этой связи открывает «заявительный» принцип лицензирования, ориентированный в Сибири пока на участки без апробированных ресурсов категорий P_1 и P_2 .

Выполненный авторами анализ свидетельствует о высокой степени изученности на золото и освоенности северной части АССО. Южная горная часть изучена гораздо слабее. При этом многие её районы характеризуются наличием золотоносных структур, рудогенерирующих и рудоматеринских комплексов, прямых и косвенных поисковых признаков золотого оруденения. При значительно более слабой изученности здесь выделены перспективные золоторудные районы (Кизас-Анзасский, Восточно-Таннуольский и др.), характеризующиеся аналогичным типом золотой минерализации с более изученными районами северной части АССО (Мартайгинский, Мрасский и др.). Использование современных технологий про-

изводства ГРР, транспортные средства и мобильное цифровое оборудование открывают новые возможности для развития ГРР на золото в южной горной части АССО.

Таким образом, проведённые исследования позволили разработать алгоритм количественной оценки транспортной доступности и геологической изученности территорий, что даёт возможность для сравнительного анализа. Комбинация этих показателей позволила ввести понятие «индекса освоения территории». Наблюдается прямая зависимость геологической изученности и транспортной доступности. ИОТ Алтае-Саянской складчатой области напрямую зависит от особенностей рельефа: выделяются южная горная часть, которая характеризуется низкими показателями, и северная – более высокими.

Количественный анализ геологической изученности АССО на золото свидетельствует о её неоднородности и наличии как хорошо, так и плохо изученных площадей. Особого внимания заслуживает территория Республики Тыва с известными признаками золотоносности и слабой изученностью.

Существующие представления о золотоносности АССО и металлогеническом районировании определяются не только геологическими причинами, но и степенью транспортной доступности и современным состоянием геологической изученности.

Передовые технологии проведения ГРР, современные транспортные средства и оборудование открывают новые возможности для освоения южной горной части АССО. Здесь необходимо проведение ГРР в слабоосвоенных районах, характеризующихся не только прямыми, но и косвенными поисковыми признаками золота и благоприятными геологическими условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антонец А. В.* Использование ГИС для оценки транспортной доступности участков недр на территории Алтае-Саянской складчатой области // Материалы IX Российской молодежной научно-практической Школы «Новое в познании процессов рудообразования». – М.: ИГЕМ РАН, 2019.
2. *Афанасьева Н. И., Белова В. Н., Беневольский Б. И.* и др. Прогнозно-минерогеническая карта Российской Федерации и её континентального шельфа масштаба 1:2 500 000 // Под ред. О. В. Петрова (главный редактор), А. Ф. Морозова, В. В. Шатова и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2016.
3. *Черных А. И.* Геолого-минерогеническое картирование на золото масштаба 1:500 000 северо-западной части Алтае-Саянской складчатой области (задачи, методики, результаты) // Известия Томского Политехнического Университета. Науки о земле. – 2009. – Т. 314, № 1. – С. 16–22.
4. *Черных А. И., Арсентьева И. В., Брысин М. П.* Минерально-сырьевая база коренного золота Республики Хакасии состояние и направления ее развития // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 12–21.
5. *Chernykh A. I.* The specific features of gold metallogeny and associated mineralization in the Western part of Altai-Sayan folded area (Russia) // 19th International Multidisciplinary scientific Geoconference & Expo SGEM 2019. – V. 19. – P. 669–676.
6. *Vahrushev A. M., Fedorenko S. V., Muravyev V. S.* Heterogeneous data and software use for Russian mineral resources complex monitoring and analysis // V International Conference Information Technologies in Earth Science and Applications for Geology, Mining and Economy ITES&MP-2019.
7. *Автоматизированная система лицензирования недропользования* [Электронный ресурс]. – URL: [https://asln.rosnedra.gov.ru/-umR1CUYGKQHxwrHyde5dW/\\$/13](https://asln.rosnedra.gov.ru/-umR1CUYGKQHxwrHyde5dW/$/13). (дата обращения 15.06.2019)
8. *Каталог геологической изученности* [Электронный ресурс]. – URL: <http://geol.irk.ru/izuch/index>. (дата обращения 15.06.2019)
9. *Настольная ГИС* [Электронный ресурс]. – URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/>. (дата обращения 15.06.2019)
10. *OpenStreetMap* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.openstreetmap.org/>. (дата обращения 20.06.2019)
11. *United States Geological Survey* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.usgs.gov/>. (дата обращения 20.06.2019)

REFERENCES

1. *Antonets A. V.* Ispol'zovaniye GIS dlya otsenki transportnoy dostupnosti uchastkov neдр na territorii Altaye-Sayanskoй skladchatoy oblasti [The use of GIS to assess the transport accessibility of subsoil areas in the Altai-Sayan folded region], Materialy IX Rossiyskoy molodozhnoy nauchno-prakticheskoy Shkoly "Novoye v poznanii protsessov rudoobrazovaniya", Moscow, IGEM RAN publ., 2019. (In Russ.)
2. *Afanasyeva N. I., Belova V. N., Benevol'skiy B. I.* et al. Prognozno-mineragenicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii i yeye kontinental'nogo shel'fa masshtaba 1:2 500 000. FGBU «VSEGEI» [Forecast-mineragenic map of the Russian Federation and its continental shelf at a scale of 1: 2,500,000. FSBI VSEGEI], Pod red. O. V. Petrova (glavnyy redaktor), A. F. Morozova, V. V. Shatova et al., St. Petersburg, VSEGEI publ., 2016. (In Russ.)
3. *Chernykh A. I.* Geologo-mineragenicheskoye kartirovaniye na zoloto masshtaba 1:500 000 severo-zapadnoy chasti Altaye-Sayanskoй skladchatoy oblasti (zadachi, metodiki, rezul'taty) [Geological and mineragenic mapping for gold on a scale of 1: 500,000 of the northwestern part of the Altai-Sayan folded region (tasks, methods, results)], Izvestiya Tomskogo Politekhnicheskogo Universiteta, 2009, V. 314, No. 1, Nauki o zemle, P. 16–22. (In Russ.)
4. *Chernykh A. I., Arsent'yeva I. V., Brysin M. P.* Mineral'no-syr'yevaya baza korennoгo zolota Respubliki Khakasii sostoyaniye i napravleniya yeye razvitiya [Mineral and raw materials base of indigenous gold in the Republic of Khakassia, the state and directions of its development], Otechestvennaya geologiya, 2018, No. 2, P. 12–21. (In Russ.)
5. *Chernykh A. I.* The specific features of gold metallogeny and associated mineralization in the Western part of Altai-Sayan folded area (Russia). 19th International Multidisciplinary scientific Geoconference & Expo SGEM 2019. V. 19. P. 669–676.
6. *Vahrushev A. M., Fedorenko S. V., Muravyev V. S.* Heterogeneous data and software use for Russian mineral resources complex monitoring and analysis. V International Conference Information Technologies in Earth Science and Applications for Geology, Mining and Economy ITES&MP. 2019.
7. *Automated subsoil licensing system*, available at: [https://asln.rosnedra.gov.ru/-umR1CUYGKQHxwrHyde5dW/\\$/13](https://asln.rosnedra.gov.ru/-umR1CUYGKQHxwrHyde5dW/$/13) (15.06.2019)
8. *Geological exploration catalog*, available at: <http://geol.irk.ru/izuch/index> (15.06.2019)
9. *Desktop GIS*, available at: <https://desktop.arcgis.com/ru/> (15.06.2019)
10. *OpenStreetMap*, available at: <https://www.openstreetmap.org/> (20.06.2019)
11. *United States Geological Survey*, available at: <https://www.usgs.gov/> (20.06.2019)