

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР В МОДЕЛИ МАГНЕЗИТООБРАЗОВАНИЯ В ОСАДОЧНЫХ КАЙНОЗОЙСКИХ КОМПЛЕКСАХ

*В модели магнетитообразования в кайнозойских осадочных комплексах одним из факторов аккумуляции рудного материала являются геоморфологические условия потенциально-перспективной площади. Выявление геоморфологических ловушек служит важным методическим приемом при поисковых работах. **Ключевые слова:** геоморфология, критерий, магнезит, гидромагнезит, образование, структура, дренажная сеть, прогноз, анализ, цифровая модель, рельеф, спутник, радар, съемка, кайнозой, Оренбургская область.*

Shcherbakova T.A., Semenov F.V. (TsNIIgeolnerud), Valkova Yu.I. (MSU)

GEO MORPHOLOGICAL FACTOR IN THE MODEL OF EDUCATION MAGNESITE ORES IN SEDIMENTARY COMPLEXES OF CENOZOIC

*In this model of education magnesite ores in Cenozoic sedimentary complexes one factor accumulation of ore material geomorphological conditions are promising area. Identifying geomorphological traps is an important instructional techniques during prospecting. **Key words:** geomorphology, criterion, magnesite, hydromagnesite, education, structure, drainage network, forecast, analysis, digital model, terrain, satellite, radar, shooting, Cenozoic, Orenburg region.*

Хемокластогенные магнезит-гидромагнезиты кайнозойских депрессий являются новым для России геолого-промышленным типом, объекты которого с успехом эксплуатируются в других странах (Австралия, Турция, Греция и др.).

Потенциально перспективная на магнезит Халиловская площадь с новым геолого-промышленным типом выделена по результатам прогнозно-минерогенических научно-исследовательских разработок (2011–2013 гг.) ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» (г. Казань), проведенных с целью обнаружения магнетитового оруденения в кайнозойских комплексах, объекты которых в России пока не известны.

Халиловская площадь включает потенциально-перспективные на магнетитовое оруденение интрузивные и осадочные образования, связанные с одноименным серпентинитовым массивом и кайнозойскими депрессиями, расположенными на самом массиве и прилегающими к нему (рис. 1). Халиловский ультрабазитовый массив площадью до 260 км² является звеном огромной цепи гипербазитовых интрузий, вытянутых узкой полосой вдоль границы Уралтауского антиклинория с зеленокаменным синклином. В структурном плане площадь находится в Приуральской зоне западного крыла зеленокаменного синклином. Гипербазиты представлены серпентинитами двух основных разновидностей: по перидотитам и дунитам. Халиловский массив сложен преимущественно апоперидотитовыми

серпентинитами и только в виде отдельных линз встречаются серпентиниты по дунитам. Возраст серпентинитов — среднепалеозойский. Породы представлены массивными и грубо трещиноватыми, реже расщепленными антигритовыми и хризотилowymi разностями с небольшим количеством баститов. На массиве развита кора выветривания по серпентинитам. Прогнозно-ревизионные работы показали, что в южной, западной, центральной и, частично, восточной частях массива отмечается полный профиль коры выветривания, где выделяются следующие зоны (сверху-вниз): охр и нонtronитизированных серпентинитов; силицитизированных серпентинитов; карбонатизированных серпентинитов с локализацией аморфного магнезита; выветрелых серпентинитов с локализацией дисперсного гидромагнезита и малоизмененных скальных серпентинитов. Мощность зон варьирует от 1–3 до 5–6 м и более. Степень зрелости и глубина гипергенных процессов в разных частях массива неравномерны.

Одним из наиболее изученных участков на магнезит-гидромагнетитовое оруденение является Центральнo-Халиловский участок (рис. 1), расположенный в средней части серпентинитового массива в бассейне р. Губерля (левобережье, среднее течение). На объекте выделены три геолого-генетических типа магнезиального сырья, два из которых связаны с корами выветривания по серпентинитам — аморфные магнезиты зоны карбонатизированных серпентинитов и дисперсные гидромагнезиты зоны выветрелых серпентинитов. Третий тип — хемокластогенные магнезит-гидромагнезиты связаны с озерно-речными фациями наложенных кайнозойских структур за счет переотложения первых двух типов.

Объект представляет ряд межгорных речных долин (впадин), хорошо выработанных процессами дезинтеграции и денудации, в результате которых развиты голоценовые делювиальные и аллювиальные отложения на дне (ложе) структур. Борты долин сложены серпентинитами. Здесь широко представлена зональность полного профиля коры выветривания по серпентинитам. Выявлены озерные магнезит-гидромагнетитсодержащие отложения в межгорных структурах (долинах) в пределах центральной части.

Площадь локализации гидромагнетитов представляет собой совокупность озерно-речных долин протяженностью 700–2000 м и шириной 500–700 м с трапецевидным поперечным профилем и пологим (с малым уклоном в западном направлении) продольным. В этих структурах развиты голоценовые делювиальные, озерные и аллювиальные отложения (рис. 2).

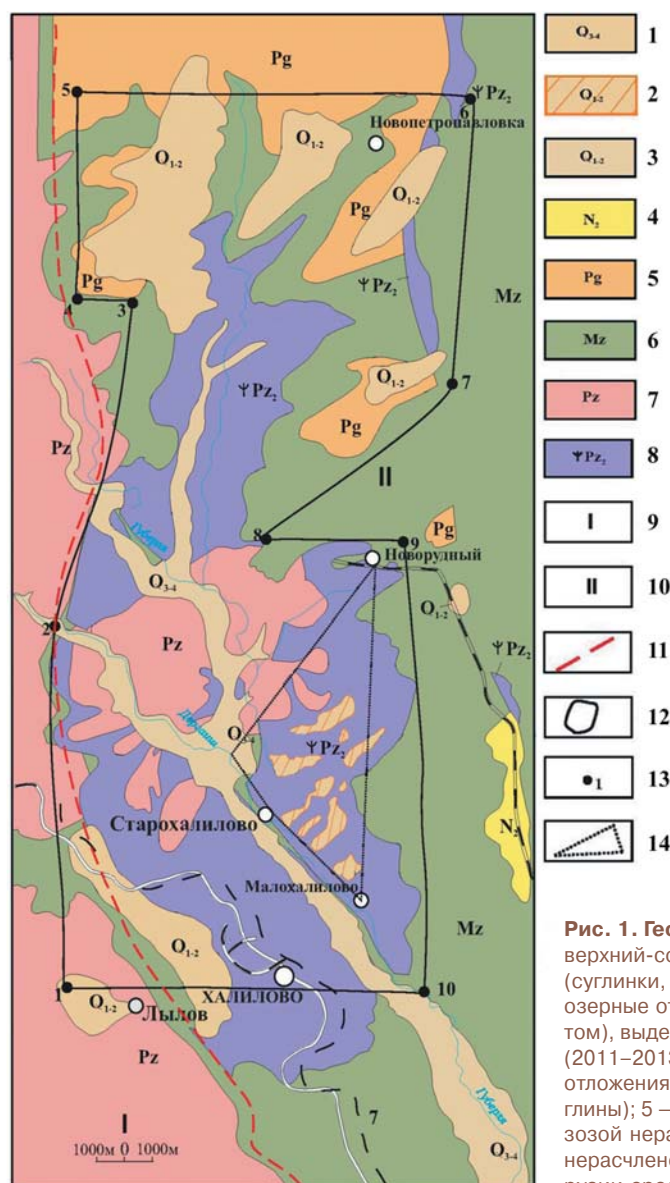
На основании изучения закономерностей размещения и условий локализации магнезиальных карбонатов в терригенно-карбонатных комплексах озерно-речных фаций кайнозоя установлены региональные (прогнозно-минерогенические) и локальные (поисковые) критерии на выявление магнетитовых и гидромагнетитовых руд [3]. В общей поисковой модели большое значение имеют локальные критерии магнетитовосности в пределах кайнозойской структуры, такие как геоморфологические, гидрогеологические, гидродинамические.

Геоморфологический критерий. Кайнозойские магнетитоносные отложения являются самыми молодыми осадочными породами озерных и речных фаций, поэтому они участвуют в строении современного рельефа. Наиболее перспективными являются следующие структурные элементы рельефа: современные и древние русла речных долин (места излучин, меандр — фактор концентрации терригенного магнетита), образования надпойменных террас в непосредственной близости от ультрабазитовых водоразделов. В областях развития озер к таким элементам можно отнести: озерные, аккумулятивные и погребенные террасы [2].

Гидрогеологический критерий. Перспективность площади и участка в кайнозойской структуре может определяться при гидрогеологических исследованиях подземных вод. Присутствие гидрокарбонатных (хлорит-гидрокарбонатных) вод с повышенным ионным



Рис. 2. Развитие магнетит-гидромагнетитовых отложений в долине Дальняя Салда (Халиловский массив)



балансом магния (натрий-магния), которые образуют ореол распространения, в той или иной степени конкретизируют перспективность площади. Исследования показали, что поверхностные речные воды, имеющие водосбор на водоразделах из ультрамафитовых пород, представляют повышенные концентрации указанных ионов и повышенную общую минерализацию (до 400–500 мг/л и более). Подземные воды, питающие современные озерные водоемы в пределах известных месторождений магнетита (Турция), которые, проходя через многометровые толщи ультраосновных пород по системе трещиноватости, обогащаются ионами магния, натрия, хлоридами и гидрокарбонатами. Их минерализация увеличивается в два-три раза и составляет до 1000–1300 мг/л. Насыщаясь этими ионами, озерные воды увеличивают свою концентрацию еще в два-три раза, доводя общую минерализацию до 2300 и более мг/л. В моменты временных пересыщений вод как растворов, что возможно в определенные климатические периоды, происходит осаждение магнезиальных карбонатов. Минеральные фазы при этом могут быть различные: доломит, магнетит, гидромагнетит, гунтит (хантит), гидроталькит и пр.

Гидродинамический критерий. Он связан с поверхностными водными потоками, которые являются основным транспортером терригенного магнетита с материнского субстрата ультрамафитов. Ввиду того, что кластогенный магнетитовый материал, сносимый с

Рис. 1. Геологическая карта Халиловской магнетитоносной площади: 1 — верхний-современный отделы четвертичной системы, аллювиальные отложения (суглинки, пески, галечники); 2 — современный отдел четвертичной системы, озерные отложения (мергели, суглинки, супеси с магнетитом и гидромагнетитом), выделенные прогнозно-ревизионными работами ФГУП «ЦНИИгеолнатур» (2011–2013 гг.); 3 — нижний-средний отделы четвертичной системы, озерные отложения (суглинки, мергели, галечники); 4 — неоген: плиоцен (пестроцветные глины); 5 — палеоген: эоцен-олигоцен (пески, конгломераты, мергели); 6 — мезозой-нерасчлененный (мергели, глины, пески, конгломераты); 7 — палеозой нерасчлененный (глинисто-кремнисто-углистые сланцы, туфы, песчаники); интрузии среднепалеозойские: 8 — серпентиниты; 9 — антиклинорий Урал-Тау; 10 — Приуральская зона западного крыла зеленокаменного синклинория; 11 —

границы тектонических структур; 12 — граница Халиловской площади; 13 — координатная точка Халиловской площади; 14 — Центрально-Халиловский участок прогнозно-ревизионных работ ФГУП «ЦНИИгеолнатур» 2012–2013 гг.

серпентинитовых массивов, имел главным образом тонкозернистую и скрытокристаллическую структуру, то гидродинамический режим транспортирующего водного потока влиял на процессы формирования магнетитовых толщ. Гидродинамика потока определяет дальность переноса и степень сортировки (дифференциации) вещества. Спокойные потоки с ламинальным движением более градируются сортируют терригенный материал и переносят его на значительные расстояния. Напротив, быстрые турбулентные потоки, образующиеся при большом уклоне руслового дна, склонны к плохой сортировке материала, в том числе пелитового магнетита, что приводит к рассеянию и загрязнению осаждающегося рудного вещества. Режим потока отражается на структурно-текстурных свойствах осадка (массивные, слоистые, брекчиевидные и др. текстуры).

Для рассмотрения геоморфологического фактора в модели образования магнетитового оруденения кайнозойских комплексов впервые использовались современные компьютерные программы, позволяющие выявить геоморфологические ловушки при поиске хемокластогенных магнетитов. В данном направлении хорошо себя зарекомендовал метод цифровых моделей рельефа.

Цифровые модели рельефа (ЦМР) различного разрешения открывают новые возможности для различных направлений геоморфологических исследований, в частности, для выделения положительных неотектонических структур. Существуют различные цифровые модели глобального рельефа, созданные на основе радарной спутниковой съемки из космоса и прошедшие специальную обработку, такие как: *ETOPO*, *GTOPO*, *SRTM* и *ASTER*, позволяющие при использовании специального программного обеспечения (ПО) проводить пространственный анализ земной поверхности. В проведенном исследовании применялось ПО, использующее математико-статистические методы обработки ЦМР.

Метод предусматривает применение геологической карты района масштаба 1:200 000, цифровой модели рельефа (ЦМР) — *SRTM3* (с размером ячейки 3 секунды (~90 м), что по детальности соответствует топографической карте масштаба 1:100 000), данные, полученные на основании радарной спутниковой съемки и ее сверки с топографическими картами.

В работе использовалось специальное программное обеспечение: *Terrain Analysis System (TAS)*, осуществляющее пространственный, геоморфологический, гидрологический и ландшафтный анализ ЦМР [4].

Используя метод «скользящих окон» и специальные алгоритмы, программа позволяет:

- удалить локальные артефакты, препятствующие построению гидрологически верного рельефа;
- определить направление стока;
- выделить дренажную сеть (гидрографическую и овражно-балочную);
- строить границы водосборных бассейнов;
- строить иерархию дренажной сети по Философову-Штраллеру-Хортону и по Шреве;
- выделить элементарные склоны;
- локализовать бессточные области или области внутреннего стока.

На первом этапе программной обработки данных был выделен бассейн р. Губерля, в пределах которого расположен Центральнo-Халиловский участок с выявленным магнетитовым оруденением. Выделена дренажная сеть, в которой пороговый уровень водосборной площади составляет около 10 км², построена гипсографическая кривая и проведен статистический анализ высот водосборной площади р. Губерля (рис. 3, таблица).

На основании проведенного анализа установлено, что бассейн р. Губерля расположен на возвышенной

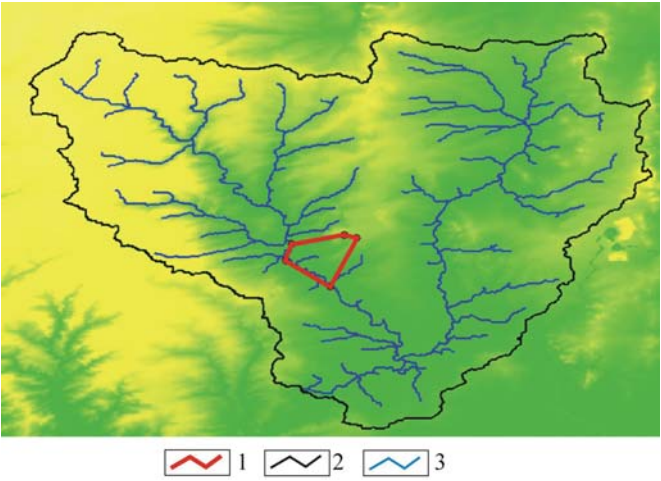


Рис. 3. Схема расположения участка в пределах бассейна р. Губерля (основа ЦМР SRTM 3, масштаб 1:500 000): 1 — граница участка; 2 — бассейн р. Губерля; 3 — речная сеть

Таблица
Геоморфологические характеристики бассейна р. Губерля

Высоты, м			Амплитуда высот между минимумом и максимумом	Средне-квадратическое отклонение высот	Площадь водосборного бассейна, км²
минимальная	максимальная	средне-взвешенная			
226	520	356	294	59.501	2496

Гипсографическая кривая на бассейн р. Губерля	
площадь, м²	высота, м
2000	191
1500	206
1000	221
500	236
0	251
	266
	281
	296
	311
	326
	341
	356
	371
	386
	401
	416
	431
	446
	461
	476
	491
	506

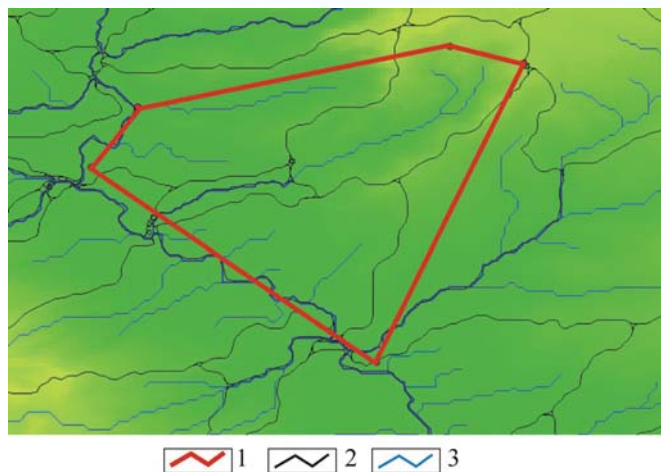


Рис. 4. Схема участка с выделенными элементарными склонами (основа ЦМР SRTM 3, масштаб 1:50 000): 1 — граница участка; 2 — границы элементарных склонов; 3 — речная сеть

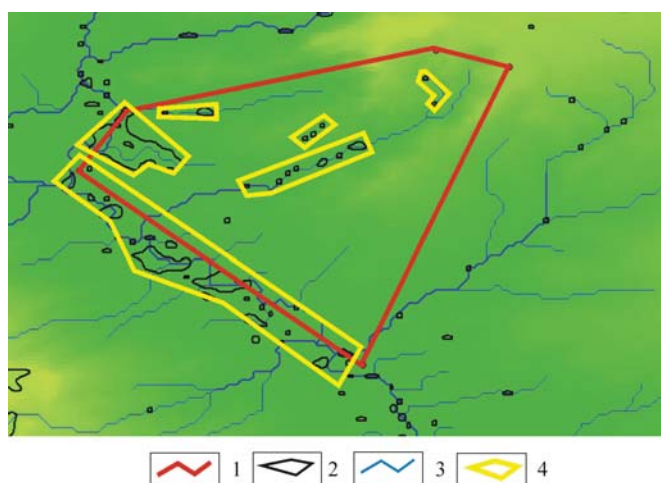


Рис. 5. Схема участка с выделенными бессточными областями и участками пойм, которые потенциально могут быть подпружены (основа ЦМР SRTM 3, масштаб 1:50 000): 1 — граница Центрально-Халиловского участка; 2 — участки областей внутреннего стока; 3 — речная сеть; 4 — границы перспективных участков, бессточных областей

равнине и имеет невысокую, характерную для равнинных рек расчлененность [1].

На следующем этапе были выделены элементарные склоны для дренажной сети с пороговым уровнем водосбора 10 км². По элементарному склону идет сток на определенный участок дренажа, ограниченный этим склоном. Таким образом, определяется область сноса полезного компонента. Далее была построена дренажная сеть с пороговым уровнем водосбора 1 км² для более детального рассмотрения движения водотоков по суходолам, балкам, лощинам и оврагам с целью определения транспортировки полезного компонента водными потоками и локализации перспективных участков (рис. 4).

Затем были выделены бессточные области или области внутреннего стока, в которых предположительно концентрируется полезный компонент и которые являются для него геоморфологическими ловушками. Исходными данными для выделения бессточных

областей является ЦМР, где не были удалены локальные артефакты, препятствующие моделированию водного стока по дренажам в направлении основного базиса эрозии. Поэтому пойменные участки, которые потенциально могут быть подпружены, также выделяются программой. Это важно, так как пойменная фация отложений накапливает на данной территории в основном мелкодисперсный глинистый и илистый материал магнезиальных карбонатов при ламинарном режиме течения водотоков или при плоскостном движении воды по склонам. Все это делает пойменные участки перспективными для поиска сырья (рис. 5).

Современные геоморфологические методы, применяемые совместно с математико-статистическими методами, для анализа ЦМР и построения моделей дренажных сетей, элементарных склонов, депрессионных бессточных площадей, водосборных бассейнов и т.д. были использованы для выявления перспективных участков и проявлений магнезитового сырья. Магнезитовое сырье образует делювиальные и ложковые россыпи ближнего сноса во впадинах и в пределах депрессионных площадей, в поймах рек и западинах, лощинах и балках. Построенные модели способствуют пониманию процессов осадконакопления на данной территории и выявлению конечных геоморфологических ловушек, в которых накапливается полезный компонент (магнезит).

Большой интерес в данной работе представляет то, что в отличие от золота, платины, касситерита и др. магнезит не обладает устойчивостью к размыву и растворению водными потоками. И именно поэтому поиск россыпей магнезита ближнего сноса имеет перспективы.

На примере Центрально-Халиловского участка, где выявлены геоморфологические ловушки аккумуляции осадочных хемокластогенных магнезит-гидромагнезитовых руд, высоко зарекомендовал себя метод обработки и анализа цифровых моделей рельефа с использованием геоморфометрии, применение которого при проведении поисковых работ в пределах Халиловской площади позволит более детально оценить кайнозойские структуры, примыкающие к серпентинитовому массиву, на магнезит-гидромагнезитовые залежи (рис. 1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Капотов А.А., Кравченко В.В., Федоров В.Н. Ландшафтно-гидрологический анализ территории. — Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1992.
2. Шевелев А.И., Щербакова Т.А. Геологическое строение и локализация кайнозойских магнезитов / Высокомагнезиальное минеральное сырье. — М.: Наука, 1991. — С. 153–157.
3. Щербакова Т.А. Условия и закономерности магнезитонакопления в терригенно — карбонатных кайнозойских комплексах: Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. — Казань: КГУ, 2008.
4. Lindsay, John B. The Terrain Analysis System: a tool for hydrogeomorphic applications. Hydrological Processes, vol. 19, Issue 5, 2005, pp. 1123–1130.

© Щербакова Т.А., Семенов Ф.В., Валькова Ю.И., 2015

Щербакова Татьяна Анатольевна // root@geolnerud.net
Семенов Федор Владимирович // root@geolnerud.net
Валькова Юлия Игоревна // juliadoll200@yandex.ru