

## ЗАВИСИМОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ УРОНАЙСКОГО РУДНОГО УЗЛА (Восточное Забайкалье)

**В.А. Баландис, Л.В. Замана\*, А.Б. Птицын\***

*Институт геологии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия*

*\* Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672090, Чита, ул. Бутина, 26, Россия*

Разработана методика обработки ГИС-методами пространственно привязанных геологических и гидрогеохимических данных с целью оценки территории Уронайского рудного узла на скрытое оруденение. Создан ГИС-проект, включающий в себя данные по рельефу, геоморфологии, геологии, металлогении и химическому составу природных вод. На его основе выделены несколько гидрогеохимических аномалий и перспективных участков на обнаружение скрытого оруденения молибдена и вольфрама.

*Гидрогеохимия, геоинформационные технологии, молибден, вольфрам.*

## CHEMICAL CHARACTERISTICS OF NATURAL WATERS: DEPENDENCE ON THE GEOLOGIC STRUCTURE OF THE URONAI ORE CLUSTER (eastern Transbaikalia)

**V.A. Balandis, L.V. Zamana, and A.B. Ptitsyn**

A GIS-based technique has been developed to treat spatially related geological and hydrogeochemical data for estimating the hidden mineralization within the Uronai ore cluster. A GIS project is proposed, which includes data on relief, geomorphology, geology, metallogeny, and chemical composition of natural waters. This project appeared to be useful in distinguishing several hydrogeochemical anomalies and promising sites with hidden ores of molybdenum and tungsten.

*Hydrogeochemistry, geoinformation technology, molybdenum, tungsten*

### ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования является Уронайский рудный узел, расположенный в Восточном Забайкалье. Данная территория исследуется геологами много десятков лет. За это время выявлено значительное количество месторождений и рудопроявлений, выходящих на земную поверхность. На современном этапе актуальность приобрели методы, позволяющие выявить скрытое оруденение. Для достижения указанной цели нами использованы три метода:

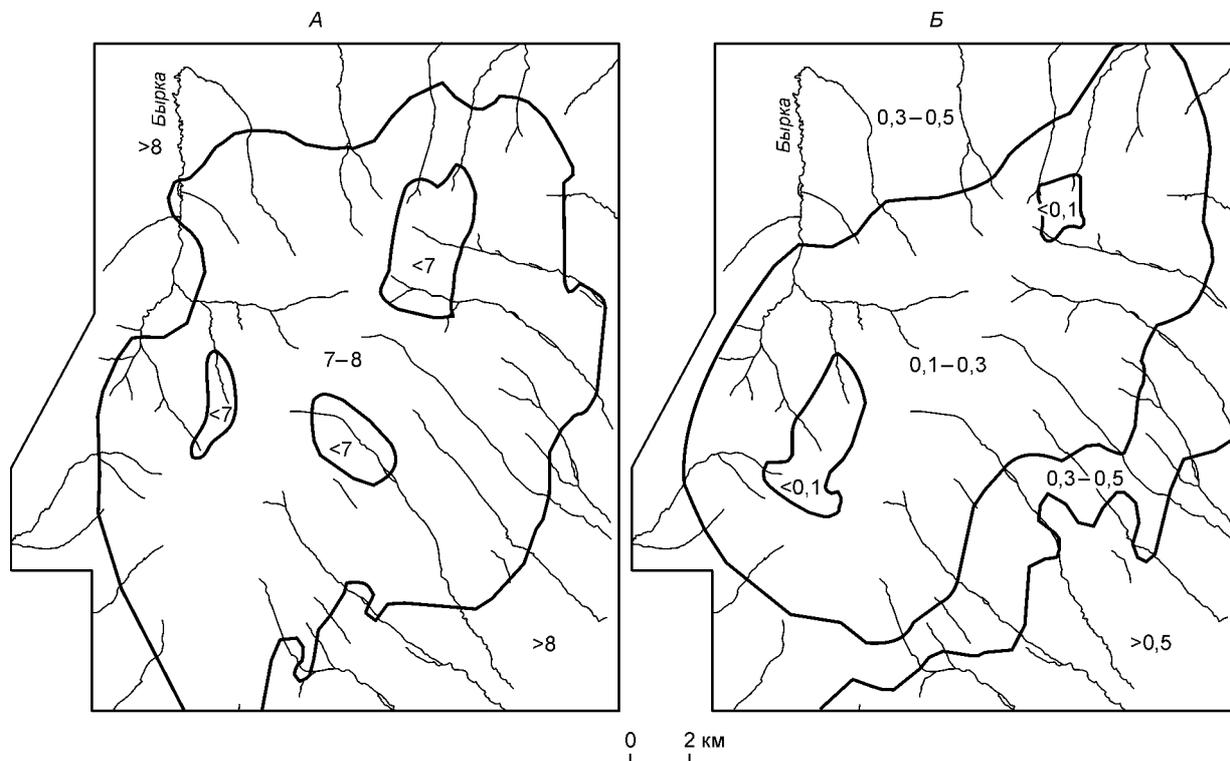
— гидрогеохимическое опробование, позволяющее прогнозировать скрытое оруденение по гидрогеохимическим аномалиям;

— геоинформационное комплексирование разнородных геологических, геоморфологических, металлогенических, ландшафтных и других данных на изучаемую территорию, позволяющее систематизировать, верифицировать, анализировать пространственно привязанную информацию на более высоком уровне;

— обработка данных дистанционного зондирования (мультиспектральные снимки ASTER высокого разрешения), позволяющая выявлять скрытые геологические структуры и ландшафтные особенности территории.

Исследуемая территория представляет собой средневысотную горную область. Ее основная орографическая единица — Уронайский хребет, склоны которого рассечены долинами. По данным геологической съемки, основная часть территории сложена вулканогенно-осадочными породами силура. Они прорываются интрузиями, представленными штоком безрудных гранитоидов каменноугольного возраста, а также штоками и дайками юрского возраста, несущими рудную нагрузку. Для юрских интрузий установлена следующая последовательность кристаллизации: 1) штоки гранодиорит-порфиоров шахтаминского комплекса ( $\gamma\delta\pi J_2$ ); 2) дайки того же состава (шахтаминский комплекс  $\gamma\delta\pi J_2$ ); 3) серия штоков верхнеюрских гранодиоритов ( $\gamma\delta J_3$ ); 4) дайки граносиенит-порфиоров ( $\epsilon\pi J_3$ ). Дизъюнктивные нарушения представлены разломами нескольких направлений. По данным разведочных работ известны рудопроявления вольфрама, меди, цинка, свинца, железа и других металлов. Большинство выявленных рудопроявлений и месторождений приурочены к пироксен-гранатовым и гранат-магнетитовым скарнам. Выявленные месторождения и рудопроявления связываются с юрским магматизмом и, по всей видимости, имеют метасоматический генезис. При этом в формировании рудопроявлений большую роль сыграли разломы.

На исследованной территории распространены нейтральные и слабощелочные гидрокарбонатно-кальциевые воды. Выполненный анализ пространственного распределения геохимических характеристик



**Рис. 1. Распределение на территории Уронайского рудного узла:**

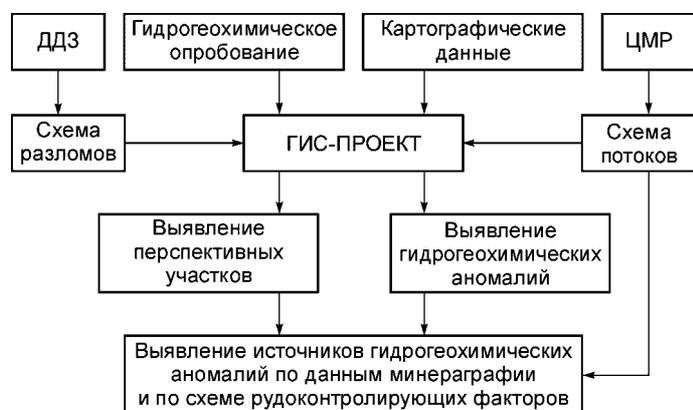
А — уровень рН, Б — минерализации (г/л).

природных вод зависит от орографических особенностей [1]. Как видно из рис. 1, А, рН вод увеличивается вниз по склону. На водоразделе наблюдаются слабокислые воды, а у подножия хребта — щелочные (рН до 9,2) Изменение минерализации вод однотипно распределению рН (см. рис. 1, Б). На приводораздельных частях хребта воды ультрапресные (минерализация <0,1 г/л), у его подножия минерализация увеличивается до 0,5 г/л (пресные воды).

Высокие значения рН и гидрокарбонатный состав вод препятствуют активной миграции меди, свинца, цинка, вольфрама и ряда других элементов. Поэтому на данной территории не образуется выраженных потоков рассеяния этих элементов даже в районе собственных месторождений. В то же время, по мере роста рН создается благоприятная геохимическая обстановка для миграции аниогенных элементов, таких как молибден [2].

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выявления закономерностей распределения элементов на площади Уронайского рудного узла был создан ГИС-проект на эту территорию (рис. 2). Информационная основа состоит из нескольких блоков: 1) данные гидрогеохимического опробования; 2) результаты обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ); 3) картографические данные, включающие в себя характеристику геологии, геоморфологии, металлогении и т. п.; 4) цифровая модель рельефа (ЦМР) и производные от нее сеточные карты.



Гидрогеохимическое опробование — это отбор проб поверхностных и подземных вод на площади Уронайского рудного узла и проверка выявленных гидрогеохимических аномалий в различные сезоны года (весна, лето, осень). Всего отобрано около 390 проб по-

**Рис. 2. Технологическая схема работы.**

верхностных и подземных вод, которые анализировались на общий химический состав, фтор, редкие (Mo, W) и цветные (Cu, Pb, Zn) металлы [3]. Определение pH, Cl<sup>-</sup> и F<sup>-</sup> проводилось потенциометрическим методом, ионов угольной кислоты (CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) — потенциометрическим титрованием; на SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> пробы анализировались турбометрическим методом, на Na, Ca, Mg, K — методом атомной абсорбции. Для определения Mo и W производилось концентрирование на активированном угле и танине с последующим определением эмиссионно-спектральным методом [4]. Для определения цветных металлов (Zn, Cu, Pb,) выполнялось концентрирование с дитиокарбаматом натрия и солями висмута с последующим определением атомно-абсорбционным методом [5]. Химико-аналитические исследования выполнены в Читинском институте природных ресурсов СО АН СССР. Воспроизводимость и правильность определений соответствовала допустимым нормам [6].

Блок картографических данных включает в себя серию цифровых геологических, геоморфологических, металлогенических карт, а также различные гидрогеологические, ландшафтные схемы и схемы растительного покрова территории. Блок данных дистанционного зондирования содержит дневные и ночные снимки ASTER, предоставленные центром ERSDAC по программе ARO (AP 238). Результатом обработки этих снимков явились серия геоландшафтных схем, а также схема разломов территории [7]. Использование ночных тепловых снимков ASTER позволило уточнить локализацию разломов и зон трещиноватости, являющихся основным рудоконтролирующим фактором на территории Уронайского рудного узла. Последний блок состоит из цифровой модели рельефа и производных от нее карт углов падения склонов, азимутов падения склонов, теневой модели рельефа, а также серии перспективных видов, позволяющих более наглядно представить геоморфологические особенности территории. Построение цифровой модели рельефа проводилось в программном пакете ArcGIS методом TOPOGRIDTOOL. Этот метод позволил построить гидрологически корректную модель местности. На основе ЦМР в дальнейшем с помощью программного комплекса River Tools рассчитывалась карта потоков территории, а также выделялись основные водосборные бассейны (пади).

На основе этих четырех блоков создан ГИС-проект территории, позволяющий проводить анализ пространственно привязанной информации. Для выявления гидрогеохимических аномалий, а также участков перспективных на обнаружение скрытого оруденения использовались различные методы пространственного анализа.

По данным гидрогеохимического опробования выявлялись аномалии рудных элементов. Для этого на основании литературных [8] и собственных [1] данных были приняты фоновые значения рудных элементов в водах. Верхнее фоновое значение для молибдена принято 2,5 мкг/л, для вольфрама — 0,5 мкг/л, для меди — 15 мкг/л. Далее для проб с повышенными содержаниями микроэлементов на основе модели потоков вычислялись водосборные области. Это позволило проанализировать области стока для каждой точки опробования. Каждый бассейн урезался согласно миграционной способности микроэлементов в данных геохимических условиях. Для меди дальность миграции была принята не более 1,5 км, для вольфрама — 1 км и для молибдена 2 км.

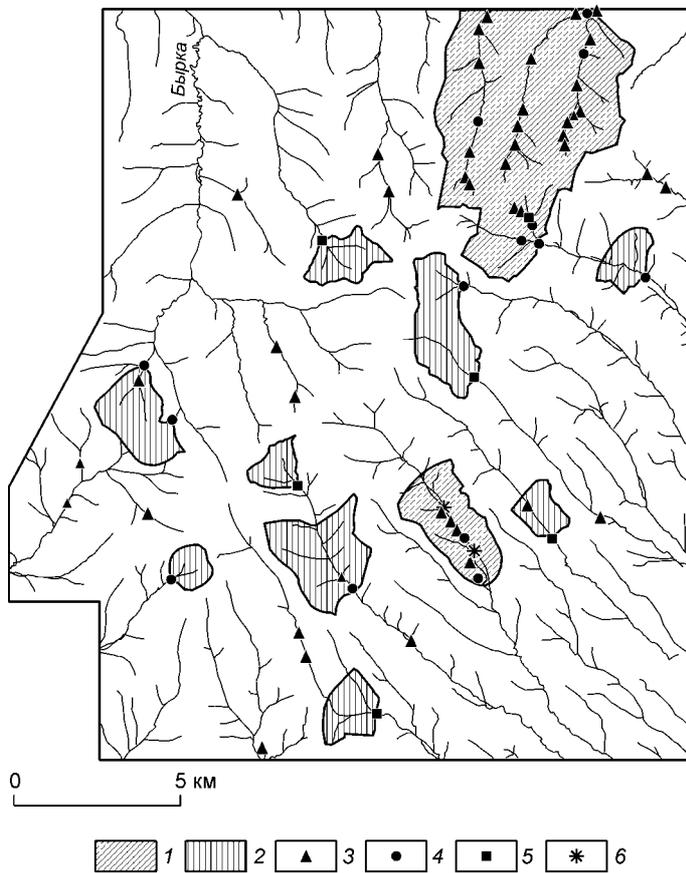
Далее на основе геологических данных выявлялись возможные источники гидрогеохимических аномалий. Так как большинство рудопроявлений имеют метасоматический генезис и связаны со скарнами, то они, вероятнее всего, приурочены к пересечениям разломов с карбонатными породами [9]. Для проверки данной гипотезы были выявлены участки повышенной плотности разломов, а также места пересечения нескольких разломов, которые являются зонами повышенной трещиноватости и соответственно зонами повышенной проницаемости флюида. Далее анализировались пересечения карбонатных прослоев с такими участками. На основе этих схем выделялись участки, перспективные на обнаружение рудопроявлений.

Полученные схемы перспективных участков и выделенных гидрогеохимических аномалий накладывались на карту потоков исследуемой территории. Такое наложение позволяет проследить направление водных потоков от перспективных участков и выявленных рудопроявлений вниз по ручьям, а также решать обратную задачу, т. е. прогнозировать возможный источник гидрогеохимической аномалии.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

Среди рудных элементов выделяются аномально высокие концентрации в воде только молибдена, вольфрама и меди (рис. 3—5).

По свинцу и цинку только две пробы имеют аномально высокие содержания в районе двух полиметаллических рудопроявлений. Самые интенсивные гидрогеохимические аномалии установлены для молибдена. Концентрации его в воде имеют логнормальное распределение (рис. 6,А). В 180 пробах из 390 концентрации молибдена превышают фоновые значения, максимальные достигают 420 мкг/л. Распределение полученных значений концентраций вольфрама в воде также имеет логнормальный характер



**Рис. 3. Гидрогеохимические аномалии меди.**

1 — аномалии меди, превышающие два фона, 2 — аномалии меди от 1 до 2 фонов, 3—6 — точки опробования с содержаниями меди (мкг/л): 3 — 10—15, 4 — 15—25, 5 — 25—35, 6 — 35—45.

(см. рис. 6,Б). При этом следует учитывать, что из 390 проб только в 54 получены значения выше порога обнаружения, а максимальные составляют 112 мкг/л. По содержанию меди только 28 проб превышают фоновое значение, что вполне объяснимо, учитывая щелочной характер растворов.

Соответственно, что для меди выделены две сравнительно небольшие аномалии (см. рис. 3), а также установлены несколько отдельных точек с повышенными содержаниями. Для вольфрама выделяются одна отчетливая аномалия и несколько слабых (см. рис. 4), зато для молибдена — три сильных аномалии и, по крайней мере, пять умеренных (см. рис. 5). Наиболее крупные аномалии молибдена отмечаются вдоль трех падей на юго-восточном склоне хр. Уронай.

Полученный материал указывает на наличие в исследованном районе не только молибденового, но также вольфрамового и медного оруденений. Проведенный ГИС-анализ

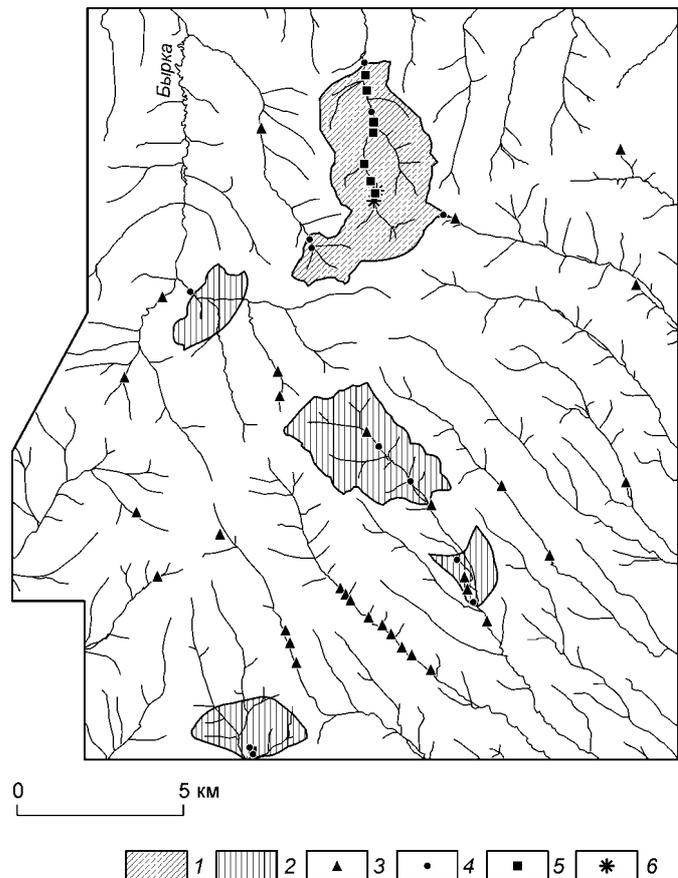
свидетельствует об определенной взаимосвязи оруденений этих трех металлов. Как можно видеть, на данной территории выделяются моно- и биметалльные геохимические аномалии. Это свидетельствует о сложном пространственном распределении оруденения.

Выше было отмечено, что при гидрокарбонатном составе вод и соответственно высоком рН медь может не давать выраженных потоков рассеяния даже в районе собственных месторождений. Отдельные аномальные значения содержания меди в пробах меди в основном приурочены к аномалиям либо молибдена, либо вольфрама.

Как и предполагалось ранее, при той гидрогеохимической обстановке, которая имела место на исследуемой территории, наиболее активно мигрирует молибден. Поэтому именно он образует контрастные гидрогеохимические аномалии. Однако следует отметить, что выделяется также контрастная аномалия по вольфраму на северо-западном склоне хр. Уронай.

**Рис. 4. Гидрогеохимические аномалии вольфрама**

1 — аномалии вольфрама, превышающие пять фонов, 2 — аномалии вольфрама от 1 до 5 фонов, 3—6 — точки опробования с содержаниями вольфрама (мкг/л): 3 — 0,1—1, 4 — 1—10, 5 — 10—50, 6 — 50—112.



**Рис. 5. Гидрогеохимические аномалии молибдена.**

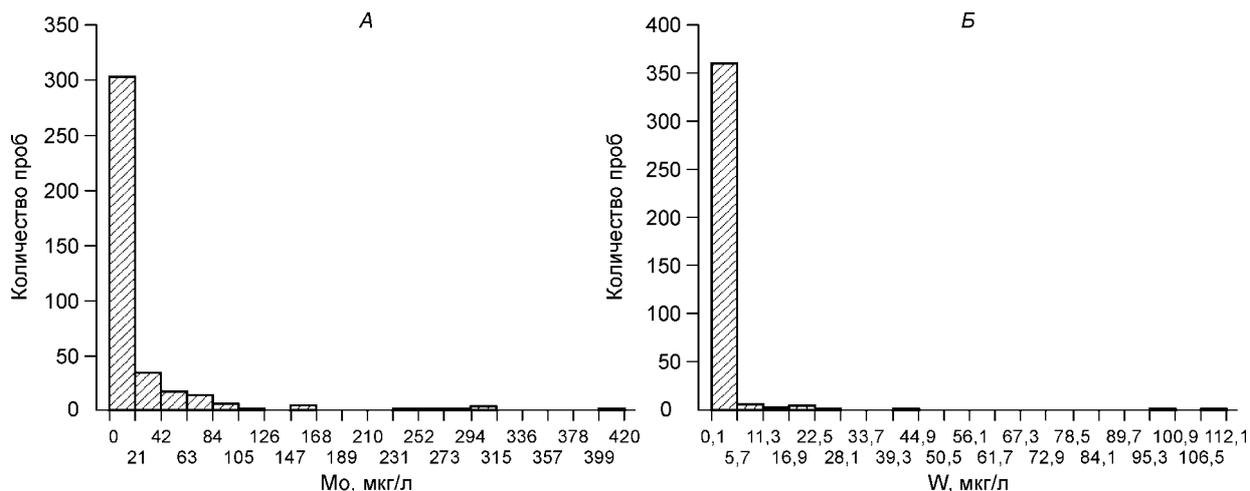
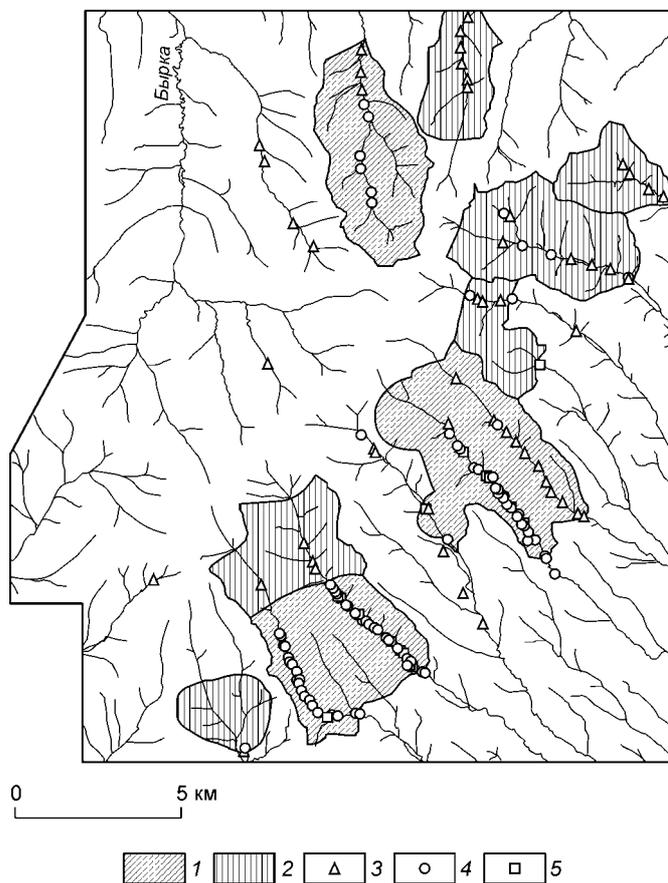
1 — аномалии молибдена, превышающие пять фонов, 2 — аномалии молибдена от 1 до 5 фонов, 3—5 — точки опробования с содержаниями молибдена (мкг/л): 3 — 2,5—10, 4 — 10—100, 5 — 100—420.

### ВЫЯВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ

При анализе гидрогеохимических аномалий в зависимости от расположения известных рудопроявлений и месторождений были получены следующие результаты (см. рис. 7).

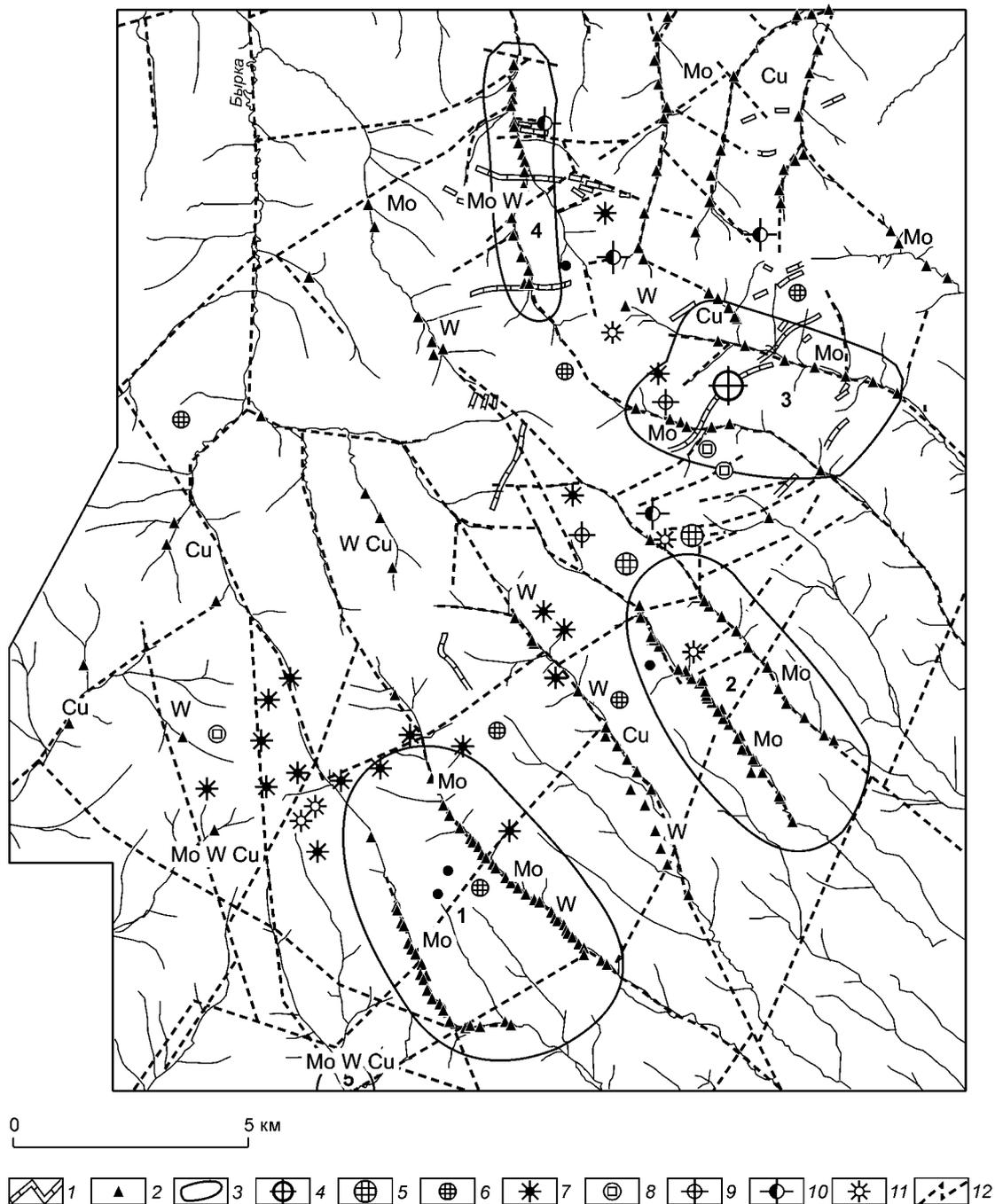
В районе среднего по запасам медно-висмутового месторождения отмечается несколько проб с повышенными концентрациями меди, а также небольшие аномалии молибдена, что связано с молибденовой вкрапленностью. На территории медно-порфирового месторождения отмечается только одна проба с повышенной концентрацией меди. Здесь выявлены также две пади с аномальными содержаниями молибдена, что может быть связано с молибденовой вкрапленностью в медных месторождениях, однако в одном из потоков содержания молибдена достигают 300 мкг/л, что характерно для собственных месторождений молибдена. В рудопроявлениях вольфрама отмечаются только незначительные повышения его концентраций, что может объясняться плохой миграцией вольфрама в гидрокарбонатных водах. Однако на исследуемой территории выделяются гидрогеохимические аномалии, которые не объясняются известными рудопроявлениями и месторождениями. Главным элементом в них является молибден, но также выделяются отдельные пробы с аномальными содержаниями вольфрама и меди.

При анализе зависимости гидрогеохимических аномалий от рудоконтролирующих факторов были установлены следующие закономерности. Большинство аномалий проявляются в падах ниже участков пересечения нескольких разломов. Исключение составляют только те пады, в которых все пробы имеют аномально высокие содержания молибдена, однако для таких падей в местах пересечения разломов концентрации повышаются еще больше. Особое внимание следует уделить местам пересечения разломов с карбонатными породами. В восточной части территории к такому пересечению приурочено среднее



**Рис. 6. Гистограммы распределения в воде:**

А — молибдена, Б — вольфрама.



**Рис. 7. Участки, перспективные на выявление скрытого оруденения (1—5 — пояснения в тексте).**

1 — карбонатные слои; 2 — пробы с аномальными концентрациями Cu, W или Mo; 3 — перспективные области; 4, 5 — месторождения: 4 — Уронайское Вi-Cu-Au, 5 — меди; 6—11 — рудопоявления: 6 — меди, 7 — вольфрама, 8 — свинца и цинка, 9 — висмута, 10 — сурьмы, 11 — молибдена; 12 — геологические разломы.

медно-висмутовое месторождение, на северо-западном склоне аномально высокие концентрации молибдена и особенно высокие концентрации вольфрама отмечаются сразу после пересечения двух разломов с прослоем карбонатных пород.

На основе выявленных закономерностей можно выделить несколько участков, перспективных на обнаружение скрытого оруденения вольфрама и молибдена (рис. 7):

1. С аномально высокими содержаниями молибдена, достигающими 300 мкг/л. Сюда же приурочены и отдельные пробы с повышенным содержанием вольфрама.

2. С повышенными содержаниями молибдена, лишь в отдельных пробах превышающими 300 мкг/л. Правый поток с более низкими содержаниями можно объяснить известными месторождениями меди с

молибденовой вкрапленностью, но левый, со значительно более высокими концентрациями, этим объяснен быть не может.

3. Приурочен к Уронайскому медно-висмутовому месторождению и, скорее всего, связан именно с ним.

4. Характеризуется очень высокими концентрациями вольфрама и также повышенными концентрациями молибдена. В верховьях этого потока наблюдается пересечение нескольких разломов с прослоем карбонатных пород: здесь возможно образование скарного оруденения.

5. Небольшая аномалия в южной части территории, характеризующаяся повышенными содержаниями молибдена, вольфрама и меди. К сожалению, в этой области опробование было недостаточно детальным из-за отсутствия водопроявлений.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование геоинформационных технологий позволило более детально проанализировать имеющийся материал и наглядно представить пространственное распределение гидрогеохимических аномалий на территории Уронайского рудного узла. Сопряжённый пространственный анализ геологической, металлогенической и гидрогеохимической информации позволил выявить основные рудоконтролирующие факторы и проследить зависимость от них гидрогеохимических аномалий. Установлена зависимость концентраций молибдена, вольфрама и меди в поверхностных водотоках от пространственного расположения и пересечения разломов и карбонатных прослоев, являющихся в данном случае основными рудоконтролирующими факторами. В результате исследований выделены участки, перспективные на обнаружение скрытого оруденения, в которых необходимо провести дополнительное гидрогеохимическое опробование.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 03-05-64151, УР 0901015).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Баландис В.А., Замана Л.В.** Использование геоинформационных технологий для анализа закономерностей пространственного распределения и поведения химических элементов в поверхностных водах Уронайского рудного узла // Труды международной конференции „ENVIROMIS 2002“. Томск, Изд-во Том. ЦНТИ, 2002, с. 59—65.
2. **Крайнов С.П.** Геохимия рудных элементов в подземных водах. М., Недра, 1973, 296 с.
3. **Замана Л.В., Чечель Л.П., Борзенко С.В. и др.** Оценка перспектив рудоносности Уронайского рудного узла по гидрогеохимическим данным // Природные ресурсы Забайкалья. Новосибирск, ОИГГМ СО АН СССР, 1991, с. 70—79.
4. **Загузин В.П., Ксензова В.И., Погребняк Ю.Ф.** Химико-спектральное определение вольфрама, молибдена и олова в природных водах // Журн. аналит. химии, 1980, № 6, с. 1143—1147.
5. **Банщиков В.А., Сусленкова Р.М., Кондратенко Л.А.** Атомно-абсорбционное определение тяжелых металлов в природных водах с их предварительным концентрированием соосаждением с висмутом в виде диэтилдитиокарбаматов // Геохимия техногенеза. Иркутск, СибГЕОХИ, 1985, с. 114—117.
6. **Замана Л.В., Гладкая Н.М.** Геохимические особенности природных вод Уровского биогеохимического района // Геохимия, 1993, № 2, с. 269—280.
7. **Глушкова Н.В., Баландис В.А.** Применение многозональных данных дистанционного зондирования для выявления ландшафтных и геологических особенностей Уронайского рудного узла // Материалы конференции „Дистанционное зондирование Земли и атмосферы“ (Иркутск, 2—6 июня, 2003 г.). Иркутск, 2003, с. 15.
8. **Шварцев С.Л.** Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М., Недра, 1998, 365 с.
9. **Вольфсон Ф.И., Яковлев П.Д.** Структуры рудных полей и месторождений. М., Недра, 1975, 271 с.

*Рекомендована к печати 29 ноября 2004 г.  
Г.Н. Аношиным*

*Поступила в редакцию 9 декабря 2003 г.,  
после доработки — 25 октября 2004 г.*