

АНАЛИЗ РУДОНОСНОСТИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЕМ СТРУКТУРНЫХ ПАТТЕРНОВ ПОЛЕЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ (ДАЛЬНЕГОРСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, ПРИМОРЬЕ)

С. Л. Шевырев*, В. Г. Хомич**

*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток,

**Дальневосточный геологический институт, Владивосток

Поступила в редакцию 25 января 2012 г.

Аннотация. Дешифрированием полей трещиноватости по космическим снимкам установлены количественные структурные характеристики продуктивной гидротермальной системы Дальнегорского рудного района. Выявлена связь рудонасыщенности гидротермальной системы и ее структурных характеристик. Рассмотрены прогнозные имплементации методики анализа дистанционных данных с применением нейросетей.

Ключевые слова: поля трещиноватости, гидротермальная система, прогноз рудоносности, дистанционные материалы, нейросети.

Abstract. By the recognition of fracturing fields in the space images, quantitative structural characteristics are obtained for hydrothermal system of Dalnegorsk ore district. Relationships between hydrothermal system ore productivity and its structural characteristics are revealed. Forecast implementations of space images data analysis with neural networks are considered.

Key words: fracturing fields, hydrothermal system, forecast of ore-bearing structures, space images, neural networks

Введение

В последние десятилетия существенно возросли качество дистанционных данных и возможности их применения в практической геологии. Решить проблему эффективности прогноза можно углубленным изучением эталонных рудных районов с использованием структурных характеристик флюидной проницаемости через параметры сети трещиноватости.

Целью данного исследования явилось создание модели наиболее изученного в Приморье Дальнегорского рудного района на основе сопоставления парагенезиса дешифрирующихся структурных параметров и условий локализации рудных объектов.

Структурное положение и геологическая характеристика эталонного Дальнегорского рудного района

Район расположен вблизи побережья Японского моря на площади внутренней зоны Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (ВСАВП), формирование которого связывается с процессами субдукции Тихоокеанской плиты под

восточную окраину Азиатского континента, происходившими в позднем мелу-палеоцене [1]. Этими же процессами обусловлена и поперечная зональность пояса, выраженная в смене (от побережья Японского моря внутрь континента, т.е. с востока на запад) внутренней вулканической зоны, внешней вулканоплутонической, а затем и периферической, преимущественно, интрузивной. Все они хорошо выделяются в поле силы тяжести [2].

В геодинамическом отношении ВСАВП рассматривается как постааккреционное сооружение, в котором вулканы пояса перекрывают покровно-складчатые вулканотерригенные комплексы, принадлежащие разным фрагментам четырех основных террейнов: юрскому аккреционному (Самаркинскому), юрско-раннемеловому турбидитовому (Журавлевскому), неокомскому аккреционному (Таухинскому) и баррем-альбскому островодужному (Кемскому).

Металлогенические зоны Приморья конформны террейнам и также вытянуты в северо-восточном направлении. С запада на восток зафиксирована последовательная смена порфирирового медномолибденового ($\pm Au, Ag$), молибденового ($\pm W, Sn, Bi$), а также вольфрамового ($\pm Mo, \pm Be$) оруденения Самаркинской зоны, оловоносным ($\pm W$) орудене-

нием с месторождениями Sn порфировой, сульфидной, силикатной и кварцевой формаций Журавлевской (Главной оловоносной) зоны и, наконец, полиметаллическими, боросиликатными, касситерит-сульфидными месторождениями Таухинской зоны. Важно отметить, что некоторые исследователи подчеркивают решающую роль в металлогенической специализации перечисленных зон условий генерации магматических образований, с которыми ассоциируют проявления эндогенного оруденения [6].

Вместе с тем, существуют обоснования [7, 8], что металлогеническая специализация зон отражает степень эродированности протяженных колонн рудно-магматических систем (в диапазоне 15–20 км).

Дальнегорский рудный район находится в центральной части Таухинской металлогенической зоны (ТМЗ) и характеризуется преимущественным сосредоточением месторождений свинца и цинка разного типа (скарнового, жильного, прожилково-вкрапленного порфирового), а также присутствием месторождений бора, олова, серебра и золота.

В целом для ТМЗ характерно весьма сложное строение с участием разновозрастных геологических комплексов, принадлежащих двум структурным этажам (рис. 1). Нижний из этажей (фундамент) представлен породами тектоно-стратиграфического комплекса из меловых (берриас-валанжинских) флишоидных толщ, содержащих глыбово-брекчиевые горизонты (олистоостромы и олистоплаки) из триас-юрских кремней, кремнистых сланцев, радиоляритов, базальтов, средне-верхнетриасовых известняков. В этом покровно-складчатом комплексе выделены и детально охарактеризованы автохтонная, олистоостромовая, аллохтонная и неавтохтонная породные ассоциации, разбитые разноориентированными разломами на секции, перемещенные относительно друг друга и по латерали и по вертикали на значительные расстояния [3, 9]. В блоках закартированы складки с вертикальными, круто-, пологонаклонными и горизонтальными шарнирами и моноклинами.

Верхний (вулканогенный) этаж сложен мелопалеогеновыми эффузивно-пирокластическими и вулканогенно-осадочными толщами, принадлежащими полно-, неполнодифференцированной и контрастной сериям, в каждой из которых разрез начинается молассоидными отложениями, затем сменяется средне-основными вулканитами, которые перекрываются эффузивно-пирокластическими накоплениями кислого состава [10]. Первая из

серий объединяет молассоидные накопления (с туфами кислого и среднего состава) петрозеевской (альб-сеноман), андезитойды синанчинской (сеноман-турон) и риолитойды приморской (турон-кампан) свит. Ко второй серии относят отложения самаргинской (маастрихт, с молассоидами и слоистыми туфами риодацитов в низах, перекрытых покровами андезитов и андезибазальтов) и богопольской (маастрихт-даний, лавы игнимбригов, игниспумитов и спекшихся туфов риолитов) свит. К третьей серии причисляют молассоиды тадушинской (даний) и туяновской (палеоцен-миоцен) свит [3].

Интрузивные образования, комагматичные вулканическим накоплениям перечисленных серий, группируются в три комплекса: приморский (турон-сантон), дальнегорский (маастрихт-даний) и малых интрузий (палеоцен-эоцен). Приморский комплекс представлен преимущественно гранитоидами (граниты, гранодиориты, диориты); в дальнегорском распространены породы более широкого спектра: от габбро до лейкогранитов, но преобладают кварцевые диориты; к третьему комплексу причислены протяженные пояса даек основного состава.

Детально изучавшие рудный район специалисты разделили процессы рудообразования в ТМЗ на несколько этапов, синхронных проявлениям магматизма [3, 11]. С наиболее ранним (приморским) этапом они связывают возникновение скарнового боросиликатного месторождения и проявлений касситерит-пирит-галенит-сфалеритовых прожилково – вкрапленных руд. В последующий (самаргинско-дальнегорский) этап в скарнах, терригенных породах и вулканитах формировались месторождения свинцово-цинковых руд (иногда с Sn), в т.ч. жильные и гнездово-вкрапленные. Согласно геохронологическим определениям (K-Ar, Ar-Ar методы) период их формирования составляет более 10 млн лет (69–57 млн лет). Более поздний (богопольский) этап формирования оруденения характеризуется золото-серебряной, серебро-сульфосольной, а иногда и оловянной минерализацией, сопряженной с проявлениями внутриплитного магматизма.

Разломная тектоника в районе чрезвычайно сложна и разнообразна [3]. В генетическом отношении выделяют конседиментационные тектонические покровы, сдвиги (и сопутствующие складчатые и чешуйчато-надвиговые дислокации), синвулканические сбросы, сбросо-сдвиги, сдвиги и раздвиги. По глубине заложения выделяют гра-

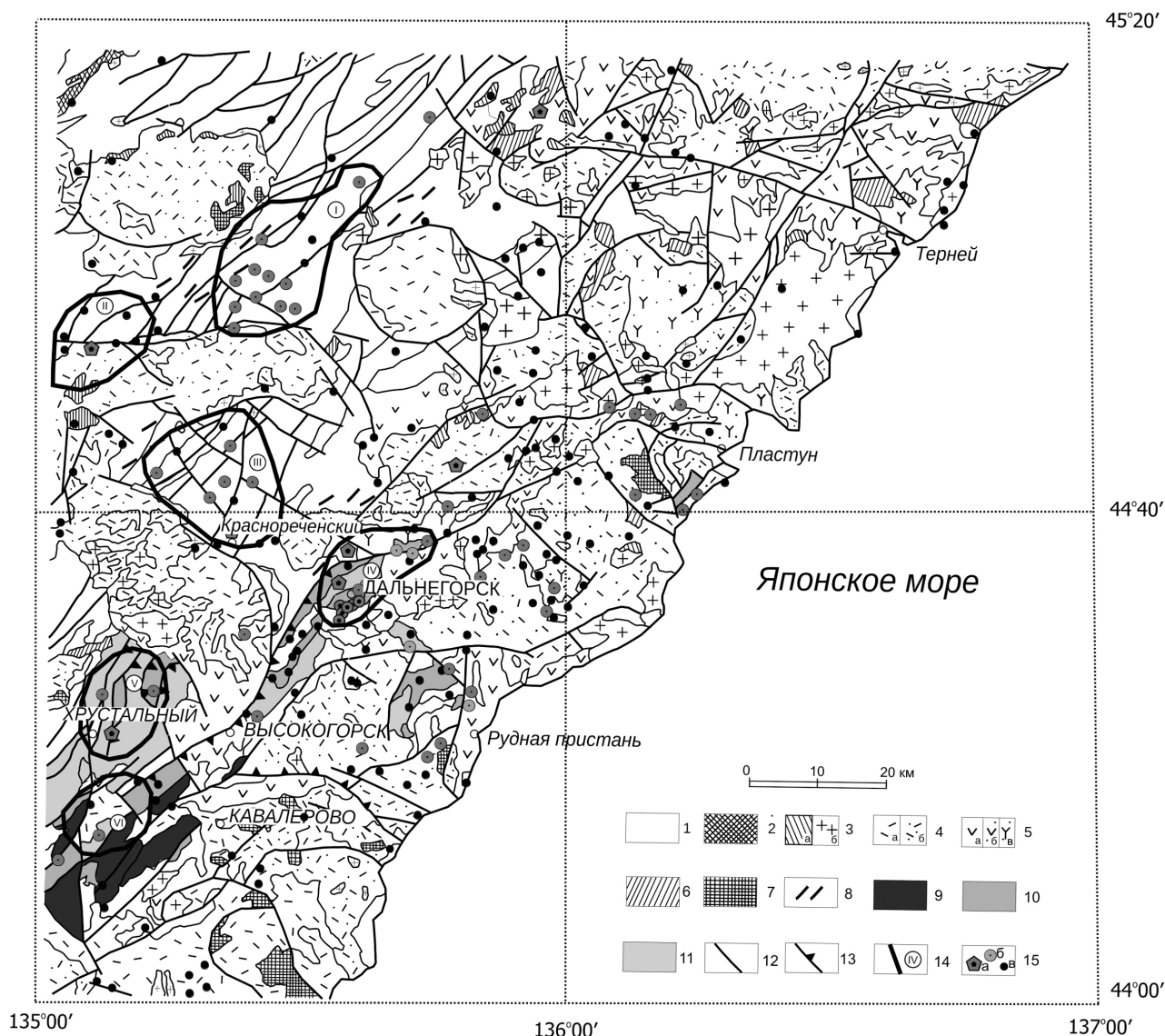


Рис. 1. Схема геологического строения Дальнегогорского района и прилегающих территорий с некоторыми изменениями (по [15]): 1 – терригенные породы фундамента ВСАВПП; 2–3 – интрузивные породы верхнего мела: 2 – габбро бачелазского комплекса, 3 – приморский комплекс (а – кварцевые диориты, монцитониты, диориты; б – граниты); 4 – верхнемеловые риолиты (а) и туфы риолитов (б); 5 – субвулканические и вулканические породы нижнего и верхнего мела (а – андезиты самаргинской и синанчинской свит, б – их туфы, в – вулканиты разного состава); 6 – субвулканические андезиты и андезибазальты верхнего мела; 7 – палеогеновые андезиты, дациты, андезибазальты; 8 – дайки риолитов (палеоген); 9–11 – аккреционные терригенно-карбонатные и кремнистые комплексы: 9 – пермские, 10 – триасовые, 11 – юрские; 12 – разрывные нарушения; 13 – надвиги; 14 – рудные узлы (I – Октябрьский, II – Дальнинский, III – Краснореченский, IV – Дальнегорский, V – Хрустальненский, VI – Лиственный); 15 – рудные объекты по классификации ВСЕГЕИ: а – месторождение среднее, б – месторождение малое, в – рудопроявление

витационные, коровые и мантийные разломы. Наиболее крупным из них, проникающим на глубину 20–35 км, является Прибрежный. Он представлен зонами динамометаморфизма, дробления, расланцевания, смятия, катаклаза и милонитизации пород мощностью в десятки и сотни метров, образуя вместе со своим сателлитом сдвиговый

дуплекс, где и сосредоточена основная масса рудных и нерудных месторождений.

В районе широко распространены и другие сдвиги северо-восточного простирания, с которыми сопряжены нарушения (II порядка) северо-западной ориентировки. Перемещения крыльев сдвигов произошли, в основном, в альбе до фор-

мирования вулканогенного чехла. Позднее, в сеноман-датское время наиболее активными (магмоподводящими) были северо-западные сбросо-раздвижки, к тому же ограничивающие вулканотектонические депрессии. Такую же ориентировку имеет и большинство даек.

Согласно геофизическим исследованиям участки сосредоточения полиметаллической минерализации обнаруживают пространственную связь с прогибом подошвы и поднятием кровли корово-мантийного слоя, совпадая с региональным максимумом аномалий Буге [3]. На гравитационной модели рельефа подошвы вулканических комплексов Дальнегорского рудного района отчетливо видна структурная приуроченность практически всех значимых месторождений свинца и цинка к выступам, горстовым поднятиям фундамента ВСАВПП, а проявлений Ag-полиметаллических, Au-Ag месторождений (Березовское, Майское, Пасечное) к вулканогенному обрамлению горстов на расстоянии до 1–4 км от границ выступов.

По результатам морфоструктурных исследований [2, 12], Дальнегорский рудный район отнесен к северной окраине Кавалеровско-Дальнегорского сводово-глыбового поднятия в пределах Южно-Сихотэ-Алинского свода, где сосредоточена значительная часть рудоконтролирующих радиально-концентрических элементов инфраструктуры. Однако анализ соответствия таких морфоструктур скрытым интрузивно-купольным сооружениям (ИКС), выделенным по результатам геолого-геофизических исследований, показал, что «... между ними наблюдается либо частичное пространственное совпадение (Тернейская, Ольгинская), либо полное отсутствие такового (Артцевская, Бринеровская, Дальнегорская, Высокогорская, Щербакская ИКС)» [3, с. 85].

Приведенные геолого-геофизические и геоморфологические материалы раскрывают основные особенности структурной позиции Дальнегорского рудного района и закономерности распределения на его площади проявлений эндогенной минерализации. Эту информацию можно использовать при анализе рудоносности сопредельных территорий, исследуя структурные паттерны полей трещиноватости, получаемые анализом космических снимков.

Исходные материалы и методика анализа

В основе исследования лежит представление о *продуктивной гидротермальной системе* – участке земной коры, обладающей такими свойствами

трещинной перколяционной структуры, которая позволяет рудоносным флюидам мигрировать, а при наличии благоприятных условий формировать промышленно значимые рудные скопления.

Гидротермальная флюидопроводящая система является геологической *диссипативной структурой* (в теории И.Р. Пригожина), а следовательно, обладает структурными параметрами организации, которые могут быть количественно учтены [13]. Необходимо отметить, что при дистанционном анализе изучается не собственно структура, а ее двумерное отображение на плоскости дистанционного изображения.

Элементы трещинной сети разделяются на две группы – *первого порядка* (линейные разломы, протяженностью десятки-сотни километров, секущие геологические и геоморфологические структуры), и *второго порядка* (локальные разрывы, нашедшие отражение в элементах орографической сети). Для количественного описания сети использовались такие структурные параметры (СП), как: *плотность (Pl)*, *изотропность (Is)*, *фрактальная размерность Минковского (D_m)*, *плотность точек взаимных пересечений линеаментов первого порядка (Int)*, *плотность азимутальных выборок линеаментов (Pl_{az})*. К буквенным обозначениям СП добавляются индексы в зависимости от принадлежности расчета для линеаментов первого (1) или второго (2) порядка.

В соответствии с необходимостью проведения классификации территорий по степени рудоносности вводится понятие *структурного паттерна* (от англ. *pattern* – узор, рисунок) – соотношения значимых СП элементарной единицы оцениваемой площади, характерного для геологических объектов, обладающих определенными признаками (в нашем случае, наличием гидротермального оруденения). Таким образом, использование прогнозной методики основано на установлении связи рудоносности эталонных объектов и *структурных паттернов* исследуемых территорий.

Фактическим материалом для настоящей работы явились опубликованные данные об особенностях структуры Дальнегорского рудного района [3, 11, 14], государственная геологическая карта масштаба 1 : 1 000 000 [15] и синтезированные космические снимки Landsat ETM+ с пространственным разрешением до 15 м.

Методика анализа инфраструктуры эталонных и потенциально перспективных рудоносных гидротермальных систем заключалась в покрытии исследуемой территории сетью элементарных

ячеек и их классификацией по рассчитанным структурным параметрам.

Линейные объекты КФС выявлялись по синтезированным снимкам Landsat 7 ETM+ с пространственным разрешением до 15 м. Полученные схемы распределения СП сопоставлялись с известными рудными объектами на единой картографической основе. Классификацией площадей по абсолютным значениям отдельных СП, отличных от среднего на величину, кратную стандартному отклонению, удалось выявить приуроченность большей части рудных объектов к повышенным значениям параметров Pl и D_m рисунка линеаментов, что дало возможность выполнить лишь качественное прогнозирование. Опыт исследований только в пределах эталонного рудного района показывает, что для крупномасштабных прогнозов (на уровне отдельных рудных узлов, полей и их групп) этот подход малоэффективен.

Дальнейший анализ показал, что для Дальнегорского рудного района, как для эталонного объекта, необходимо создание карты полей значений *относительной рудоносности (RO)*. Этот параметр характеризует распределение оруденения по площади, то есть учитывает наличие известных месторождений и рудопроявлений, выраженное в относительных единицах измерения. *Структурный паттерн*, отвечающий рудоносности, таким образом, может быть выражен, как некоторая функциональная зависимость:

$$RO = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

где X_n – значимый структурный параметр.

В пределах изображенной на рис. 1 площади, в структурно-тектоническом отношении соответствующей фрагментам Журавлевского, Таухинского и, южной оконечности Кемского террейнов, по дистанционным материалам были рассчитаны поля значений СП для покрытия окон осреднения. Всего было оценено 14 различных СП. Для выделения руководящих рудоконтролирующих СП использовался факторный анализ, и строилась множественная регрессионная модель.

Число ведущих факторов (главных компонент) выбиралось в соответствии со стандартными процедурами оценки с помощью критериев Кайзера и «каменистой осыпи». Для всех СП учитывались факторные нагрузки, как вклад в главные компоненты. В множественной регрессионной модели обращалось внимание на β -коэффициенты параметров, и на этой основе выбирались значимые СП.

В качестве руководящих, таким образом, были отобраны параметры $D_m(1)$, $D_m(2)$, Int . Эти СП были использованы для обучения нейросети на элементарных ячейках территории. В результате был получен обученный персептрон, способный классифицировать *структурные паттерны* элементарных ячеек, присваивая им значения прогнозной RO .

По значениям RO ячейки были выделены два класса: «с неясной перспективностью» и «перспективные».

Для классификации паттернов применялась искусственная нейронная сеть – многослойный персептрон имеющий число входных нейронов по числу руководящих параметров (рис. 2). Искусственный нейрон представляет собой единицу обработки информации в сети. В нем выделяются синапсы (связи), каждая из которых характеризуется своим весом («значимостью»). Сигнал x_i на входе синапса i , связанного с нейроном k , умножается на вес w_{ki} . Синаптический вес искусственного нейрона может принимать положительные и отрицательные значения. Сумматор осуществляет линейную комбинацию сигналов. Функция активации $\varphi(v)$ ограничивает амплитуду выходного сигнала y_k нейрона. Пороговое значение b_k отражает увеличение или уменьшение входного сигнала. Функционирование нейрона k можно представить парой функций:

$$u_k = \sum_{i=1}^m w_{ki} x_i \quad (2)$$

$$y_k = \varphi(u_k + b_k) \quad (3)$$

где x_1, x_2, \dots, x_m – входные сигналы; $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$ – синаптические веса нейрона k , u_k – линейная комбинация входных воздействий. Применение порога b_k дает эффект аффинного преобразования выхода линейного сумматора u_k . В модели (см. рис. 2) постсинаптический потенциал вычисляется по формуле:

$$v_k = u_k + b_k \quad (4)$$

Выходной сигнал нейрона y_k определяется посредством активационной функции – сигмоиды:

$$\varphi(v_k) = \frac{1}{1 + \exp(-av)} \quad (5)$$

где a – параметр наклона сигмоиды. Изменяя этот параметр, можно построить график с различной крутизной (рис. 3). При $a = 0$ сигмоид вырождается в горизонтальную линию на уровне 0,5 [16].

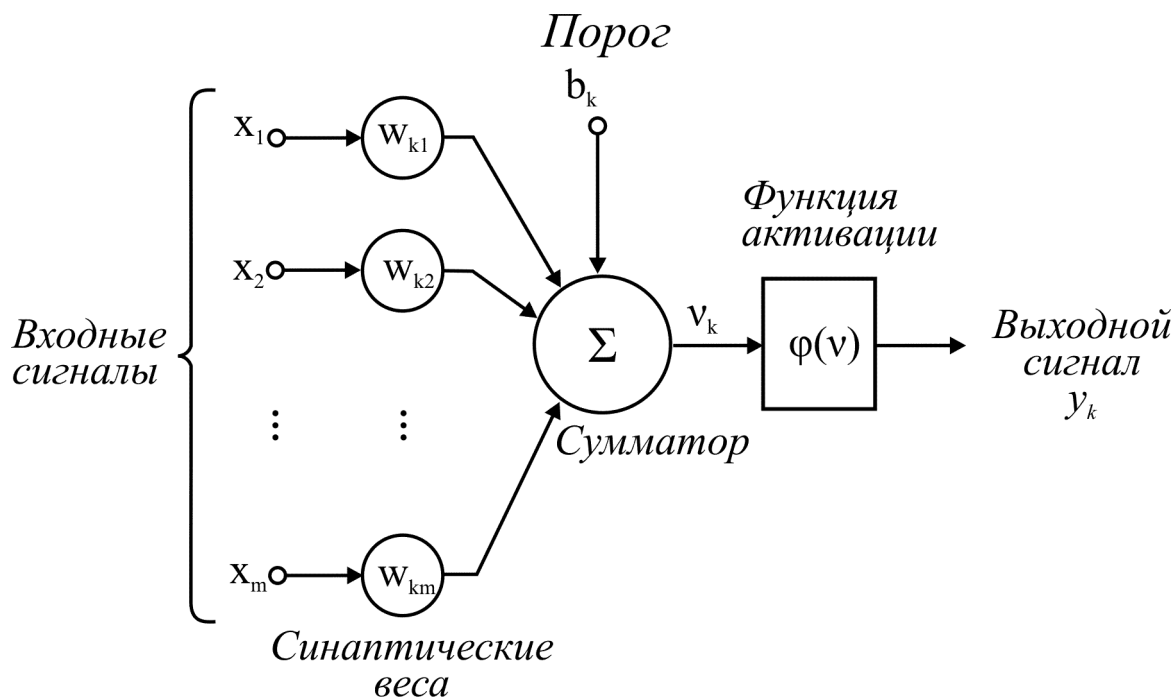


Рис. 2. Схема строения искусственного нейрона (по [16])

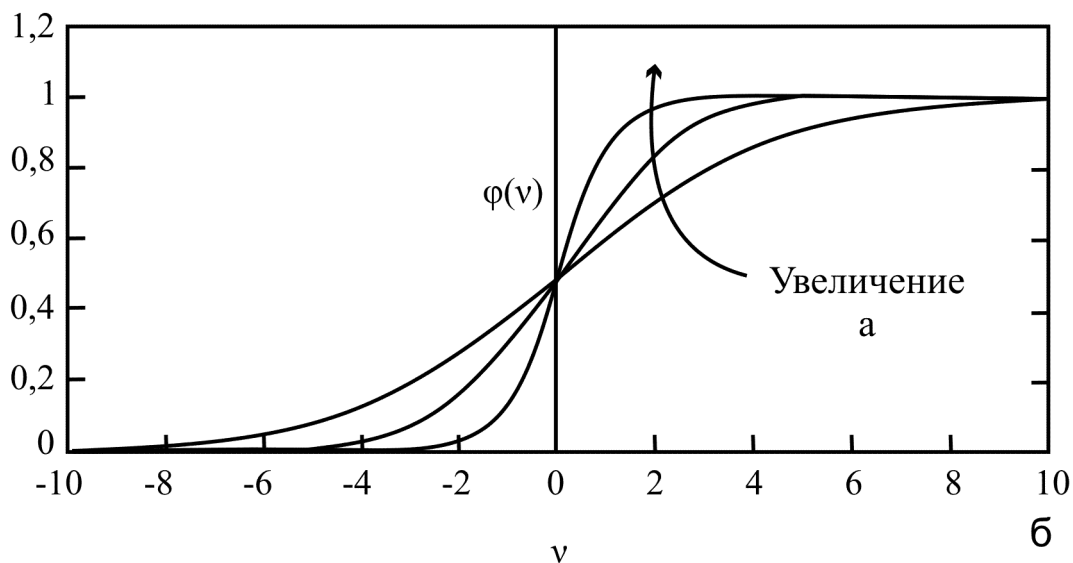


Рис. 3. График функции активации (сигмоиды) (по [16])

Используемый в нашем исследовании перцептрон имеет на входе три нейрона, по числу руководящих параметров ($D_m(1)$, $D_m(2)$, Int), один скрытый промежуточный слой, включающий два ассоциативных нейрона.

Состояние выходного нейрона – аксона, отвечающего рудоносности, определялось сигмоидой (крутизна 1; шаг спуска 0,5; шаг подъема 1,2). При обработке данных нейросетью, входные данные нормализовались к диапазону от -1 до 1 , данные

выходного параметра (RO) от 0 до 1 . В качестве обучающего метода был выбран RProp (Resilient propagation), подразумевающий «оффлайновое» обучение нейрона с коррекцией весов после предъявления всех примеров, описанный [17].

Результаты исследования и выводы

Обучение искусственной нейросети использовалось для решения основных научно-практических задач:

1) выяснения достаточности структурной информации при идентификации рудоносных площадей;

2) восстановления (получения) информации о продуктивной гидротермальной системе по неполным структурным данным (выраженным в % от общего числа ячеек исследованной территории);

3) возможности экстраполяции (переноса) обученной нейросети на участки со сходной структурно-тектонической обстановкой в целях прогноза.

Для классификации продуктивной гидротермальной системы по неполным данным в границах эталонного рудного района выполнялось обучение перцептрона по случайно выбранным смешанным

(как «пустым», так и «рудоносным») ячейкам (рис. 4). Результаты восстановления структуры гидротермальной системы по неполным данным рассматривались в следующих случаях: при обучении по случайно выбранным 25 % (рис. 4, случай А), 35 % (рис. 4, случай Б), 45% (рис. 4, случай В) и, для контроля, 95 % ячеек покрытия территории, соответственно (рис. 4, случай Г).

«Прогнозируемая» рудоносность сопоставлялась с действительным положением рудных объектов (узлов, месторождений и рудопроявлений). Выяснилась высокая степень совпадения зон, образуемых множествами ячеек, перспективных согласно данным прогноза обученной нейросети, с

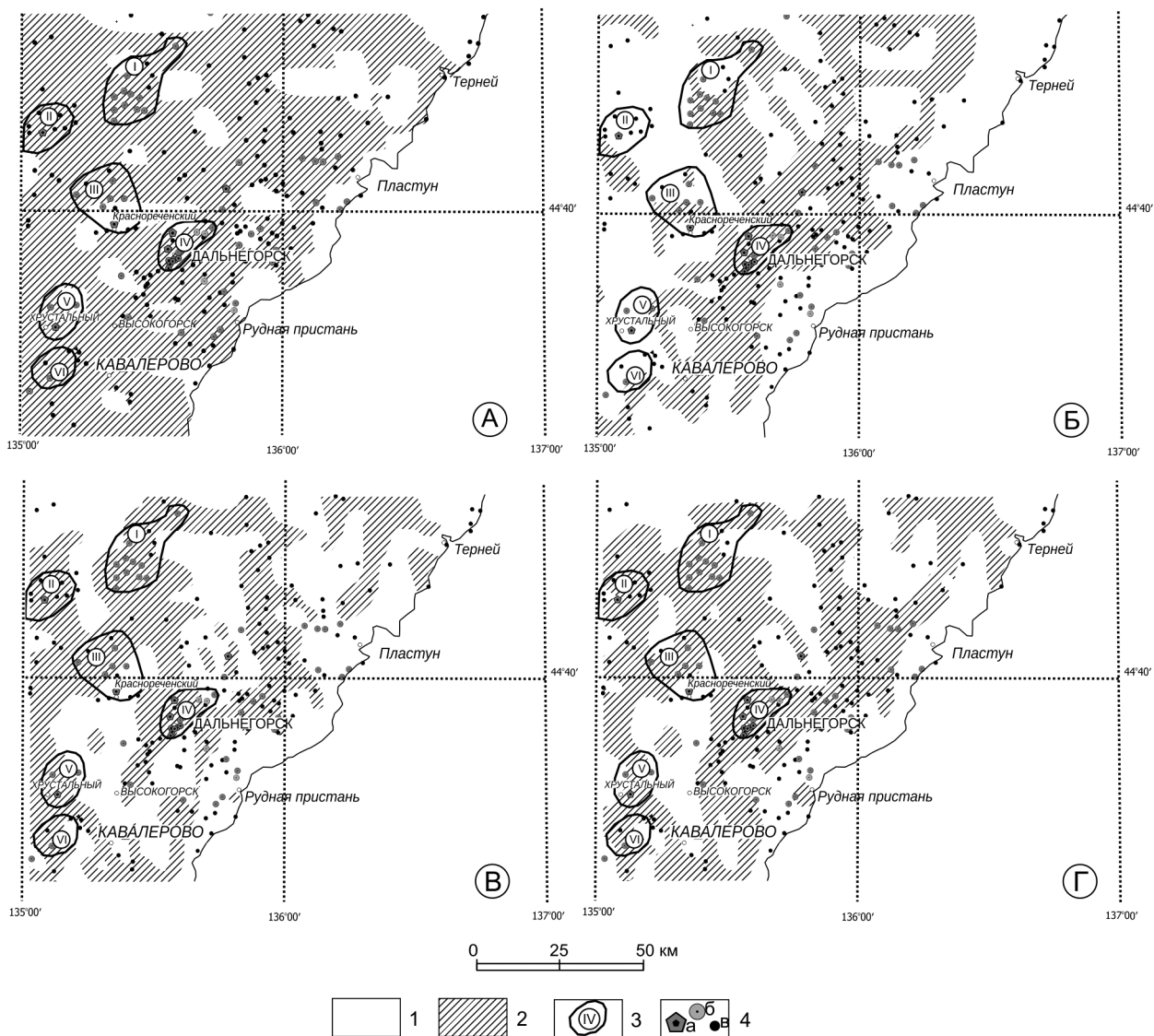


Рис. 4. Результаты применения нейросети для восстановления трещинной рудоносной структуры по неполным данным: 1–2 – типизация площадей: 1 – с неясными перспективами, 2 – потенциально перспективные; 3 – рудные узлы (нумерация см. рис. 1), 4 – рудные объекты по классификации ВСЕГЕИ: а – месторождение среднее, б – месторождение малое, в – рудопроявление. Буквенными индексами А–Г обозначены рисунки с расчетами: А – по 25 % элементарных ячеек, Б – по 35 %, В – по 45 %, Г – по 95 %

действительным положением рудных объектов. При этом осевые линии выделяемых зон соответствуют ориентировке основных региональных

разломов – северо-восточной (Прибрежный разлом) и северо-западной (разломы, ортогональные к Прибрежному разлому) (рис. 5).

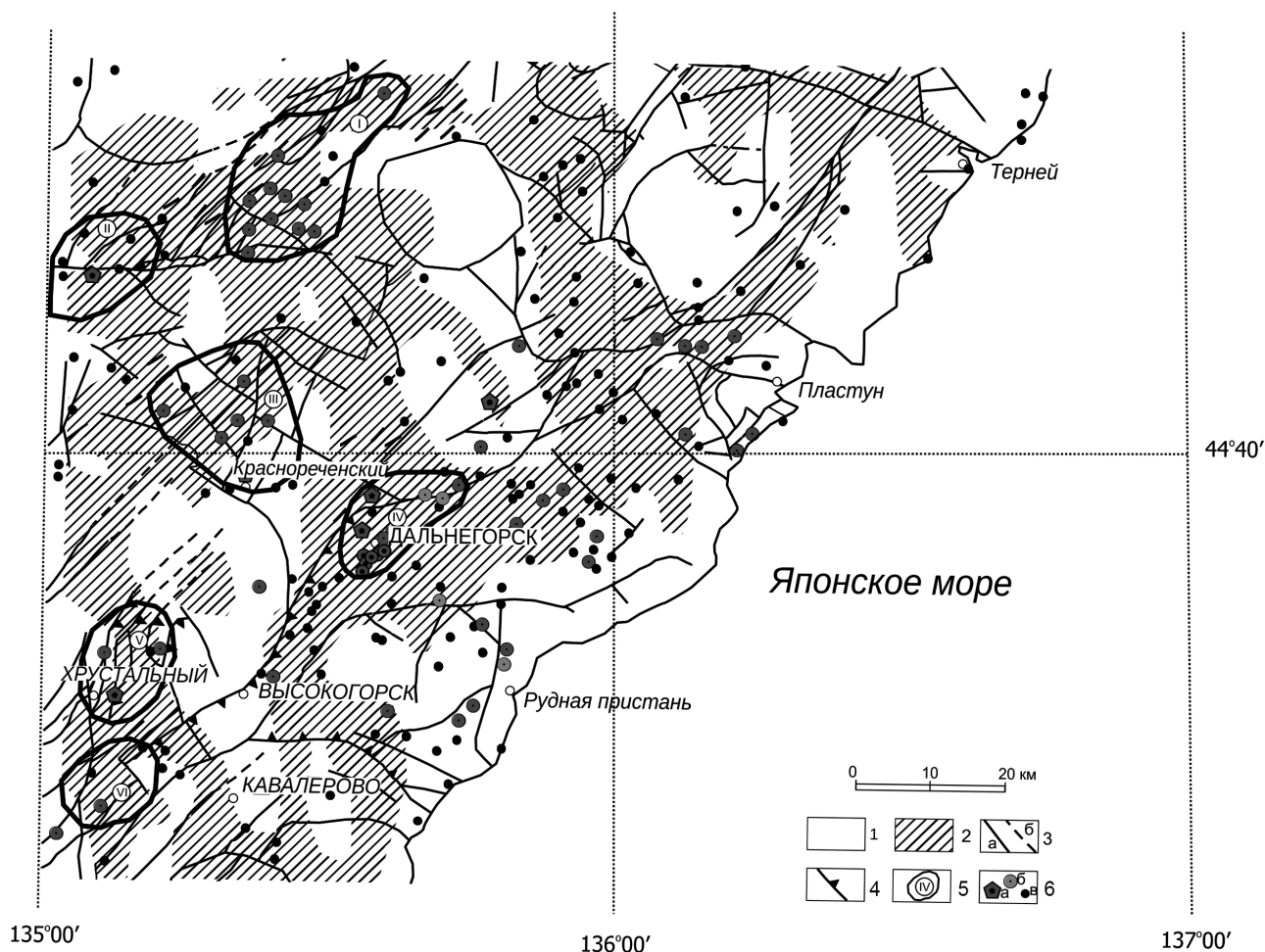


Рис. 5. Сопоставление выделенных обучением нейросети зон с известными разрывными нарушениями Дальнегорского рудного района и прилегающих территорий (сеть обучена по 45 % элементарных ячеек): 1–2 – типовые площади: 1 – с неясными перспективами, 2 – потенциально перспективные; 3 – дизъюнктивы: а – установленные, б – предполагаемые; 4 – надвижки; 5 – рудные узлы (нумерация см. рис. 1); 6 – рудные объекты по классификации ВСЕГЕИ: а – месторождение среднее, б – малое, в – рудопроявление

Установлено, что результаты обучения по 45 % ячеек по качеству приближаются к контрольному прогнозу (обучение по 95 % ячеек). Уже при 45 % ячеек, задействованных в обучении нейросети, в восстановлении целостной картины рудоносной системы эталонного района удалось достичь существенного совпадения известных рудоносных структур с перспективными зонами при значительной доле отбраковываемых «неперспективных» площадей. Представляется, что это может явиться подтверждением гипотезы достаточности структурных паттернов для восстановления гидротермальной структуры по неполным данным, а также классификации потенциально рудоносных площадей по их перспективности, т.е.

структурный паттерн элементарной ячейки может быть использован в качестве прогнозно-поискового признака для целей выделения участков, благоприятных для обнаружения гидротермальных месторождений полезных ископаемых (МПИ) с помощью обучения многослойного персептрона.

Обнаружение связей между структурным паттерном и гидротермальной рудоносностью, может сделать изучение структурной составляющей дистанционного изображения достаточным основанием для классификации территорий. Выявление таких связей представляет экономически выгодный формализованный метод, позволяющий выполнять экспресс-оценку территории с целью наращивания

ресурсного потенциала по стратегическим видам рудных полезных ископаемых (благороднометалльных, олово-полиметаллических, иных). Оценка, полученная средствами анализа структурных паттернов, не отменяет необходимости использования вещественных методов, однако поможет достичь некоторой экономии, выделив перспективные в структурном отношении площади, рекомендуемые для более детального исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России : в 2 т. / [под ред. А. И. Ханчук]. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – Т. 1. – 982 с.
2. Гаврилов А. А. Новые данные о структурном положении Кавалеровского и Дальнегорского рудных районов (Приморье) / А. А. Гаврилов // Отечественная геология. – 2007. – № 6. – С. 27–32.
3. Юшманов Ю. П. Тектоника, глубинное строение и металлогения Прибрежной зоны Южного Сихотэ-Алиня / Ю. П. Юшманов, А. М. Петришевский. – Владивосток : Дальнаука, 2004. – 111 с.
4. Уткин В. П. Разрывные нарушения и складчатые сооружения Восточного Приморья / В. П. Уткин // Изв. АН СССР. Серия: Геология. – 1977. – № 3. – С. 101–112.
5. Ханчук А. И. Геология и полезные ископаемые Приморского края / А. И. Ханчук [и др.]. – Владивосток : Дальнаука, 1995. – 66 с.
6. Раткин В. В. Металлогения свинца и цинка Тихоокеанской окраины Азии : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / В. В. Раткин. – М., 1995. – 36 с.
7. Уткин В. П. Строение, геохронология и структурно-динамические условия вертикального развития Восточно-Сихотэ-Алинского магмо-металлогенического пояса / В. П. Уткин // Доклады РАН. – 2005. – Т. 404, № 5. – С. 659–663.
8. Уткин В. П. Структурно-динамические факторы в магмо- и рудогенезе Восточно-Сихотэ-Алинского вулcano-плутонического пояса (ВСАВПП) / В. П. Уткин // Доклады РАН. – 2007. – Т. 415, № 2. – С. 225–229.
9. Юшманов Ю. П. Конседиментационные тектонические покровы Прибрежной зоны Восточного Сихотэ-Алиня на примере Дальнегорского рудного района / Ю. П. Юшманов // Тихоокеанская геология. – 1986. – № 3. – С. 99–107.
10. Хомич В. Г. Металлогения вулcano-плутонических поясов северного звена Азиатско-Тихоокеанской мегазоны взаимодействия / В. Г. Хомич. – Владивосток : Дальнаука, 1995. – 343 с.
11. Симоненко Л. Ф. Партизанское скарново-полиметаллическое месторождение: геология, металлогения, генезис. Таухинская металлогеническая зона Сихотэ-Алинь / Л. Ф. Симоненко, В. В. Раткин. – М. : Наука, 2008. – 158 с.
12. Середин В. В. Сводово-глыбовая структура Тихоокеанского орогенного пояса / В. В. Середин. – М. : Недра, 1987. – 181 с.
13. Горяинов П. М. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований / П. М. Горяинов, Г. Ю. Иванюк. – М. : Геокарт, 2001. – 312 с.
14. Голозубов В. В. Тектоника юрских и нижнемеловых комплексов северо-западного обрамления Тихого океана / В. В. Голозубов. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 239 с.
15. Государственная геологическая карта. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист L-(53),(54) – Кавалерово. Объяснительная записка / [гл. ред. Т. В. Брежнева]. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1994.
16. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М. : Вильямс, 2006. – 1004 с.
17. Riedmiller M. A direct adaptive method for faster backpropagation learning: The RPROP algorithm / M. Riedmiller et H. Braun // Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks. – 1993. – URL: <http://paginas.fe.up.pt/~ee02162/dissertacao/RPROP%20paper.pdf> (дата обращения: 19.01.2011).

Дальневосточный федеральный университет
С. Л. Шевырев, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры геологии, геофизики и геоэкологии инженерной школы
Тел. 8-924-524-51-72
shevyrev@fegi.ru

Дальневосточный геологический институт
В. Г. Хомич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией металлогении благородных металлов
Тел. 8 (423) 231-87-50
office@fegi.ru

Far East Federal University
S. L. Shevyrev, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, senior lecturer of Department of Geology, Geophysics and Geoecology, Engineering school
Tel. 8-924-524-51-72
shevyrev@fegi.ru

Far East Geological Institute
V. G. Khomich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chief of laboratory of metallogeny of noble metals
Tel. 8 (423) 231-87-50
office@fegi.ru