

МОРФОЛОГИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ КАК ИНДИКАТОР ОБСТАНОВОК РУДОГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ БЕРЕЗОВСКОЙ СТРУКТУРЫ, ПРИМОРЬЕ)

Е. В. Горобейко¹, С. Л. Шевырев²

¹Дальневосточный геологический институт (ДВГИ ДВО РАН)

²Дальневосточный Федеральный университет (ДФУ), Владивосток

Поступила в редакцию 15 сентября 2017 г.

Аннотация: исследуемая рудоперспективная Березовская вулcano-плутоническая структура (ВПС) находится на северном фланге Восточно-Сихотэ-Алинского вулcano-плутонического пояса (ВСАВПП) и относится к Салютовскому Au-Ag рудному узлу Приморья. Она представляет собой группу вулcano-плутонических сооружений, обладающих различной степенью эродированности. Низкая проходимость территории и значительная мощность элювиально-пролювиальных отложений делает привлекательным применение спутниковых морфометрических методов для прогноза эпitherмального оруденения. Эродированные вулcano-тектонические структуры выражаются в особенностях морфологии гидросети, учитываемых на дистанционной основе. В работе рассматриваются методика расчета коэффициента меандрирования водотоков 2–5 порядков и обосновывается его применение в качестве регионального прогнозно-поискового признака для эпitherмальных месторождений.

Ключевые слова: геология, дистанционное зондирование, геохимическая съемка, Сихотэ-Алинский складчатый пояс, минералогия благородных металлов, меандрирование.

MORPHOLOGY OF RIVER-BED AS INDICATOR OF ORE-BEARING TARGETS (BEREZOVSKY VOLCANIC CENTER, PRIMORYE)

Abstract: studied Berezovskaya volcano-plutonic structure (VPS) is located in the northern part of the East Sikhote-Alin volcano-plutonic belt (ESAVPB) of Primorye. It is composed of group of volcanic-plutonic assemblages with a different grade of erosion. The low passability of the territory and the large thickness of the eluvial-proluvial deposits make the using of satellite morphometric methods attractive for mineral prospectivity. Volcanic-plutonic assemblages are often expressed in the deformations of streams detected by remote sensing. Method of meandering coefficient calculation for the stream orders from 2nd to 5th was considered for rendering and interpretation of relevant map. Application of meandering coefficient was proved for prediction of ore-bearing epithermal systems. The development of the mineral resources of the region can be reached by the strengthening of the role of remote sensing in geological exploration work.

Key words: geology, remote sensing, geochemical mapping, Sikhote-Alin folded belt, ore genesis, ore- genesis, meandering.

Введение

Золотосеребряные месторождения севера ВСАВПП пространственно и генетически связаны с палеогидротермальными системами, сформировавшимися на завершающем этапе его развития. Территория характеризуется сложным рельефом, мощным чехлом элювиально-пролювиальных отложений (до 3 м) и низкой проходимостью, что затрудняет проведение полевых геологоразведочных работ. Эти обстоятельства делают более актуальными для подобных площадей современные методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), что требует выявления региональных поисковых критериев и признаков, учиты-

вающих различную степень эрозии вулканогенно-осадочного чехла, разнообразие генезиса и степени выраженности на космофотоснимках (КФС) рудоконтролирующих структур.

В качестве полигона исследований, проводимых посредством комплекса наземных и космических методов, выступает перспективная Березовская ВПС, находящаяся в Кемской металлогенической зоне. В непосредственной близости к ней разрабатываются значительные эпitherмальные золотосеребряные месторождения (Салют, Приморское и др.).

В пределах самой Березовской ВПС выделяется лицензионная Кузнецовская рудная площадь, геохимиче-

ские проявления и пункты золотосеребряной минерализации которой также имеют эпитермальный генезис.

Целью исследования является анализ выраженности рудоперспективных структур центрального типа (кольцевых структур) КФС в характеристиках эрозионной сети, учитываемых по спутниковой цифровой модели рельефа (ЦМР). Это позволит обосновать их применимость в качестве поискового признака для наращивания минерально-сырьевого потенциала городских металлов Севера Приморья.

Меандрирование водотоков подчиняется закономерностям изменения положения локального и глобального базисов эрозии. Наличие в долине вулканотектонических структур или локальных поднятий является потенциальным препятствием для водотока, вызывающим поперечные деформации последнего и формирование меандр.

Геологическая характеристика района

Исследуемая территория находится в пределах Кемского островодужного террейна, относящегося к Сихотэ-Алинь-Северо-Сахалинскому среднемеловому орогенному поясу, в пределах которого находится ВСАВПП. Кемский терреин располагается в прибрежной части Сихотэ-Алиня в виде полосы северо-северо-восточного простирания протяженностью около 900 км (вплоть до правобережья р. Амур) при ширине 80–150 км [1]. В его разрезе выделяются два структурных этажа. Нижний этаж включает дислоцированные мел-палеогеновые вулканогенно-осадочные породы Кемского террейна, верхний объединяет неоген-четвертичные вулканогенные образования.

ген-четвертичные вулканогенные образования.

Вулканизм золоторудных полей севера ВСАВПП имеет «контрастный» характер, оруденение связано с вулканитами риолит-дацит-андезитового и базальт-андезит-трахитового рядов, накопление рудного вещества происходило в очаговых структурах и поднятиях над интрузивными массивами.

На рассматриваемой территории располагается эпитермальное золото-серебряное месторождение Салют. Оно расположено среди разнообразных по составу (от основных до кислых) вулканогенных образований позднего мела-неогена (рис. 1). На площади месторождения известно более 40 рудных жил и зон, группирующихся в мощные (до 300 м) и протяженные (до 2 км) рудоносные зоны северо-западного простирания. Среднее содержание в руде: Au – 2,28 г/т., Ag – 323 г/т., соотношение золота к серебру (Au:Ag) – 1:140 [2].

Существующий фактический материал позволяет предположить возможную принадлежность месторождения Салют и Кузнецовской рудной площади Березовской ВПС к одной вулканотектонической группе. На это указывает близкий вещественный состав (принадлежность обоих к кварц-адуляровой рудной формации) [3] и сходная геодинамическая обстановка формирования и территориальная близость.

Результаты ДЗЗ эродированной Кузнецовской площади и перекрытого образованиями вулканогенно-осадочного чехла месторождения Салют, дополненные геохимическими и маршрутными геологическими исследованиями, могут способствовать пониманию закономерностей их генезиса и возможной соподчиненности.

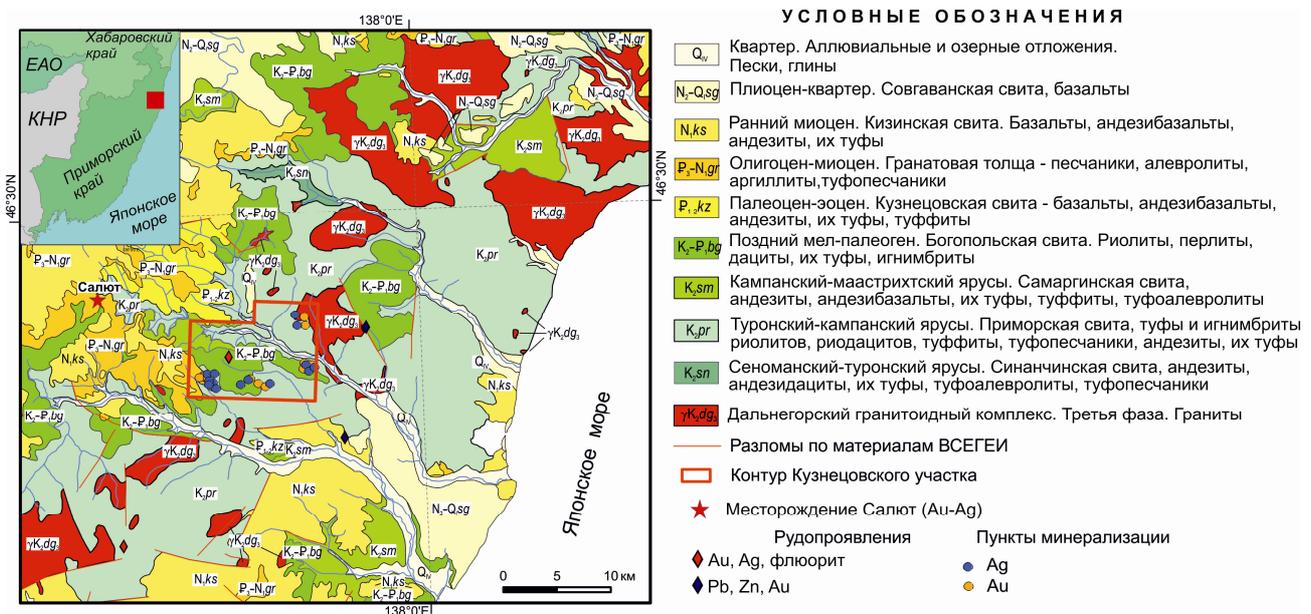


Рис. 1. Геологическое строение территории исследования.

Методика исследований

В процессе своего развития река меандрирует, подчиняясь локальным и глобальным закономерностям изменения базиса эрозии. Присутствие вулканотектонических структур является потенциальным препятствием для водотока, вызывающим поперечные

препятствия для водотока, вызывающим поперечные

деформации последнего и формирование меандр, характер которых может указывать на тип вулканотектонической структуры.

В качестве исходного материала для проведения исследований использованы спутниковые снимки

системы Landsat 8 и спутниковая ЦМР SRTM. В исследованиях нами выделены четыре этапа (табл. 1). В качестве среды для выполнения расчетов и автоматизации использовалась программа Matlab.

Таблица 1

Последовательность анализа эрозионной сети для выявления перспективных структур

№	Наименование этапа исследования	Содержание работы	Результат
1	Дешифрирование эрозионной сети по спутниковой ЦМР, выявление кольцевых структур	Компьютерная обработка ЦМР SRTM с помощью программного обеспечения Matlab Topographic Toolbox; выявление кольцевых структур с помощью преобразования Хафа	Карта эрозионной сети, определение числа Хортона-Штрахлера для водотоков; массив кольцевых объектов
2	Параметризация деформации водотоков n-порядка	Разбивка сетки окон осреднения, кластеризация сегментов водотоков попавших в окно осреднения, расчет коэффициента меандрирования (КМ)	Карта распределения коэффициента меандрирования водотоков n-порядка на территории
3	Оценка влияния кольцевых структур на деформацию гидросети	Сопоставление кольцевых структур (КС) машинного дешифрирования и распределения коэффициента меандрирования, качественный анализ рисунка гидросети в пределах КС	Установление влияния КС на деформацию гидросети, определение их природы и неотектонической активности
4	Выделение потенциально рудоконтролирующих КС	Сопоставление рудопроявлений с положением подтвержденных КС, и определение новых КС для опосредования	Выявление перспективных зон на примере эталонной площади

КФС Landsat 8 применялись для дешифрирования разрывной тектоники и кольцевых структур с помощью методов компьютерного зрения [4].

Для распознавания тальвегов и реконструкции порядка гидросети в растровом формате применяется обработка изображения ЦМР SRTM с помощью программного обеспечения Matlab Topographic Toolbox. Определяется порядок рек (число Хортона-Штрахлера [5]). Водотоки первого порядка не используются в дальнейших операциях, так как главным образом отражают современные экзогенные процессы [6]. Наиболее древние реки территории имеют 5 порядок, что обуславливает выбор водотоков 2–5 порядка для анализа неотектонической активности КС.

Для проведения расчета деформаций речного русла изображение гидросети разбивается на отдельные окна осреднения размером 10x10 пикселей (приблизительно 900x900 м), размер окон определяется площадью детектируемых объектов. В пределах окна осреднения анализируются кластеры пикселей, соответствующих руслам (рис. 2а) и рассчитывается коэффициент меандрирования (рис. 2б). Кластеры пикселей, соответствующие сегменту гидросети в пределах окна осреднения описываются эллипсом. Длинная ось эллипса соответствует спрямленной длине сегмента реки для данного окна (рис. 2в).

Коэффициент меандрирования (КМ) рассчитывается как отношение фактической длины рек к спрямленной длине рек

в пределах рассматриваемого окна:

$$K_M = \frac{I}{L} \quad (1)$$

где I – длина реки фактическая (сумма пикселей внутри окна); L – длина реки идеальная (сумма длин эллипсов, описанных вокруг кластера сегмента реки).

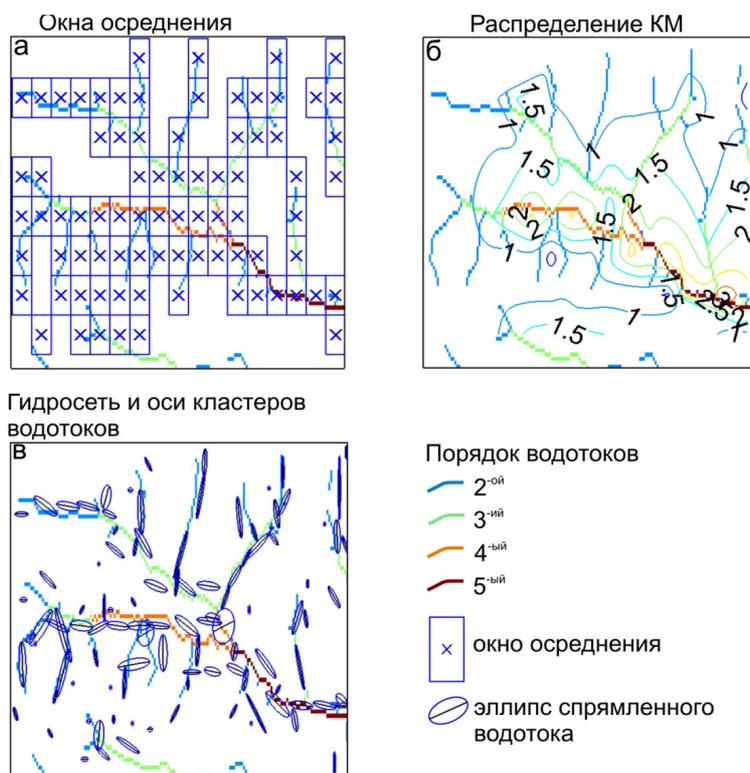


Рис. 2. Расчет параметров деформаций русел водотока.

Как видно из рисунка (рис. 2в) соотношение длинной и короткой осей эллипса, описанного вокруг сегмента водотока, определяется КМ.

На третьем этапе производится интерполяция карты коэффициента меандрирования (рис. 3) и соотношение ее с кольцевыми структурами участка, известными кольцевыми структурами участка [3]. Делаются выводы о влиянии КС различного генезиса на формирование рисунка речной сети.

На заключительном этапе данного исследования производится анализ распределения значений КМ и его соотношение с положением кольцевых структур и проявлений полезных ископаемых и пунктов минерализации.

На Кузнецовском участке нами выделена крупная

кольцевая структура Березовского вулкана, представляющая собой сильно эродированную вулканическую постройку (рис. 3). В северо-восточном направлении от нее простирается цепочка кольцевых структур меньшего диаметра. На юго-востоке участка также выделена еще одна небольшая КС, соответствующая вулканическому поднятию. Заметно соответствие максимальных значений коэффициента меандрирования кольцевым объектам дистанционного изображения. Горизонтальные флуктуации направления русел связаны, вероятно, как с повышенной эрозионной устойчивостью магматических пород, так и приуроченностью к кальдерам проседания радиальных и концентрических систем разломов, по которым закладываются речные русла.

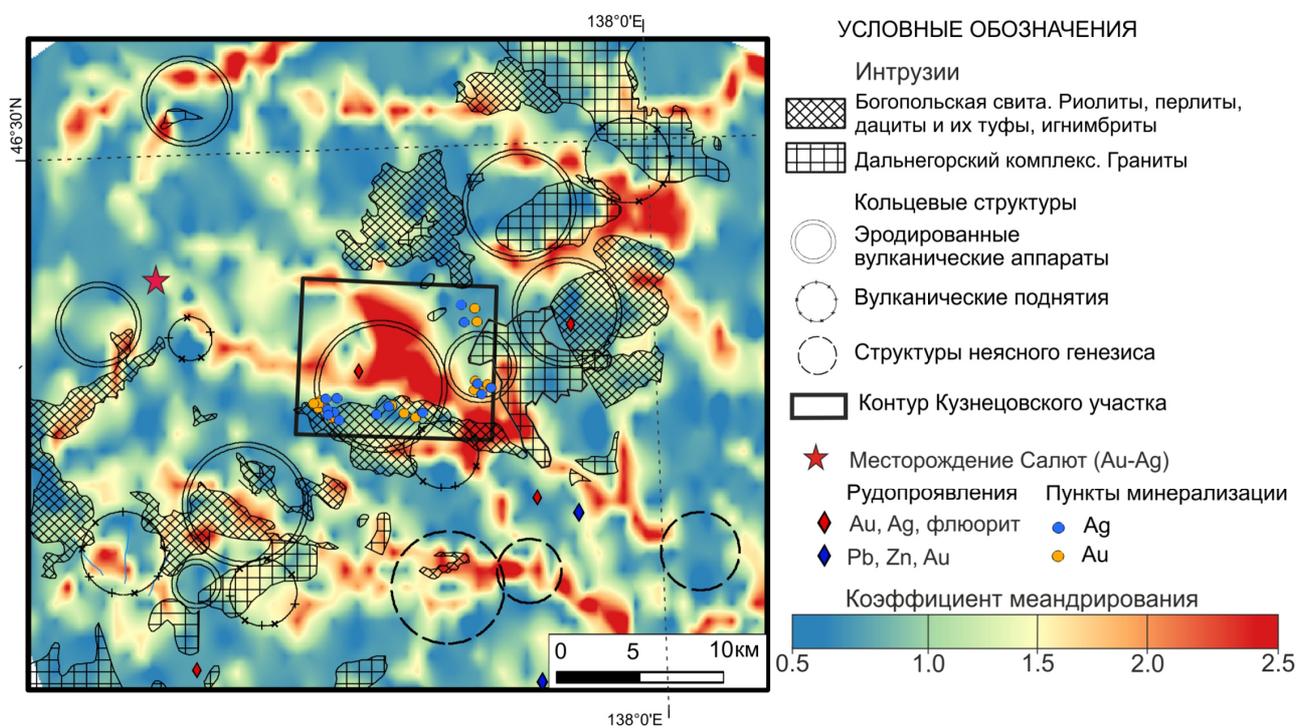


Рис.3. Изменение степени меандрирования речных русел в пределах кольцевых структур и развитие полей интрузивов.

Обсуждение результатов

Методика расчета коэффициента поперечных деформаций гидросети (КМ) может быть использована для распознавания эродированных и скрытых субвулканических комплексов и структур, имеющих рудоконтролирующее значение.

Березовская ВПС, в отличие от месторождения Салют, не перекрыта образованиями неоген-четвертичного возраста, находящимися в центральной и юго-восточной частях рудной площади, что позволяет говорить об увеличении эрозионного среза в юго-восточном направлении. Изучение выделенной в ее пределах Кузнецовской площади предоставляет возможность наблюдения и дистанционного мониторинга вулкано-тектонических структур, связанных с эродированными вулканическими аппаратами. Аналогичных структуры северо-западнее перекрываются

более молодыми неоген-четвертичными вулканическими покровами, исключая возможность эффективного применения поисковой литохимии, а также непосредственного описания.

Тектоно-магматические поднятия predisполагают реки к формированию радиально-центробежного рисунка, образованию меандр и появлению притоков 1-го порядка. Для кальдер проседания характерно заложение эрозионной сети в системе концентрических разломов.

Заключение

Установлена выраженность рудоконтролирующих структур центрального типа в поперечных деформациях эрозионной сети. Наибольшее влияние на КМ оказывают эродированные вулканические аппараты, с которыми связана эпитермальна минерализация. Это

позволяет рассматривать количественно определяемый коэффициент меандрирования в качестве поискового признака.

Апробация описанного метода может способствовать его включению в перечень региональных прогнозно-поисковых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ханчук, А. И. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А. И. Ханчука. – Владивосток. Дальнаука. – 2006. – С. 161–185.
2. Эйриш, Л. В. Металлогения золота Приморья/ Л. В. Эйриш // Хабаровск. – 2003. – С. 148.
3. Петровская, Н. В. Самородное золото/ Н. В. Петровс-

кая// Москва. Наука. – 1973 г. – С. 47–64.

4. Горобейко, Е. В. Дистанционный мониторинг при исследовании локальных рудоносных палеогидротермальных систем вулканических поясов (на примере северного Приморья)/ Е. В. Горобейко, С. Л. Шевырев, В. В. Ивин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2017. – № 3. – С. 88–92.

5. Хортон, Е. Р. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов/под ред. чл.-корр. АН СССР М. А. Великанова. – Государственное издательство иностранной литературы // Москва, 1948. – С. 20–28.

6. Schwanghart, W. TopoToolbox: a set of Matlab functions for topographic analysis / W. Schwanghart, N. J. Kuhn // Environmental Modelling & Software– 2010. – Vol. 25. – P. 770–781.

*Дальневосточный геологический институт
(ДВГИ ДВО РАН), Владивосток
Горобейко Екатерина Васильевна, аспирант
E-mail: chjurchjen@mail.ru*

*Дальневосточный Федеральный Университет (ДФУ)
Шевырёв Сергей Леонидович, к.г.-м.н., доцент
E-mail: shevirev@mail.ru*

Far East Geological Institute, Vladivostok

*Gorobeyko E. V., Graduate student
E-mail: chjurchjen@mail.ru*

*Far Eastern Federal University, Vladivostok
Shevyrev S. L., PhD, associate professor
E-mail: shevirev@mail.ru*