

- [3] Bokov V. N., Klevancov Yu. P., Rozhkov V. A. Ocenki mezhhodovoj izmenchivosti skorosti vetra nad morem // *Izv. AN. Fizika atmosfery i okeana*. 1993. T. 29, N 2. S. 253—259.
- [4] Grigor'eva G. A., Klevancov Yu. P., Rozhkov V. A., Sukhachev V. N. Prostranstvenno-vremennaja izmenchivost' kolebanij urovnya Atlanticheskogo okeana // *Izv. RGO*. 2015. T. 147, vyp. 4. S. 8—24.
- [5] Klevancov Yu. P., Koldunov V. V., Rozhkov V. A., Smirnov K. G. Prostranstvenno-vremennoj kovariacionnyj analiz kolebanij urovnya Tixogo okeana // *Izv. RGO*. 2012. T. 144, vyp. 1. S. 39—50.
- [6] Koldunov V. V., Rozhkov V. A., Smirnov K. G. E'kspress-analiz prostranstvenno-vremennoj izmenchivosti kolebanij urovnya Tixogo okeana // *Izv. RGO*. 2012. T. 143, vyp. 5. S. 15—26.
- [7] Le Blon P., Majsek L. Volny v okeane. M.: Mir, 1981. T. 1. 478 s.; t. 2. 328 s.
- [8] Levin V. I. Metody matematicheskoj fiziki. M.: GUPI, 1956. 243 s.
- [9] Monin A. S. Gidrodinamika atmosfery, okeana i zemnyx neдр. SPb.: Gidrometeoizdat, 1999. 524 s.
- [10] Okeanograficheskie tablicy. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 477 s.
- [11] Rozhkov V. A. Teorija verojatnostej sluchajnyx soбыtij, velichin i funkcij s gidrometeorologicheskimi primerami. SPb.: Progress-pogoda, 1996. 560 s.
- [12] Rozhkov V. A. Teorija i metody statisticheskogo ocenivaniya verojatnostnyx harakteristik sluchajnyx velichin i funkcij s gidrometeorologicheskimi primerami. SPb.: Gidrometeoizdat, 2001. Kn. 1. S. 1—340; 2002. Kn. 2. S. 343—780.
- [13] Rozhkov V. A. i dr. Metody i sredstva statisticheskoj obrabotki i analiza informacii ob obstanovke v Mirovom okeane na primere gidrometeorologii. Obninsk, VNIIGMI-MCD, 2009. 416 s.
- [14] Chelton D. B., Schlax M. G., Samelson R. M. Global observations of nonlinear meso-scale eddies // *Progress in oceanography*. 2011. Vol. 91. P. 167—216.

Иzv. PГО. 2015. Т. 147, вып. 6

ГИДРОТЕРМОКАРСТ КАК РУДОЛОКАЛИЗУЮЩИЙ ФАКТОР

© Ю. С. ЛЯХНИЦКИЙ

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
(ФГУП «ВСЕГЕИ») им. А. П. Карпинского
E-mail: Yuri_Lyahnitsky@vsegei.ru

Гидротермокарст — процесс образования и заполнения полостей термальными восходящими растворами — имеет большое значение для формирования месторождений свинца, цинка, ртути, сурьмы, флюорита, целестина и некоторых других полезных ископаемых. Необходимо своевременно определять карстовую природу оруденения этого типа, так как оно имеет специфические критерии локализации, в том числе гидродинамическим фактором.

Ключевые слова: гидротермокарст, морфологическая зональность, локализация оруденения.

Гидротермокарст — специфический гидротермальный процесс образования полостей в горных породах и отложения в них различных минералов, в том числе и рудных. По сути это эндогенный карст, который генерируется

восходящими термальными водами различного генезиса. Это глубинные гидротермальные растворы, метеорные воды глубинной циркуляции, поствулканические термальные воды и т. д. Существование его доказано открытием полостей с термальными водами, находящимися на больших глубинах и не имеющих никаких связей с поверхностью. Гидротермокарст коренным образом отличается от обычного гидротермального процесса, так как он осуществляется восходящими инфильтрационными и, главным образом, инфлюационными потоками, которые подчиняются гидродинамическим факторам, а не законам фильтрации гидротермальных растворов через поры горной породы, формирующих метасоматические залежи.

Гидротермокарст как особый процесс выделен Ван-Хайзом в 1904 г., в дальнейшем к нему не раз обращались карстоведы: Г. А. Максимович [6], L. Jakucs [13], S. Dzulyński [12], В. Н. Дублянский [1]. Однако оценки его практического значения для рудообразования были осуществлены в основном геологами-рудниками. Одним из первых обратил внимание на проявления гидротермокарста в свинцово-цинковорудных зонах триаса Западной Европы М. Сасс-Густкевич [14]. Но еще раньше, в 1950-х гг., при изучении месторождений Восточных Альп обсуждалась концепция рудообразования, близкая к гидротермокарстовой, хотя этот термин не использовался.

Существенное значение гидротермокарста в геологии рудных месторождений в 1970—1980-х гг. было выявлено Ю. С. Ляхницким и Э. И. Кутыревым [3—5], а также Ю. В. Дублянским (1984 г.) [2]. Мы основывались на результатах исследования рудных месторождений, обобщения обширного материала по мировым месторождениям. В. Н. Дублянский и Ю. В. Дублянский проводили свои исследования в большей степени с гидрогеологических позиций. Для гидротермокарста характерен напорный режим восходящих вод, стремящихся из глубины к поверхности. На определенной глубине их давление падает настолько, что не может обеспечивать дальнейший подъем, и разгрузка потоков происходит в горизонтальной плоскости аналогично водам горизонтальной зоны циркуляции обычного экзокарста. Термальные воды могут достигать земной поверхности, имея еще значительный напор и изливаясь в виде горячих источников. Другой частный случай — образование зоны горизонтальной циркуляции, связанной с водоупорными пластами, полостями нарушениями с глиной трения или иными экранирующими структурами.

Таким образом, для гидротермокарста уверенно могут быть выделены только две гидродинамические зоны. Нижняя — зона вертикальной восходящей циркуляции с гидродинамическим вектором, направленным из глубины к поверхности, и верхняя горизонтальная зона — «растекания» по поверхности зеркала гидродинамического равновесия.

Для гидротермокарстовых полостей характерны существенные особенности, отличающие их от полостей экзокарста. Прежде всего это преобладание признаков «напорных» фреатических полостей: изометричные эллипсоидные сечения, симметричные по отношению к контролирующим структурам, изменчивость направления в пространстве, изгибы, в том числе в вертикальной плоскости, ориентировка длинной оси полостей под различными углами. Характерны сферические, овальные формы полостей — каверн, камер, ротонд, труб, развивающихся в нижней напорной зоне гидротермокарстовых систем. Полости зоны горизонтальной циркуляции гидротермокарста ближе к полостям экзокарста, но тоже имеют свою специфику,

Типы систем	Группы и подгруппы систем			
	Горизонтальные	Комбинированные		Вертикальные
		Т-образные	Многоэтажные	
Простые				
Разветвленные				
Лабиринтовые				

Рис. 1 Классификация гидротермокарстовых систем полостей.

так как обычно содержат реликты полостей первоначального напорного генезиса.

Для гидротермокарстовых (эндокарстовых) систем полостей устанавливается зеркальная морфологическая зональность относительно систем холодного карста (рис. 1). Она выражается в расположении вертикальных полостей в нижней части систем под горизонтальными, а не сверху, как в системах экзогенного «холодного» карста. Направленность гидродинамического вектора гидротермокарста создает полости с ярко выраженной вертикальной составляющей, что приводит к образованию крупных специфических труб, «слепых» колодцев и шахт с овальным сечением и гладкими стенами, не несущими признаков эрозионного, водобойного воздействия, характерного для экзокарста, и чаще не вскрывающихся на поверхность. Часто возникают сопряженные сферические полости, образующие вертикальные «грозди» сферических ротонд. По тектоническим нарушениям развиваются уплощенные крутопадающие, линзовидные трещины и галереи (жилообразные). Однако многоэтажные разветвленные гидротермокарстовые системы в ряде случаев морфологически близки к своим классификационным экзокарстовым аналогам, что обусловлено суммированием вертикальных составляющих разных стадий развития; благодаря чему формируется система, имеющая в разрезе и в плане решетчатый облик. Различия экзо- и эндокарста устанавливаются не

только морфологическим анализом, но и геологическими наблюдениями: горизонтальные составляющие гидротермокарста экранируются водоупорами сверху. Более интенсивное развитие процессов метасоматоза в гидротермокарсте в сравнении с холодным карстом приводит к значительно более широкому проявлению в эндокарсте процессов доломитизации и окварцевания известняков вокруг полостей, к перекристаллизации известняков и доломитов.

Локализация рудного вещества в карстовых (палеокарстовых) полостях закономерно обусловлена комплексом факторов. Наибольшее значение имеет, видимо, анизотропия геологической среды, создающейся карстом, играющая роль физического барьера, что выражается в резкой смене плотности, параметров давления в полостях карста и палеокарста при гидротермальном рудоотложении. Большое значение имеет фактор геохимического барьера, так как заполнитель карстовых полостей (часто легко растворимые формы карбонатов, пористые породы с захороненными растворами), различные растворы и рассолы, циркулирующие по этим полостям, в том числе метеорные воды с поверхности, являются хорошими осадителями рудного вещества, переносимого в растворенном состоянии. Так формируются концентрации свинца, цинка, ртути, сурьмы, барита, целестина и др.

Карстовые структуры приурочены, как правило, к зонам проницаемости в карстовых массивах, поэтому они служат «пунктами перехвата» рудоносных растворов, поступающих как из глубины, так и с поверхности. Рудолокализирующей структурой являются зоны площадной кавернозности, создающие благоприятную обстановку для осаждения рудного вещества по комплексу физикохимических параметров. Этот механизм реализуется при формировании специфического типа оруденения низкотемпературных стратиформных (телетермальных) месторождений.

На подавляющем большинстве гидротермокарстовых месторождений ниже определенного палеогипсометрического уровня гидротермокарстовые тела выклиниваются, переходя в безрудные кварцевые или кальцитовые жилы либо в тонкие трещинки — проводники, порой не несущие видимых признаков гидротермальных изменений, или полости, заполненные нерудными кольматолитами, или даже зияющие полости с пострудными растворами. Таким образом, в рудоподводящих гидротермокарстовых каналах обычно рудное вещество отсутствует.

Достигая в толще пород критического гипсометрического уровня, где литостатического давления уже не достаточно для удержания флюида в жидком состоянии, он теряет равновесие, освобождается от рудного вещества, а иногда даже вскипает (взрывается). Следы таких «взрывов» фиксируются в гидротермокарстовых системах в виде изометричных структур с радиальной сетью трещин, сфокусированных на центр камеры.

Благодаря высокой проникающей способности перегретые гидротермы, пар, используя трещины, слоистость, сланцеватость, проникают в толщу пород и, охлаждаясь, конденсируется. Рудное вещество локализуется на этих гидротермодинамических барьерах. Термальные растворы корродируют породы, создавая полости, зоны кавернозности, зоны горизонтальной циркуляции гидротермокарстовой системы. Благоприятные условия для формирования уплощенных полостей — будущих «таблитчатых», линзовидных или «пластовых» тел — возникают также под экранирующими водоупорными пластами.

Таким образом, в гидротермокарстовой системе можно представить существование трех подвижных термодинамических зон: нижней гидротермальной «перегретой», средней газогидротермальной и верхней гидротермальной. Динамичность таких зон подтверждается хорошо изученным явлением пульсации гейзеров. Ритмичная «бурундучная» текстура руд, столь характерная для гидротермокарстовых месторождений, подтверждает данную схему.

Основы современной теории гидротермокарстового рудообразования были заложены еще в 1950-х гг. (С. Джулинский [12], М. Сасс-Густкевич [14]), но до сих пор в сознании геологов понятия «карст» и «гидротермальный процесс» часто воспринимаются как несовместимые. «Карст» в первую очередь ассоциируется с зоной гипергенеза, процессами, протекающими сверху вниз. Многие геологи-рудники, признавая важную рудолокализирующую роль карста, ограничивают его значение созданием полостей как механических ловушек, непосредственно не связанных с рудным процессом. Сейчас ясно, что гидротермальное (в том числе сульфидное) рудообразование и карст могут быть практически неразрывны во времени, являясь по сути единым процессом.

Карстовые системы — сложные физико-химические, гидрогеологические, гидродинамические, геологические системы, к которым неприменимы упрощенные модели. Нерационально определять карстовые месторождения терминами «полигенные», «полихронные», так как по сути — это уход от решения вопроса. Проблема карстовых месторождений должна разрабатываться и дальше, особенно при практической работе на месторождениях, являющихся потенциально карстовыми. Структурные, морфологические и морфогенетические классификации карстовых систем, предложенные нами, следует рассматривать как попытку частных решений или варианты описания наиболее типичных сторон этого сложного явления.

Примеры типичных гидротермокарстовых месторождений: Тюямуюньское (уран) — Средняя Азия, Бадам (флюорит, барит) — Казахстан, Лякян (целестин), Сигуаньшань и Цинлун (сурьма), Ваньшань (ртуть) — Китай, Корначино и Монтебуано (ртуть) — Италия, Маскот-Джеферсон-Сити (цинк) — США, Тетюхинское (свинец, цинк) — Дальний Восток РФ, Степано-Петровское (свинец) — Петропавловская группа Восточного Забайкалья РФ. Классический пример крупной, имеющей большое практическое значение, рудной свинцово-цинковой провинции — район «Верхнемиссисипской Долины». Есть достаточно много новых открытий, свидетельствующих о широком развитии гидротермокарстового оруденения. Например, часть полиметаллических проявлений Новой Земли также может относиться к этому типу. В качестве иллюстрации приводится описание нескольких гидротермокарстовых месторождений.

Благодатское и Екатерино-Благодатское месторождения (рис. 2) — системы гидротермокарстовых рудных залежей размером в несколько сотен метров, соединяющиеся на глубине 500—600 м. В рудном поле отчетливо проявлена экранирующая роль горизонта углистых сланцев, ниже которого в пакке закарстованных доломитов размещаются трубчатые, прихотливой формы жиллообразные и линзовидные рудные тела. С. С. Смирнов [7], характеризуя морфологию рудных тел Благодатского месторождения, отмечает, что «руды в нем находились весьма обширными гнездами (камерами, изометричными полостями — ротондами), соединявшимися между собой разной толщины прожилками и щелевидными телами. Отдельные „гнезда“ имеют поперечные

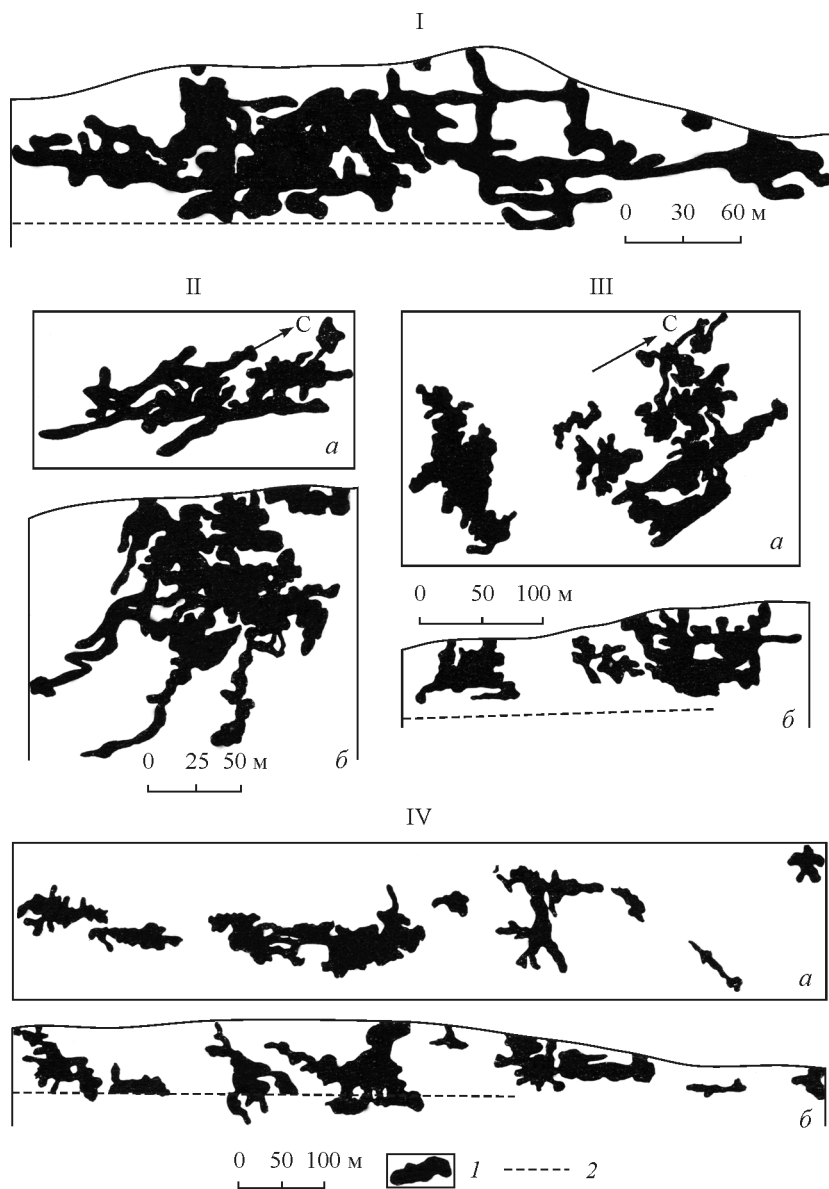


Рис. 2. Сечения отработанных богатых гидротермокарстовых свинцово-цинково-рудных залежей Восточного Забайкалья (по С. С. Смирнову [7]).

I — Тайнинский рудник (разрез), месторождения: II — Ильди́канское, III — Мальцевско-Килгинское, IV — Воздвиженское (а — план, б — разрез); 1 — проекция очистных выработок, 2 — гипсометрический уровень изученности.

размеры до нескольких десятков метров (ротонды), по склонению же обычно значительно больше; форма этих гнезд изометричная, неправильная».

Екатери́но-Благода́тское месторождение состоит из уплощенной рудной «галереи» и прихотливого очертания рудной камеры, включающей два рядом расположенных и связанных рудной щелью трубчатых тела; диаметр одного из них около 5 м. Все рудные скопления залегают в окварцованном долами-

товом известняке, а главная залежь — в контакте известняка со сланцем, образующем висячий бок. Руды месторождения — богатые свинцово-цинковые (галенит, сфалерит) с достаточно высокими содержаниями золота и серебра [7]. Текстуры руд массивные, полосчатые и брекчиевидные, структуры крупнокристаллические и мелкозернистые. Месторождение Третье-Спасское, давшее 150 т руды, представляло собой типичную неправильную трубу в доломите, размером в поперечнике от 0.4 до 1.6 м; по склону прослеженную на 50 м. Старозерентуйское месторождение, давшее 18 тыс. т руды, — серия неправильных гнезд и прожилков, в совокупности образующих трубообразное тело вблизи контакта доломитов и сланцев. Поперечник трубы 15—20 м, длина по склону 90 м. Мальцевско-Килгинское месторождение дало 61 тыс. т руды. Месторождение имело чрезвычайно замысловатую форму и, по выражению В. М. Крейтера, представляло собой «заросль» (куст) крайне неправильных рудных рукавов, чаще всего тонких, изгибающихся и сливающихся один с другим самым причудливым образом.

Степано-Петровское месторождение описано [7], по данным А. Озерского (1867 г.), следующим образом: «С поверхности по обломкам свинцового блеска отыскивали выход отвесно нисходящей трубки, вначале около дюйма в диаметре; по мере углубления поперечник увеличивался, достиг до аршина, потом месторождение разделилось на три ветви; одна из них слилась, описав дугу, с другою, близлежащею; две же главные ветви сделались значительно толще. В верхней части месторождение было выполнено свинцовым блеском, расположенным одноконцентрическими слоями, при расширении мешков показались глинистые охры со свинцовым блеском и белою свинцовою рудой; под ними появился серный колчедан, и донине в глубину не разведанный. Месторождение заключалось в известняке, а часть одной ветви — в глинистом сланце; при переходе из одной породы в другую свойства руд не изменялось. Стены выработанных начисто пустот совершенно гладки, как будто вытерты, не предоставляют следов соприкосновения с рудами и придают целому месторождению вид первоначально бывшей пещеры или заранее готовой опоки, которая выполнялась рудой». Труба склоняется под углом 55° на юго-восток, диаметр ее от 1 до 4 м. Трех-Святское месторождение представляет собой крайне сложную серию неправильных труб, гнезд и прожилков в доломитовом известняке. Объемная его модель однозначно указывает на сложную серию соединенных сфер — анфилад, состоящих из камер и наклонных труб, свойственных гидротермокарстовым системам. По Эйхвальду, «месторождение это носит на себе характер рудных пещер. Полости в чистом либо в железистом известняке не имеют ни простираения, ни падения, потому что на каждом шагу делают решительные изменения в разные и большей частью противные стороны. Почти все пещеры то расходятся, то приближаются одна к другой, то, наконец, сливаются в одну массу. Каждая из них пускает от себя в различные стороны ветви, преимущественно круглового поперечного сечения. Случается, что ветви эти связывают две соседние пещеры, но чаще на некотором удалении исчезают. Главные мешки сопровождаются по сторонам менее значительными, от которых отделяются пластами известняка либо тальковой глиной. Они выполнены поименованными рудами и заключают в себе валуны боковых пород. Иногда руды от боков пещер отделены железистой тальковой глиной». Само месторождение схематично можно рассматривать как пять совокупностей рудонд — Северной, Восточной (Николаевской), Западной (Богоявленской), Южной (Екатерининской) и Ивановской.

В глубину вся их совокупность прослежена на 50—60 м. Наиболее правильные ротонды имели сечения 20×15 м. Добывавшиеся руды состояли преимущественно из лимонита, гематита, псиломелана, кварца, церуссита, каламина, смитсонита, миметезита. Редко встречались почки сплошного галенита с примесью сфалерита и пирита. Ново-Соколовское (Ново-Соколовское) месторождение является крайне сложной совокупностью «мешков и провалов, связанных прожилками», которые образуют в общем трубообразное тело, склоняющееся на юго-запад под углом около 20° . Залегает труба в известняке непосредственно близ контакта его со сланцем, расположенным с висячего бока. Труба прослежена по склонению на 170—180 м, на вертикальную глубину ~90 м. Максимальный ее диаметр достигает нескольких метров. Таким образом, эти уже достаточно «старые», описания месторождений, не подверженные конъюнктурным влияниям господствующих теорий, однозначно свидетельствуют о принадлежности их к карстовому (в широком смысле) типу.

Для доказательства объективности концепции гидротермокарстового оруждения здесь приводятся классические описания уранового месторождения Тюя-Муюн в Фергане, сделанные А. Е. Ферсманом и др. [9]. Закарстованный горстообразный массив известняков силура—нижнего карбона зажат между блоками глинистых и кремнистых сланцев, перемежающихся с битуминозными известняками, песчаниками, с пластовыми телами диабазов, базальткератофировых туфов и туфобрекчий (рис. 3). Известняки мраморизованы, местами окремнены, брекчированы, содержат «жилы», представляющие собой «карстовые извилистые ходы, местами расширяющиеся в пещеры различной формы и положения, отчасти или вполне заполненные минеральными образованиями в виде сталактитов, сталагмитов, натеков, корок и пр. На глубине от 140 до 220 м эти вертикальные или крутопадающие ходы и пещеры сменяются почти горизонтальными системами» [9]. «Заполнение имеет зональную концентрическую текстуру с послойным отложением различных генераций минералов ... От периферии к центру залегают: 1) кальцит радиально-лучистый сталактитового типа; 2) рудный «мрамор» крупнокристаллический, с тюямунитом (уранованадат Са) и тангемитом (ванадат Са и Си); 3) барит красный, медово-желтый прозрачный или бесцветный; 4) в центре полости брекчии из обломков баритов, натеков мраморного оникса и сталагмитов; 5) самыми поздними являются белые отложения кальцита и красноцветные глины (terra rossa)» [9]. А. Е. Ферсман считал, что при формировании месторождения экзокарстовая система полостей уже сформировалась, а рудное вещество — ванадий и уран, поступало с термами из битуминозных линз сланцевой свиты или с растворами «являющимися последними проявлениями рудообразования ювенильного типа». Из приведенных характеристик важна L-образная структура рудного поля (экзокарст) и развитие среди первых зон кольматолитов только кальцитов, что свидетельствует об экзокарстовом происхождении системы. Последующие зоны кольматолитов, за исключением самых поздних, указывают на гидротермокарст. Таким образом, месторождение может быть отнесено к простому каскадному, с преобладанием вертикальной составляющей структурно-морфологическому типу и к гидротермально-экзокарстовому генетическому типу.

Ярким примером гидротермокарстовых ртутных месторождений служат проявления ртути Ваньшаньской группы в Китае (провинции Гуйчжоу и Сычуань) [8]. Они локализованы в рудоносной карбонатной толще с моноклинальным горизонтальным залеганием. Основные запасы в послойных рудонос-

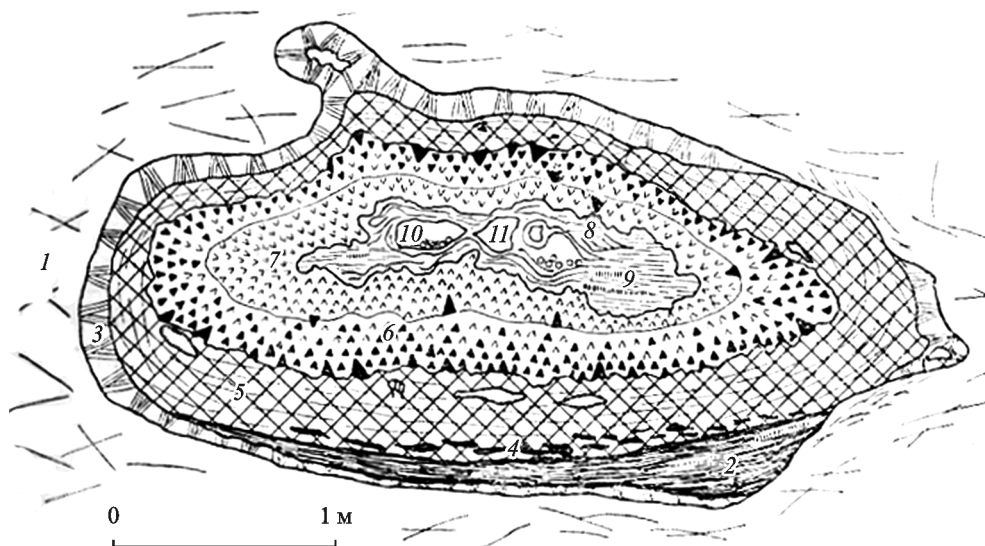


Рис. 3. Строение рудного тела «Главной жилы» Тюя-Муюнского месторождения (по А. Е. Ферсману [9, 10]).

1 — коренной известняк, 2 — карстовая сталагмитовая кора, 3 — щестоватая кора, 4 — первичный уранованадит, 5 — «рудный мрамор», 6 — красный барит, 7 — прозрачный и медовый барит, 8 — кора с terra rossa, 9 — поздняя кальцитовая кора с мраморным ониксом, 10 — кристаллы гипса, 11 — реликтовые полости.

ных брекчиях приурочены к двум-трем пластам доломитов. Рудные тела имеют линзо- и пластообразную форму. Они достигают первых километров в длину при ширине сотни метров и мощности до первых десятков метров. Рудная минерализация представлена крупнокристаллической киноварью. На стенках крупных полостей встречаются хорошо ограненные кристаллы и друзы киновари, достигающие 5—7 см в поперечнике. Интересно также повышенное содержание твердых битумов (антраксолита) в цементе рудоносных брекчий. Формирование месторождений Ваньшаньской группы происходило при участии средне-низкотемпературных (250—50 °C) растворов, которые поступали из областей высоконапорного артезианского бассейна в его краевые части по водопроницаемым горизонтам. Наиболее активное гидротермокарстовое выщелачивание осуществлялось в горизонтах осветленных, частично перекристаллизованных доломитов с ослабленными плоскостями напластования (рис. 4). Крупные полости формировались на участках сочленения или пересечения субпараллельных малоамплитудных нарушений, затухающих в кровле надрудных пород, с зонами внутриформационного расслоения.

На Бадамском флюоритовом месторождении в Казахстане барит локализован в гидротермокарстовых полостях различной морфологии и генезиса (рис. 5).

Выделяются три типа полостей: остаточные, трещинные и выщелачивания. Наиболее ранние — остаточные, сформированные при неполной кольматации первичных полостей. Они имеют овальную, иногда слегка вытянутую форму. Их стенки покрыты пластинчатыми друзовидными агрегатами барита, на которые нарастают отдельные кубические кристаллы флюорита размером до 4 см, с зонами роста от фиолетового цвета до прозрачного. Встречаются кристаллы, имеющие до пяти разноцветных зон.

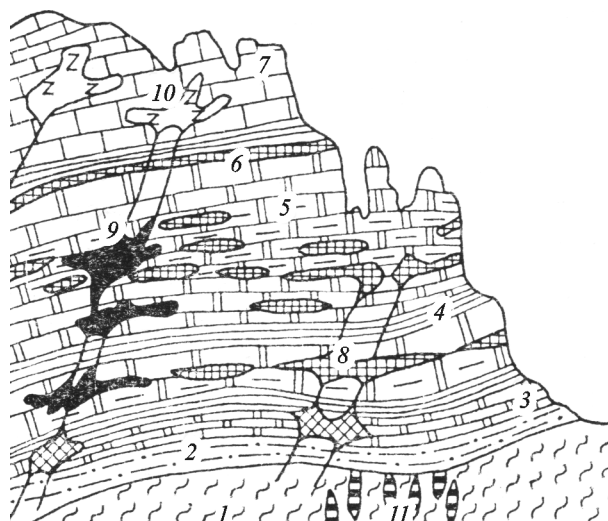


Рис. 4. Ваньшаньская группа месторождений Китая.

1 — гнейсовидные сланцы докембрия, 2 — горизонт с маломощными пластовыми залежами медных руд, 3, 6 — доломиты, 4 — сланцы, 5 — глинистые доломиты, 7 — известняки; 8—11 — оруденелые руды: 8 — блеклые, 9 — сурьмяные (антимонитовые) карстовые, 10 — цинковые карстовые, 11 — баритовые жилы.

Наиболее интересны в практическом отношении полости выщелачивания, локализующиеся в зонах брекчий на контакте массивных и перекрывающих их слоистых известняков. Полости изометричные, иногда вытянутые вдоль трещин. Преобладают крупные каверны до 30 см в поперечнике, реже встречаются камеры диаметром до 1 м (рис. 5). Таким образом, на Бадаме существуют реликтовые гидротермокарстовые полости в рудном флюорите, оставшиеся после выполнения карстовых полостей, и полости, в которых покровные коры и кристаллы флюорита составляют сравнительно небольшой объем. Сплошные рудные тела и полости с рудой расположены в центральной зоне оруденения, а полости второго типа — на периферии.

Из открытий последнего времени Павловское свинцово-цинковое месторождение на архипелаге Новая Земля (Каленич и др., 2003 г.) частично также может быть отнесено к гидротермокарстовым. Месторождение приурочено к крыльям крупной интенсивно деформированной антиклинальной складки. Рудовмещающие карбонаты перекрыты мощной экранирующей толщей глинистых отложений среднего девона, способствовавшей локализации оруденения. Структурная ситуация: блоковая структура, наличие мощных дизъюнктивов, экранирующая водоупорная структура, приуроченность оруденения к карбонатным карстующимся известнякам, узлам тектонической активности, ядрам складок является очень благоприятной для развития гидротермокарстового процесса. Рудное тело представляет собой гигантскую пологонаклонную неправильную линзу шириной до 250 м, длиной по простиранию более чем 900 м и мощностью 50—100 м. Оно имеет раздувы в ядре структуры и «лентовидные» продолжения на флангах, а также линзообразные, клиновидные расщепления. Границы оруденения резкие — часто приконтактная зона имеет минимальную мощность всего 10 см. Внутреннее строение рудного тела характеризуется «сочетанием участков переменной рудонасыщенности»,

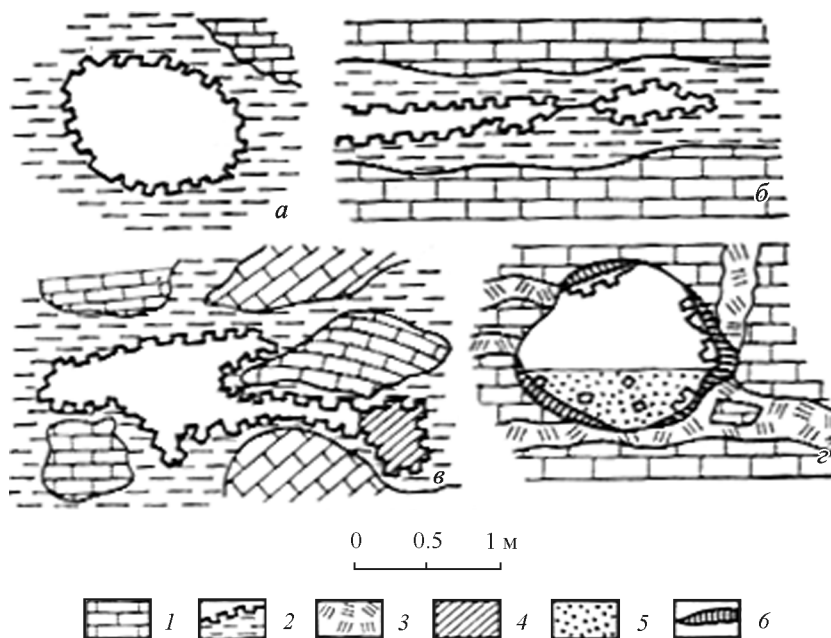


Рис. 5. Типы флюоритсодержащих гидротермокарстовых полостей на месторождении Бадам (по Т. Р. Халмухамедову и Г. Е. Завьялову [11]).

а, б, в — остаточные полости во флюорите: *а* — округлая; *б* — щелевидная; *в* — сложной формы, среди обломков известняков; *г* — «погреб» в известняке с частично обрушившимися стенками. 1 — известняк, 2 — флюорит, 3 — барит, 4 — кальцит, 5 — мелкозернистый заполнитель, 6 — кварц.

т. е. имеет внутреннюю неоднородность, дискретность. Это описание рудного тела вполне соответствует типичным гидротермокарстовым подэкраным структурам.

Оруденение представлено галенитом, сфалеритом и пиритом. Руды имеют массивную, гнездово-прожилковую, брекчиевую, петельчато-сетчатую, прожилково-вкрапленную текстуру. Широко распространены колломорфные, радиально-лучистые, колломорфно-полосчатые, почковидные, зональные агрегаты, метаколлоидные, кристаллические, катакластические структуры. Характерно наличие нескольких генераций рудных минералов. Таким образом, текстурно-структурные особенности первичных руд свидетельствуют о возможности формирования их в полостях, кавернах, возникших при дорудном выщелачивании карбонатов. Все это свидетельствует о возможности гидротермокарстового генезиса руд. Мы предлагаем провести исследования, которые могут подтвердить наше предположение о карстовой природе месторождения, что поможет расшифровке структурного плана сложной рудной системы месторождения в целом.

Цель данной публикации — привлечение внимания геологов к проблеме гидротермокарстового оруденения. Практика показывает, что, несмотря на ряд публикаций, большинство геологов все еще мало знакомы с этим типом оруденения и не всегда узнают его в своей практической работе. При этом теряются возможности использовать критерии локализации оруденения этого специфического типа и затрудняется расшифровка структурного плана рудных полей. В настоящее время новая теоретическая, техническая, приборная

база существенно облегчает возможности диагностики и определения типовой принадлежности гидротермокарстового оруденения, но для этого необходимо сконцентрировать исследования на его специфических диагностических признаках. Считаем, что это будет полезно геологам-рудникам в их практической работе.

Список литературы

- [1] Дублянский В. Н. Гидротермокарст Альпийской складчатой области юга СССР // Физическая география и геоморфология. № 21. Киев, 1979. С. 61—64.
- [2] Дублянский Ю. В. Гидротермокарст как рудоподготовительный процесс. Новосибирск: СО АН СССР, 1985. 18 с.
- [3] Кутырев Э. И., Ляхницкий Ю. С., Михайлов Ю. М. Карстовые месторождения. Л.: Недра, 1989. 310 с.
- [4] Кутырев Э. И., Ляхницкий Ю. С. Роль карста в формировании месторождений свинца, цинка, сурьмы, ртути и флюорита // Литология и полезные ископаемые. 1982. № 2. С. 54—69.
- [5] Ляхницкий Ю. С. К вопросу рудоносности палеокарста. Материалы 4-й Молодежной геол. конф. ВСЕГЕИ, 1977. Л., 1977. С. 50—156.
- [6] Максимович Г. А. Основы карстоведения. Т. 1. Пермь, 1963. 444 с.; т. 2. 1969. 529 с.
- [7] Смирнов С. С. Полиметаллические месторождения и металлогения Восточного Забайкалья. М.: АН СССР, 1961. 507 с.
- [8] Федорчук В. П. Геология ртути. М.: Недра, 1983. 271 с.
- [9] Ферсман А. Е. К морфологии и геохимии Тюя-Муяна // Труды по изучению радия. Т. 3. Л.: АН СССР, 1927. 93 с.
- [10] Ферсман А. Е. Тюя-Муянский радиевый рудник // Природа. 1924. № 1—6. С. 58—57.
- [11] Халмухамедов Т. Р., Завьялов Г. Е. Типы флюоритоносных полостей Бадамского месторождения (Южный Казахстан) // Геология и закономерности размещения нерудных полезных ископаемых Средней Азии. Вып. 3. Ташкент, 1981. С. 29—34.
- [12] Dzulynski S. Hydrothermal karst and Zn—Pb sulfide // Roczn. Pol. tow. geol. 1976. Vol. 46, N 102. P. 217—230.
- [13] Jacics L. Morphogenetics of karst regions. Variants of karst evolution. Budapest. Akad., 1977. P. 245—268.
- [14] Sass-Gustkiewicz M. Zinc and lead mineralization in collapse breccias the Olkusz mine (Cracow Silesian Region, Poland) // Rocznik Polskiego towarzystwa geologicznego. 1975. P. 303—326.

Поступило в редакцию
3 июля 2012 г.

Hydrothermocarst as an ore localizing factor

© Yu. S. Lyahnitsky

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (FGUP VSEGEI)
E-mail: Yuri_Lyahnitsky@vsegei.ru

Hydrothermocarst, the process of formation and infilling of cavities with ascending thermal solutions, is of great importance for the formation of lead, zinc, mercury, antimony, fluorite, celestite and some other mineral deposits. It is necessary to determine the karst nature of this type of mineralization as early as possible for it has specific localization criteria including hydrodynamic factor.

Key words: hydrothermocarst, morphological zoning, location of mineralization.

References

- [1] *Dublyanskiy V. N.* Gidrotermokarst Alpiyskoi skladchatoy oblasti yuga SSSR // *Fizicheskaya geografia i geomorfologia*. N 21. Kiev, 1979. S. 61—64.
- [2] *Dublyanskiy Y. V.* Gidrotermokarst kak rudopodgotovitelni process. Novosibirsk: SO AN SSSR, 1985. 18 s.
- [3] *Kuterev E. I., Lyahnitskiy Y. S., Mihailov B. M.* Karstovye mestorozhdeniya. L.: Nedra, 1989. 310 s.
- [4] *Kuterev E. I., Lyahnitskiy Y. S.* Rol karsta v formirovaniy mestorogdeniy svinca, cinka, surmi, rtuti i fluorita // *Litologia a poleznie iskopaemiy*. 1982. N 2. S. 54—69.
- [5] *Lyahnitskiy Y. S.* K voprosu rudoznosnosti paleokarsta. Material 4-i Molodezhnoy geol. konf. VSEGEI, 1977. L., 1977. S. 150—156.
- [6] *Maksimovich G. A.* Osnovy karstovedeniya. T. 1. Perm, 1963. 444 p.; t. 2. 1969. 529 s.
- [7] *Smirnov S. S.* Polimetallicheskie mestorozhdeniya i metallogeniya Vostochnogo Zabaykalya. M.: AN SSSR, 1961. 507 s.
- [8] *Fedorcyuk V. P.* Geologia rtuti. M.: Nedra, 1983. 271 s.
- [9] *Fersman A. E.* R morfologiya i geokhimiya Tya-Muyna // *Trudy po izucheniyyu radiya*. T. 3. L.: AN SSSR, 1927. 93 s.
- [10] *Fersman A. E.* Tya-Muyanskiy radiyevy rudnic // *Priroda*. N 1—6. 1924. S. 58—57.
- [11] *Halimuhamedov T. R., Zavalov G. E.* Tipy flyoritonosnykh polostey Badamskogo mestorozhdeniya (Uznniy Kazahstan) // *Geologia i zakonomernosti razmesheniya nerudnykh poleznykh iskopaemykh Sredney Azii*. Vip. 3. Tashkent, 1981. S. 29—34.
- [12] *Dzulynski S.* Hydrothermal karst and Zn—Pb sulfide // *Rocz. Pol. tow. geol.*, 1976. Vol. 46, N 102. P. 217—230.
- [13] *Jacucs L.* Morphogenetics of karst regions. Variants of karst evolution. Budapest. Akad., 1977. P. 245—268.
- [14] *Sass-Gustkiewicz M.* Zinc and lead mineralization in collapse breccias the Olkusz mine (Cracow Silesian Region, Poland) // *Rocznik Polskiego towarzystwa geologicznego*. 1975. P. 303—326.