

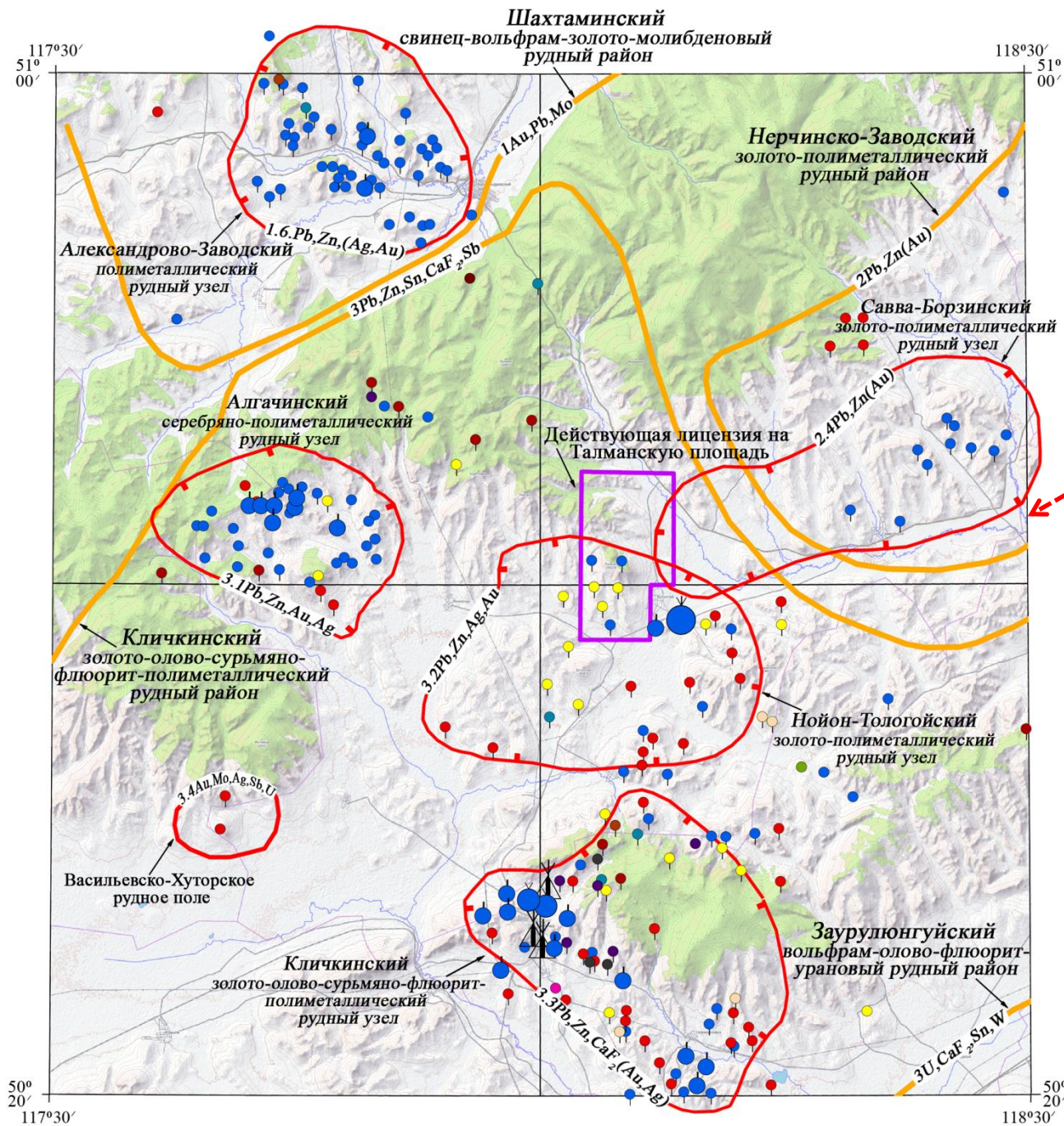


# **Обработка и анализ космических спектральных данных WorldView-2 при картировании зон гидротермально-измененных пород**

**Ишмухаметова В.Т., Нафигин И.О., Устинов С. А., Лапаев Д. С., Минаев В. А., Петров В. А.**

**ИКИ РАН, 2023**

# Схема минерагенического районирования (Калашников, 2019)



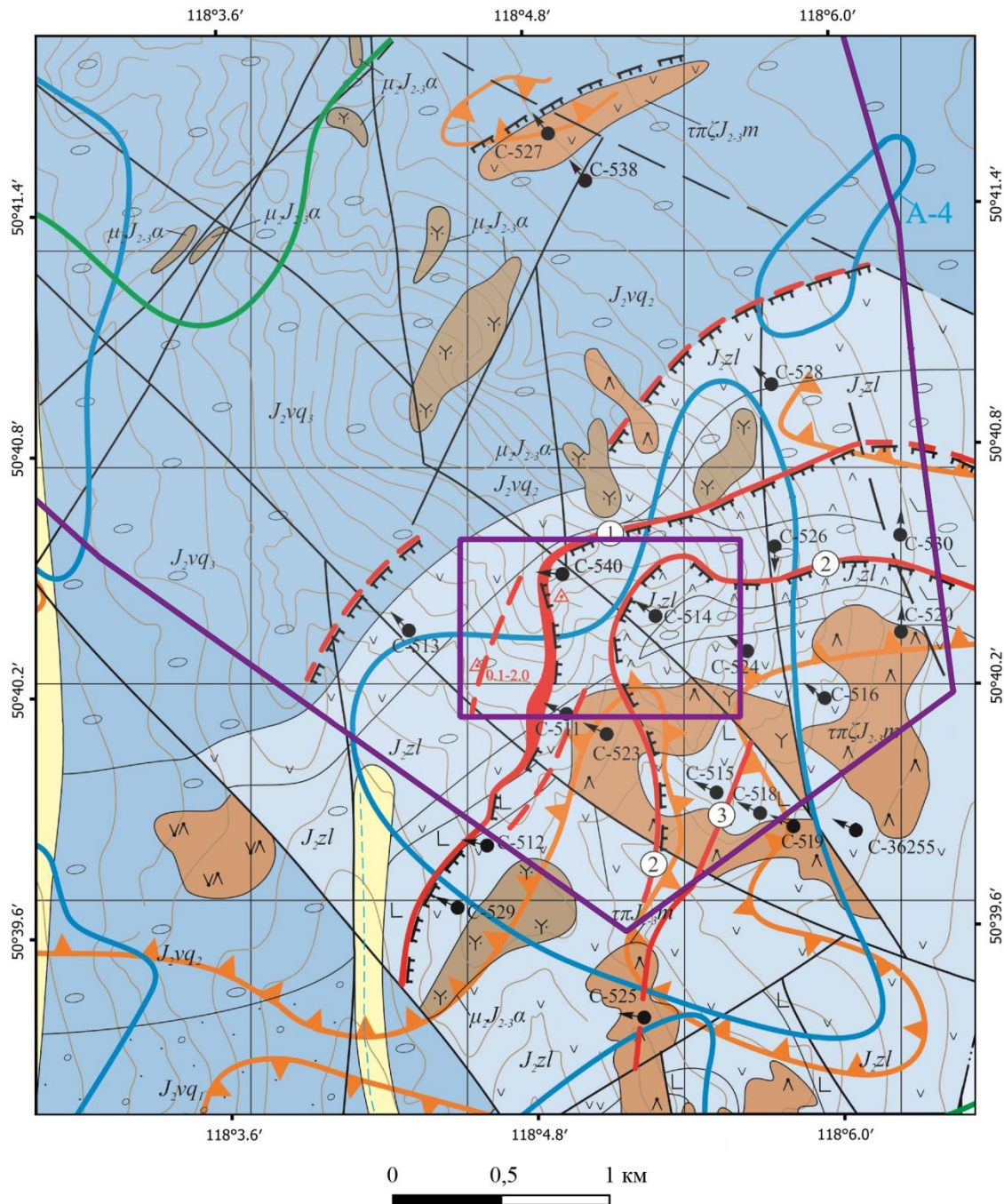
Месторождения (Pb, Zn)

● Крупные   
 ● Средние   
 ● Малые

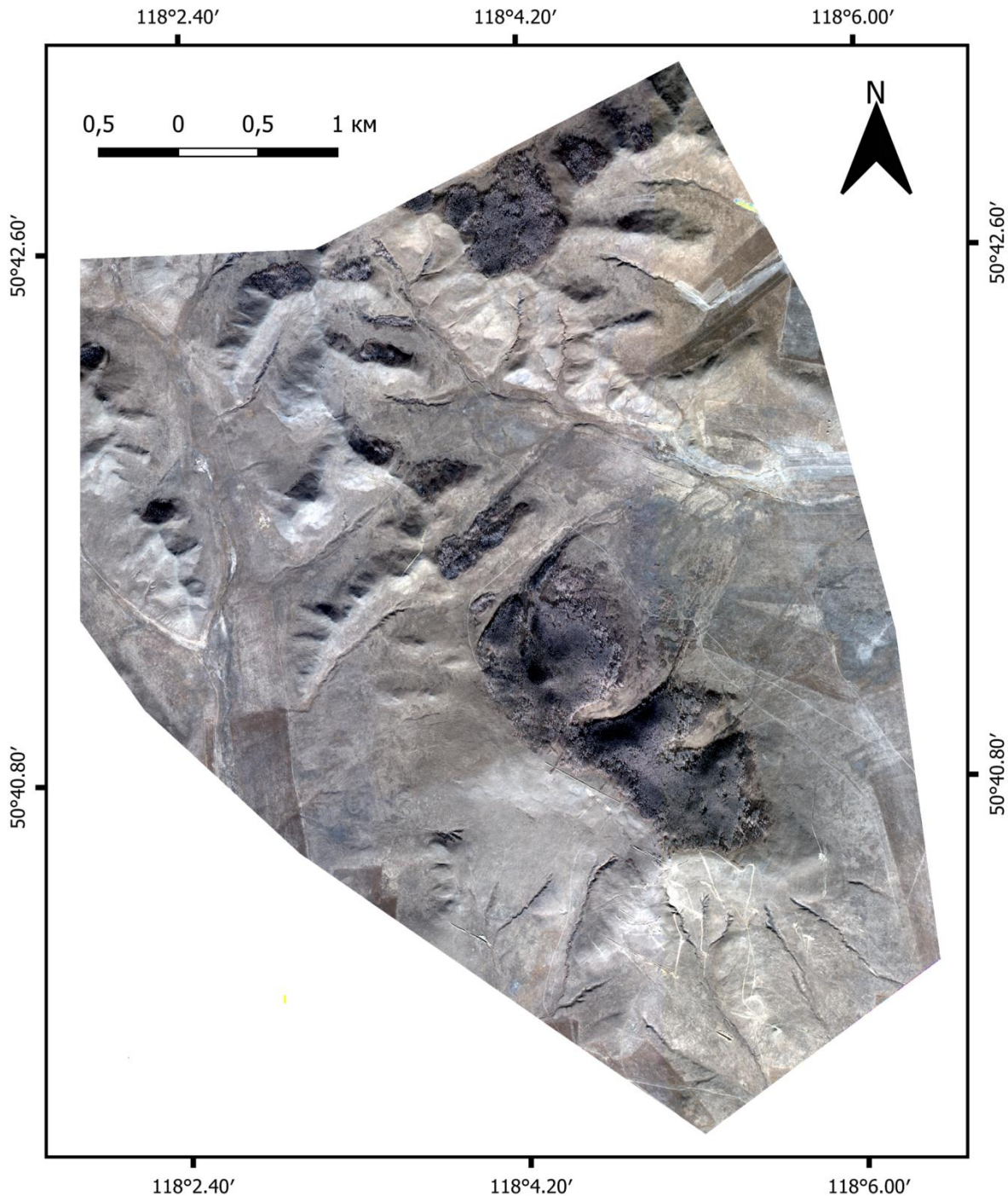
Проявления: ● Fe; ● Pb,Zn; ● Cu; ● Sb; ● W; ● U; ● As; ● Au

Пункты минерализации: ● Fe; ● Pb,Zn; ● Zn; ● Mo; ● Sn; ● As; ● Ag; ● Au; ● Be

# Схематическая геологическая карта площади Талман (Асמודьяров, 2015)



- квартер голоцен**  
 apQ<sub>n</sub> Аллювиально-пролювиальные отложения: песчано-валунные отложения, супеси, суглинки с дресвой, щебнем
- Ю Р А**  
**поздняя**  
 J<sub>2</sub>bl Болбойская свита. Конгломаты, туфоконгломаты, туфопесчаники, прослой туфов, дациты, андезидациты
- средняя**  
 J<sub>2</sub>ks Кайлаская свита. Трахиандезиты, трахиандези-базальты, трахиандезидациты
- ранняя**  
 J<sub>2</sub>z1 Залгатайская свита. Трахибазальты, трахиандезиты, трахидациты, их туфы, песчаники, гравелиты, конгломаты
- Верхнезале-муровская свита**  
 J<sub>2</sub>vg<sub>1</sub> Верхняя подсвита: конгломаты  
 J<sub>2</sub>vg<sub>2</sub> Средняя подсвита: песчаники, гравелиты, алевролиты, конгломаты  
 J<sub>2</sub>vg<sub>3</sub> Нижняя подсвита: конгломаты, гравелиты, песчаники
- Мулинская серия**  
 J<sub>2</sub>bh Бохтинская свита. Песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломаты, туфы, туффиты
- Акатуйский комплекс мондонит-сиенитовый**  
 μ<sub>2</sub>J<sub>2,3</sub>a Вторая фаза. Сиенит-порфиры, сиениты, мондиорит-порфиры
- Мулинский субвулканический комплекс**  
 τπζ<sub>2,3</sub>m Штоки, дайки трахиандези-базальтов, трахитов, сиенит-порфиров, мондиорит-порфиры
- 511 Буровые скважины и их номера
- Контур аномалии φ<sub>R</sub><sup>0</sup>(>1,0°)
- Блок пониженных сопротивлений (ρ<sub>r</sub> < 150 Ом)
- Комплексные геохимические аномалии Pb, Zn, Ag и их номера
- а) б) Минерализованные зоны с золото-полиметаллическим оруденением: выявленные (а), предполагаемые (б)
- Штупное опробование  
 Содержание Pb:%  
 >1  
 Zn:%  
 0.6  
 Ag:г/т  
 34  
 Au:г/т  
 0.5
- Контур используемого космического снимка WorldView-2
- Контур рисунка 4: предполагаемая схема распределения гидротермально-измененных пород, продуктов метасоматоза и гипергенеза на перспективной площади Талман
- Конгломаты валунно-галечные (а), галечные (б), гравелиты, песчаники, алевролиты (в)
- Риолиты (а), дациты (б), андезиты (в), базальты (г), андезибазальты (д), лавобрекчии (е)
- Сиениты (а), мондониты (б), сиенит-порфиры (в), мондонит-порфиры (г)
- Крупнопадающие разрывные нарушения: достоверные (а), предполагаемые (б), скрытые под четвертичными отложениями (в), выделенные по геофизическим данным (г)
- Пологопадающие межпластовые тектонические нарушения: а) установленные, б) предполагаемые

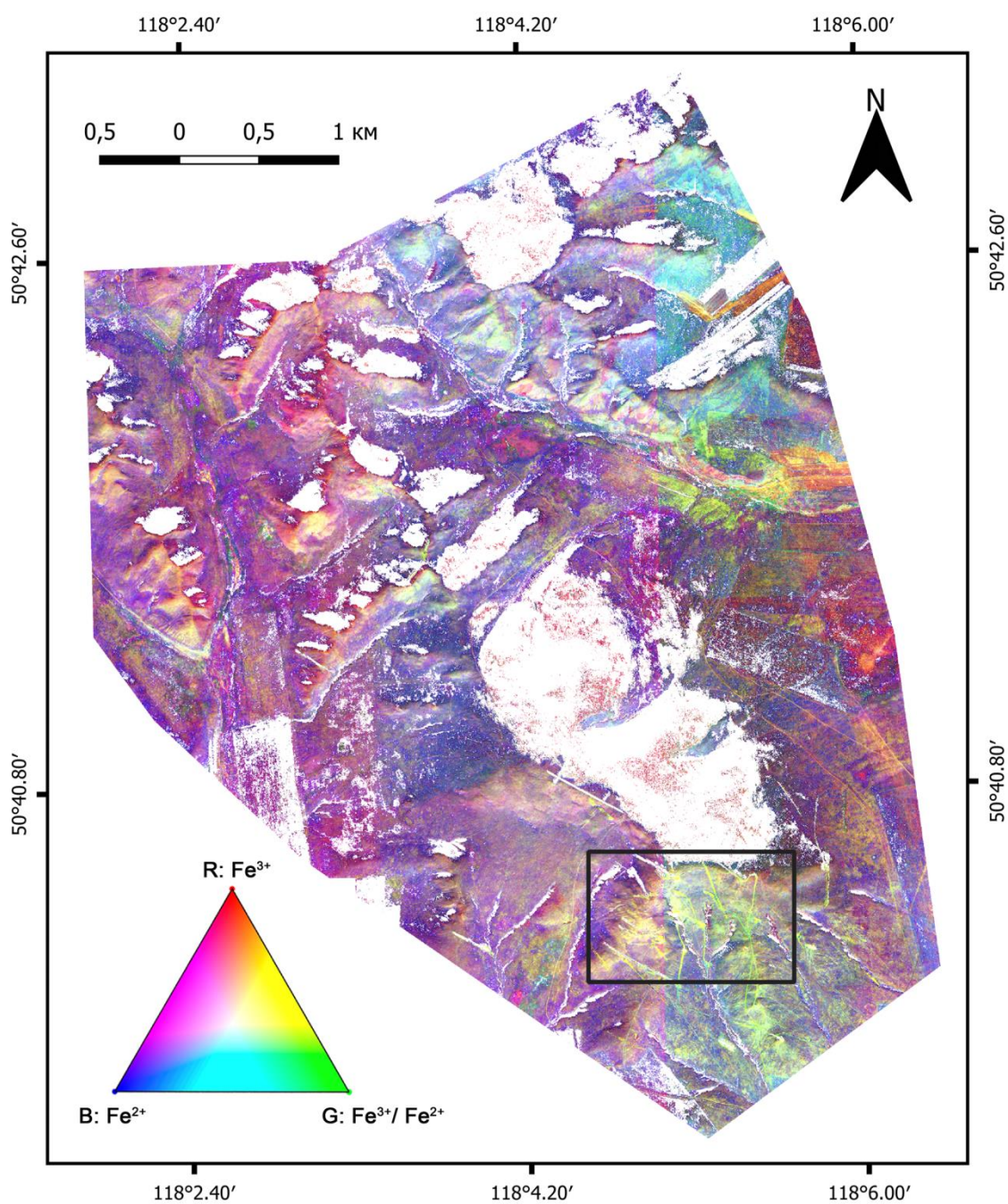


## Фрагмент снимка WorldView-2 в естественных цветах (RGB: R – band 4, G – band 3, B – band 2)

Окислы и гидроокислы железа представляют собой важную группу минералов для дистанционного зондирования из-за схожих, ярко выраженных, хорошо идентифицируемых полос поглощения в видимой и ближней ИК-областях спектра. К этой группе минералов относятся: гематит, магнетит, гетит, ильменит, ярозит, а также лимонит. Высокое спектральное разрешение WorldView-2 в диапазонах VNIR позволяет отображать подробные спектральные характеристики поверхностных объектов: зоны концентрации минералов группы оксидов/гидроксидов, содержащих переходные ионы железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ). Характеристики поглощения, связанные с  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ , содержат набор от 0.40 до 1.2  $\mu\text{m}$ , которые соответствуют каналам 2, 3, 4, 6 и 8 WorldView-2 VNIR. Характеристики поглощения, связанные с  $\text{Fe}^{3+}$ , обычно составляют 0.49, 0.70 и 0.87  $\mu\text{m}$ , в то время как  $\text{Fe}^{2+}$  проявляет свойства поглощения при 0.51, 0.55 и 1.20  $\mu\text{m}$ .

# Предобработка набора изображений WorldView-2

- 1) Проведена радиометрическая калибровка с целью конвертации цифровых значений (DN) пикселей изображения к зарегистрированной сенсором интенсивности излучения в верхних слоях атмосферы.
- 2) Затем данные излучения преобразованы в отражательную способность посредством применения алгоритма атмосферной коррекции FLAASH, основанного на аэрозольной модели атмосферы MODTRAN.
- 3) Для дифференциации растительного покрова и почв рассчитаны улучшенный индекс растительности WorldView (WV-VI) и нормализованный разностный водный индекс (NDWI).



Псевдо-цветной RGB композит по результатам метода отношения каналов WorldView-2

$$R: (b4 + b2)/b3$$

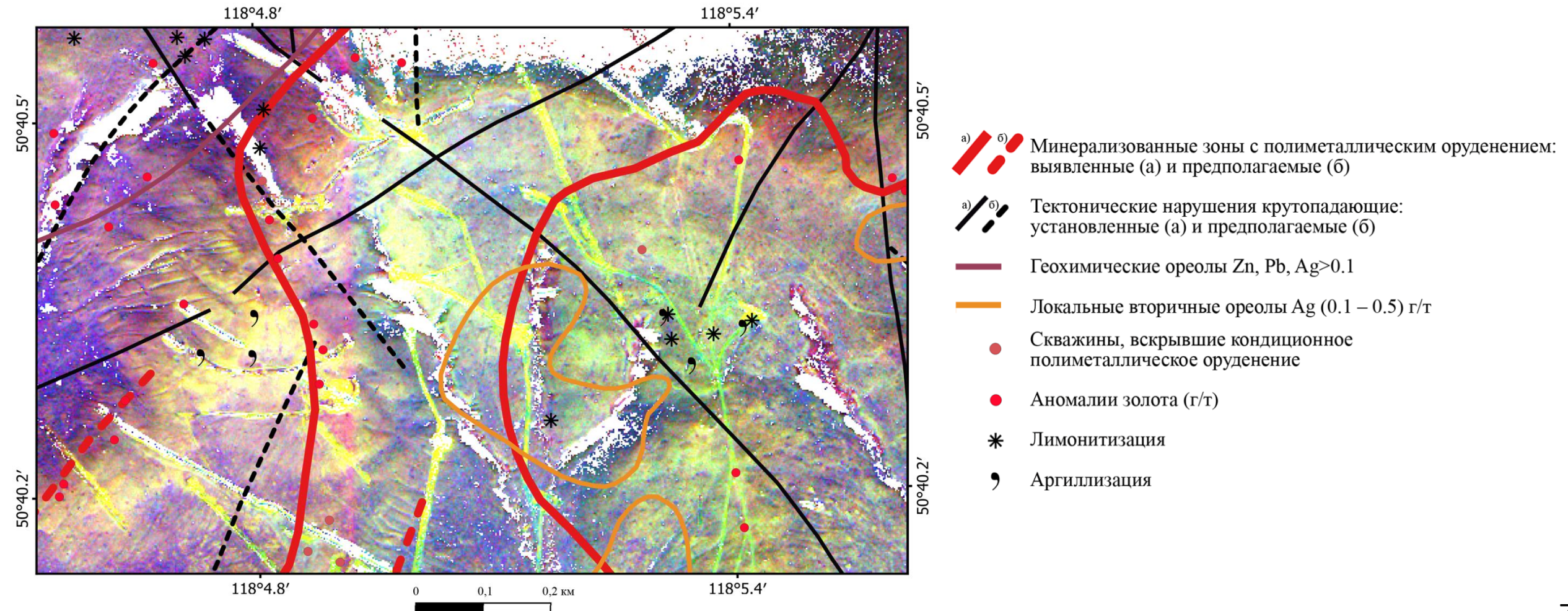
$$G: (b3 * b4)/(b2 * 1000)$$

$$B: (b6 + b8)/b7$$

В соответствии со спектральными особенностями поглощения группы минералов (гематит, магнетит, гетит, ильменит, ярозит, лимонит), содержащей оксиды и гидроксиды железа, для VNIR каналов WorldView-2 применена технология отношения спектральных каналов (минералогических индексов).

□ предполагаемая схема распределения гидротермально-измененных пород, продуктов метасоматоза и гипергенеза на перспективной площади Галман

# Предполагаемая схема распределения гидротермальных изменений и продуктов гипергенеза на исследуемой площади



# Выводы

Полученные результаты позволяют маркировать околорудные изменения, являющиеся основанием для постановки детальных поисковых исследований в пределах перспективных площадей.

Предложенная методика позволяет скорректировать перспективные участки на различных стадиях геологоразведочных работ.



# Благодарности

Авторы выражают благодарность компании

**PROXIMA ([www.gisproxima.ru](http://www.gisproxima.ru))**

**Бохуновскому Михаилу Александровичу**

за предоставленные изображения WorldView-2

# REFERENCES

- В. Т. Ишмухаметова, И. О. Нафигин, С. А. Устинов, Д. С. Лапаев, В. А. Минаев, В. А. Петров. Выявление зон гидротермально-измененных пород с использованием данных WorldView-2 на участке Талман (Талманская площадь, юго-восточное Забайкалье, Россия) // Исследование Земли из космоса, 2023, № 5, с. 58–70. DOI: 10.31857/S0205961423040048
- Nafigin I.O., Ishmukhametova V.T., Ustinov S.A., Minaev V.A., Petrov V.A. Geological and Mineralogical Mapping Based on Statistical Methods of Remote Sensing Data Processing of Landsat-8: A Case Study in the Southeastern Transbaikalia, Russia // Sustainability 2022, 14(15), 9242; <https://doi.org/10.3390/su14159242>
- Pour A.B., Hashim M., Hong J.K., Park Y. Lithological and alteration mineral mapping in poorly exposed lithologies using Landsat-8 and ASTER satellite data: North-eastern Graham Land, Antarctic Peninsula // Ore Geol. Rev. 2019. 108. 112–133. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.07.018>
- Pour A.B., Park Y., Crispini L., Laufer A., Kuk Hong J., Park T.-Y.S., Zoheir B., Pradhan B., Muslim A.M., Hossain M.S. et al. Mapping Listvenite Occurrences in the Damage Zones of Northern Victoria Land, Antarctica Using ASTER Satellite Remote Sensing Data // Remote Sens. 2019. 11. 1408. <https://doi.org/10.3390/rs11121408>
- Segal D. Theoretical Basis for Differentiation of Ferric-Iron Bearing Minerals, Using Landsat MSS Data / Proceedings of Symposium for Remote Sensing of Environment, 2nd Thematic Conference on Remote Sensing for Exploratory Geology, Fort Worth, TX (1982). 949–951.
- Асмодъяров И.А., Брель А.И., Синявин В.И. и др. Поисково-ревизионные работы на золото-полиметаллическое оруденение в северной части Кличкинского золотополиметаллического рудного района (Забайкальский край) за 2012–2014 гг. Объект № 111-27(102-24). Отчет по Гос. контракту № К-01/12-6 от 20.03.12 г. Росгеолфонд № 515591. М., 2015.
- Калашников В.А., Лиханов В.Д., Четвериков М.Е. и др. Поисковые работы на золото-полиметаллическое оруденение в пределах Савва-Борзинского рудного узла (Забайкальский край). Росгеолфонд № 536243. М., 2019.

**Контакты: Ишмухаметова В.Т., ИГЕМ РАН, [geoivt@mail.ru](mailto:geoivt@mail.ru)**