

---

---

Научная статья

УДК 553.21/.24

DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-5

## К ВОПРОСУ О ТЕМПЕРАТУРАХ ОБРАЗОВАНИЯ СЕЛЛАИТА И ФЛЮОРИТА В МЕСТОРОЖДЕНИИ СУРАН (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

С. В. Мичурин, Г. М. Казбулатова, А. Г. Султанова

*Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, s\_michurin@mail.ru*

Для селлаит-флюоритового месторождения Суран обобщены и критически рассмотрены имеющиеся в настоящее время данные по температурам гомогенизации и декрепитации флюидных включений. Показано, что основанные на этих данных выводы предыдущих исследователей о температурах флюоритообразования носят противоречивый характер. Обсуждаются возможные причины сложившегося положения. Приводятся результаты изучения селлаита, различных генераций флюорита и кварца методом вакуумной декрепитации. Делается вывод о том, что начальные температуры минералообразующих флюидов могли достигать 360–400°C.

*Ключевые слова:* флюорит, селлаит, месторождение Суран, температуры образования, Южный Урал, флюидные включения

*Благодарности:* Авторы искренне признательны С. А. Даниленко за обсуждение материалов статьи. Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2022–0015.

Original article

## ON THE ISSUE OF THE FORMATION TEMPERATURES OF SELLAITE AND FLUORITE IN THE SURAN DEPOSIT (SOUTH URALS)

S. V. Michurin, G. M. Kazbulatova, A. G. Sultanova

*Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, s\_michurin@mail.ru*

For the sellaite-fluorite Suran deposit, the currently available data on the temperatures of homogenization and decompression of fluid inclusions are summarized and critically reviewed. It is shown that the conclusions of previous researchers on fluorite formation temperatures based on these data are contradictory. Possible causes of the current situation are discussed. The results of studying sellaite, various fluorite and quartz generations by vacuum decompression are presented. It is concluded that the initial temperatures of mineral-forming fluids could reach 360–400°C.

*Keywords:* fluorite, sellaite, Suran deposit, formation temperatures, Southern Urals, fluid inclusions

*Acknowledgements:* The authors are sincerely grateful to S. A. Danilenko for discussing the materials of the article. The research was carried out on the subject № FMRS-2022–0015 of the state task to the Institute of Geology UFRC RAS.

---

**Для цитирования:** Мичурин С. В., Казбулатова Г. М., Султанова А. Г. К вопросу о температурах образования селлаита и флюорита в месторождении Суран (Южный Урал) // Геологический вестник. 2024. № 1. С. 64–75. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-5

**For citation:** Michurin S. V., Kazbulatova G. M., Sultanova A. G. (2024) On the issue of the formation temperatures of sellaite and fluorite in the Suran deposit (South Urals). *Geologicheskii vestnik*. 2024. No. 1. P. 64–75. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-1-5

---

© С. В. Мичурин, Г. М. Казбулатова, А. Г. Султанова, 2024

## Введение

Суранское селлаит-флюоритовое месторождение открыто сравнительно недавно. В 1980-х годах при геологическом доизучении центральной части Ямантауского антиклинория в карбонатах и сланцах суранской свиты нижнего рифея Н. Н. Ларионовым обнаружена прожилково-вкрапленная и жильная флюоритовая минерализация [Ларионов и др., 1987; Ларионов, 1989]. В результате дальнейшего изучения выявлено среднее по запасам (около 4 млн т) [Магадеев и др., 1997] месторождение плавикового шпата. Прогнозные ресурсы района оценены в 10 млн т [Хамитов и др., 1999]. Месторождение в настоящее время разрабатывается. Промышленную добычу флюорита и селлаита осуществляет ООО «Уральская горнодобывающая компания». В 2016 году балансовые запасы плавикового шпата по категории С<sub>2</sub> в месторождении Суран составляли менее 1 млн т [Мустакимова, 2017].

Геохимические и минералогические особенности селлаит-флюоритовой минерализации в связи с вопросами генезиса месторождения рассматривались многими исследователями [Ларионов и др., 1987; Настасиенко, Сомов, 1991; Крупенин, Меллер, 1995; Сомов, 1997; Смолянский, Сухаржевский, 1998; Бобохов и др., 1998; Бобохов, Бобохова, 1998; Грановская и др., 1999; Dzwillo, 2000; Smolyansky, 2000; Смолянский, 2003; Крупенин и др., 1999; 2012]. Вместе с тем приводимые ими данные о температурах образования флюорита несколько противоречивы. Ряд авторов, используя метод гомогенизации флюидных включений [Ларионов и др., 1987; Настасиенко, Сомов, 1991; Сомов, 1997] или эмпирический геотермометр, основанный на интенсивности термодегазации пород [Бобохов и др., 1998; Бобохов, Бобохова, 1998], приводят доказательства низкотемпературного (менее 120°C) формирования флюоритовой минерализации. В то же время на основе большого объема аналитических данных, полученных как методом гомогенизации и криометрии флюидных включений, так и методом вакуумной декрепитации, установлены более широкие температурные интервалы формирования флюоритов: гомогенизация — 70–220°C, декрепитация — 140–240°C [Крупенин и др., 1999; Маслов и др., 2001; Крупенин и др., 2012]. Наконец, согласно исследованиям Н. В. Грановской с соавторами [Грановская и др., 1999], первичные флюидные включения во флюоритах имеют еще более высокие температуры гомогенизации, равные 220–270°C.

В настоящей статье нами предпринимается попытка обобщить и критически рассмотреть имеющиеся температурные данные по Суранскому месторождению, а также приводятся результаты изучения селлаита, различных генераций флюорита и кварца методом вакуумной декрепитации. Этот метод позволяет лишь косвенно судить о температурах образования минералов. Однако проведенные ранее исследования [Крупенин и др., 1999; Грановская и др., 1999] показывают, что данные вакуумной декрепитации по флюоритам в целом согласуются с результатами изучения их флюидных включений методом гомогенизации. Кроме того, для непрозрачного селлаита, в котором проводить исследования методом гомогенизации затруднительно, данные декрепитации могут дать дополнительную информацию о температурах его образования или преобразования.

## Геологическое положение и краткая характеристика месторождения

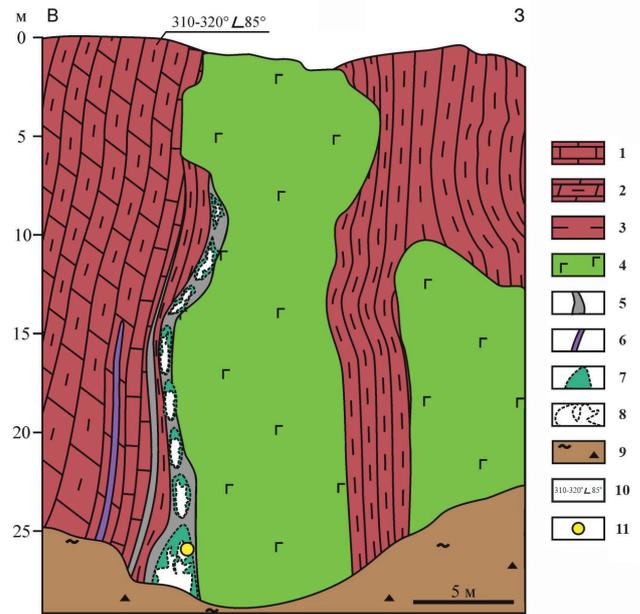
Суранское селлаит-флюоритовое месторождение расположено примерно в 12–14 км северо-восточнее пос. Тукан и приурочено к Восточно-Суранскому разлому (надвигу) [Ларионов, 1989]. В месторождении в мергельных сланцах бердагуловской подсвиты суранской свиты нижнего рифея флюорит образует субсогласные жилы мощностью 0,5–8 м, прослеженные на глубину ~350 м. Выделено [Ларионов и др., 1987; Крупенин и др., 2012] четыре генерации (типа) флюорита: серый фарфоровидный, темно-фиолетовый, зеленый, прозрачный (оптический). Селлаит совместно с зеленым флюоритом встречается только на южном фланге месторождения (Суран-1) в экзоконтакте с дайкой габбродолеритов (рис. 1), которая не имеет секущих контактов с флюоритовой жильной зоной, а примыкает к ней с западной стороны. Н. Н. Ларионовым с соавторами [Ларионов, Цветкова, 2003; Ларионов и др., 2015] габбродолериты отнесены к юрматинскому габбродолеритовому комплексу, а Ю. Г. Князевым [Князев и др., 2010] — к повальненскому (1128–1004 млн лет, К-Аг метод [Алексеев, 1984]). Возраст юрматинского комплекса считался раннедевонским на основании К-Аг датировок от 390 до 530 млн лет [Алексеев, 1984]. Позднее Ю. Г. Князевым с соавторами [Князев и др., 2010] по цирконам из двух даек этого комплекса были получены изохроны 284±2 и 292±2 млн лет, в связи с чем указанными авторами он переименован в ямантауский комплекс раннепермского возраста.

Изучение различных геохимических особенностей флюоритов [Крупенин и др., 2012], показало, что ранние генерации серых и фиолетовых флюоритов отлагались из обогащенных фтором эвапоритовых рассолов, а зеленые флюориты, метасоматически замещающие ранние генерации флюорита и селлаит, имели другой источник фтора, предположительно связанный с гранитоидами. Возраст флюоритов указанными исследователями оценивается в  $1219 \pm 120$  млн лет (Sm-Nd метод). Вместе с тем полученные K-Ar датировки флогопитов из апогаббровых метасоматитов и зеленых флюоритов ( $769 \pm 20$  и  $623 \pm 20$  млн лет), по мнению исследователей [Настасиенко, Сомов, 1991; Сомов, 1997], отражают дорудную и послерудную возрастную границу образования селлаита и зеленого флюорита.

### Материалы и методы

Для исследований отобрано 24 образца, в том числе кварца — 5, селлаита — 5, флюорита различной окраски — 14. Большинство образцов взято на южном фланге месторождения (Суран-1), на северном фланге (Суран-2) отобрано 3 образца кварца и 2 образца флюорита черной и пятнисто-фиолетовой («замутненной») окраски. Отбор образцов в пределах площади месторождения проводили при полевых исследованиях в 1996, 2003 и 2021 годах.

Декрепитация осуществлялась из граммовых навесок на форвакуумной установке VS-35 при линейном повышении температуры от 20 до  $650^\circ\text{C}$ . Скорость нагрева составляла  $20^\circ\text{C}/\text{мин}$ , предельный вакуум —  $1.5\text{--}2.5 \text{ Pa}$  ( $\sim 0,02 \text{ мм рт. ст.}$ ). Для исследования брали фракции 0.1–0.25 и 0.25–0.5 мм, поскольку ранее установлено [Бобохов, Бобохова, 1998], что при уменьшении размерности исследуемых фракций флюоритов Суранского месторождения газовыделение в них увеличивается (рис. 2, а). Контроль температуры осуществляли термпарой (тип ХА) с точностью  $\pm 5^\circ\text{C}$ . За температуру декрепитации принималась начальная температура резкого увеличения давления, так как именно она, при скорости нагрева  $20\text{--}40^\circ\text{C}/\text{мин}$  [Хотеев, 1980], наиболее близка температуре гомогенизации флюидных включений [Наумов, 1968; Пашков, 1980; Наумов, Наумов, 1980]. Интенсивность газовыделения на декрепитобарограммах оценивалась в условных единицах (1 мм высоты пика увеличения давления) и затем вычислялась доля (в %) выделившихся газов в каждом температурном интервале. Условия проведения декрепитации были выбраны



**Рис. 1. Геологический разрез селлаит-флюоритового месторождения Суран (по [Мичурин, Шарипова, 2022] с изменениями)**

Условные обозначения: 1 — известняки; 2 — мергельные сланцы; 3 — сланцы; 4 — габбродолериты; 5–7 — флюориты: 5 — темно-серые; 6 — фиолетовые; 7 — зеленые; 8 — селлаит; 9 — осыпь; 10 — элементы залегания пород; 11 — место находки медистого золота.

**Fig. 1. Geological section of the sellaite-fluorite deposit Suran (according to [Michurin, Sharipova, 2022] with changes)**

Legend: 1 — limestones; 2 — marl shales; 3 — shales; 4 — gabbro-dolerites; 5–7 — fluorites: 5 — dark gray; 6 — purple; 7 — green; 8 — sellaite; 9 — talus; 10 — elements of rock occurrence; 11 — the site of the discovery of copper gold.

с учетом исследовательских рекомендаций, касающихся различных аспектов применения этого метода [Хотеев, 1980; Кокин, 1981; Наумов и др., 1983; Бобохов, Бобохова, 1990]. Более детально условия проведения анализа описаны нами ранее [Мичурин и др., 2004; Мичурин, Высоцкий, 2009; Мичурин и др., 2009].

### Результаты исследования

В изученных образцах установлено несколько интервалов газовыделения с начальными температурами декрепитации  $70\text{--}120$ ,  $160\text{--}180$ ,  $200\text{--}245$ ,  $265\text{--}325$ ,  $360\text{--}380$ ,  $425\text{--}460^\circ\text{C}$  (таблица, рис. 2б), которые мы связываем с деструкцией флюидных включений. Кроме того, в большинстве проб некоторое увеличение давления присутствует в диапазоне  $30\text{--}60^\circ\text{C}$ , которое обычно обуслов-

лено выходом адсорбированной воды [Юргенсон, 2003]. В образцах кварца также незначительно проявлена декрепитация при температурах  $\alpha$ - $\beta$  перехода ( $\sim 573^\circ\text{C}$ ). В двух образцах флюорита и одной пробе селлаита зафиксировано интенсивное газовыделение при температуре свыше  $500^\circ\text{C}$  (см. рис. 2б, обозначение 3), которое, вероятно, связано с разложением примесей карбонатных или сульфидных минералов.

В целом в кварце преимущественно фиксируется декрепитация флюидных включений в интервале  $220$ – $440^\circ\text{C}$  (см. таблица), низкотемпературное газовыделение проявляется только в единичных образцах. В образцах селлаита и флюорита наблюдается несколько иная картина. В них довольно часто отмечается декрепитация как в области низких температур при  $80$  и  $160^\circ\text{C}$ , так и высоких при  $280$ – $440^\circ\text{C}$  (см. таблица).

### Обсуждение результатов

Ранее Н. В. Грановской с соавторами [Грановская и др., 1999] и М. Т. Крупениным [Маслов и др., 2001] анализировались возможные причины расхождения данных по температурам образования флюоритов в месторождении Суран. В частности, указывалось [Грановская и др., 1999], что выводы предшественников о низ-

котемпературном флюоритообразовании базировались на изучении температуры гомогенизации только вторичных флюидных включений. Последние во флюоритах, согласно указанным исследователям, характеризуются приуроченностью к трещинам, развитием вакуолей крупных размеров преимущественно с жидким наполнением и  $T_{\text{гом}}$   $105$ – $140^\circ\text{C}$ . Действительно, первые данные [Ларионов и др., 1987] по температурам гомогенизации ( $105$ – $120^\circ\text{C}$ ) были получены по газовой-жидким включениям (объем газовой фазы не более  $5$ – $10\%$ ), имеющих в полупрозрачном бесцветном флюорите наиболее крупные размеры.

По данным М. Т. Крупенина [Маслов и др., 2001; Крупенин и др., 2012] температуры гомогенизации флюидных включений из флюоритов разных генераций несколько различаются. Самыми низкотемпературными являются флюориты первых генераций — серые и фиолетовые крипнокристаллические с  $T_{\text{гом}}$   $70$ – $150^\circ\text{C}$ , более высокотемпературными — поздние генерации зеленых флюоритов с  $T_{\text{гом}}$   $130$ – $160^\circ\text{C}$ , а наиболее высокотемпературными — оптические с  $T_{\text{гом}}$   $170$ – $220^\circ\text{C}$ . Вместе с тем указанным автором эти результаты получены совместно с немецкими коллегами из центра GeoForschungsZentrum, по заключению которых [Dzwillio, 2000] основная масса флюидных включений в изученных флюоритах имеет размеры

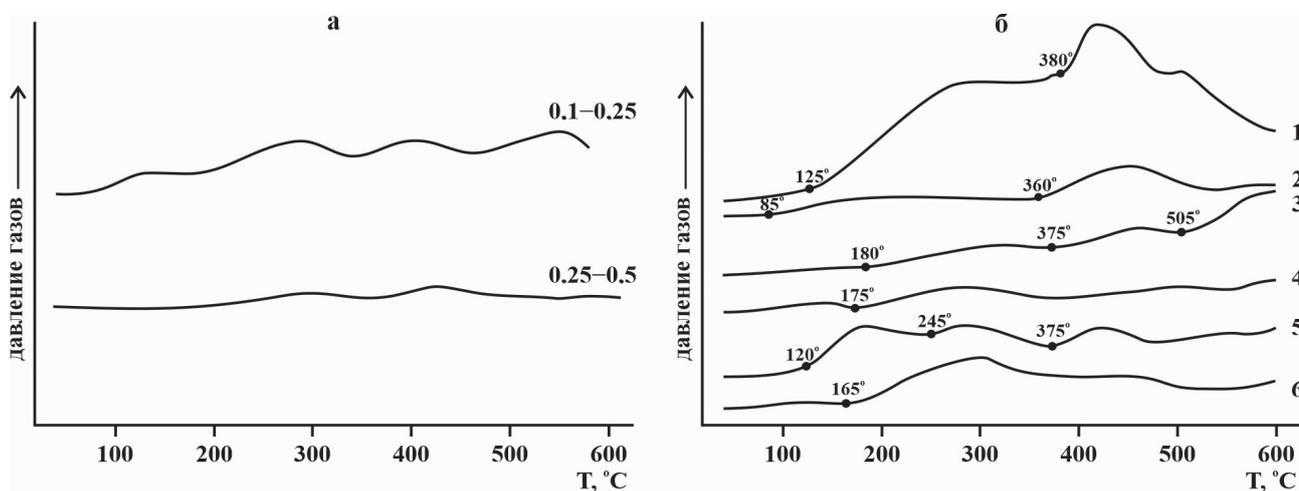


Рис. 2. Декрептобарограммы оптического флюорита (а) (по [Бобохов, Бобохова, 1998] с изменениями), селлаита и разноокрашенных флюоритов (б) месторождения Суран

Условные обозначения: 1 — селлаит; 2–6 — флюориты: 2 — зеленый; 3 — прозрачный (оптический); 4 — черный; 5 — пятнисто-фиолетовый («замутненный»); 6 — белый слабо полосчатый. На рисунке а цифрами показаны размеры исследуемой фракции, на рисунке б — начальные температуры увеличения давления.

Fig. 2. Decreptobarograms of optical fluorite (a) (according to [Bobokhov, Bobokhova, 1998] with changes), sellaite and variously colored fluorites (b) of the Suran deposit

Legend: 1 — sellaite; 2–6 — fluorites: 2 — green; 3 — transparent (optical); 4 — black; 5 — mottled purple (“cloudy”); 6 — white slightly striped. In Figure a, the figures show the size of the studied fraction, in Figure b — the initial temperatures of the pressure increase.

**Таблица Начальные температуры вакуумной декрепитации и доля (%) выделившихся газов в кварце, селлаите и флюорите месторождения Суран**  
**Table Initial temperatures of vacuum decompression and the proportion (%) of released gases in quartz, sellaite and fluorite of the Suran deposit**

№ обр.	Минерал	Фракция. мм	Начальные температуры декрепитации и доля (%) выделившихся газов					
			80	160	220	280	365	440
м123	кварц	0.25–0.5	—	—	77	—	—	23
м125		0.25–0.5	69	—	—	—	31	—
м129*		0.1–0.25	—	—	—	43	57	—
м129/1*		0.1–0.25	—	—	26	54	20	—
м130*		0.1–0.25	—	—	22	—	—	78
м130/1*		0.1–0.25	—	—	61	—	—	39
м132*		0.25–0.5	—	61	—	—	—	39
б/н	селлаит	0.25–0.5	—	63	—	5	32	—
б/н		0.25–0.5	—	40	—	—	33	27
б/н		0.25–0.5	4	55	—	—	40	2
б/н	селлаит+зеленый флюорит	0.25–0.5	12	39	—	27	9	13
б/н		0.25–0.5	29	44	—	—	10	17
м126	зеленый флюорит	0.25–0.5	—	—	29	10	48	13
м126		0.1–0.25	21	79	—	—	—	—
б/н		0.25–0.5	—	42	—	4	25	29
м128а		0.1–0.25	100	—	—	—	—	—
м128б	фиолетовый флюорит	0.1–0.25	—	100	—	—	—	—
б/н		0.25–0.5	12	27	—	1	39	21
б/н		0.25–0.5	—	27	—	13	39	21
б/н*		0.25–0.5	48	9	—	—	24	12
б/н*	черный флюорит	0.25–0.5	—	70	—	—	30	—
б/н	вкрапленный флюорит	0.25–0.5	—	—	—	84	11	16
б/н	белый слабо полосчатый флюорит	0.25–0.5	6	41	—	2	43	8
б/н		0.25–0.5	3	44	—	9	15	29
СБ-11		0.25–0.5	15	36	—	6	21	21
м127	прозрачный (оптический) флюорит	0.25–0.5	24	—	46	22	—	8
м127		0.1–0.25	100	—	—	—	—	—
б/н		0.25–0.5	—	23	—	19	42	15
б/н		0.25–0.5	25	5	—	5	65	—

Примечание. Образцы, помеченные звездочкой, отобраны на северном фланге месторождения (Суран-2), остальные образцы взяты на южном фланге (Суран-1).

Note. The samples marked with an asterisk were taken on the northern flank of the deposit (Suran-2), the remaining samples were taken on the southern flank (Suran-1).

5–10 мкм, а форма их выделения и взаимное расположение указывают на возможный вторичный характер. На присутствие значительного количества первично-вторичных и вторичных газовой-жидких включений неправильно-вытянутой формы, ориентированных по трещинам спайности флюоритов с  $T_{\text{гом}}$  105–270°C указывается в работе [Грановская и др., 1999]. Таким образом, в суранских флюоритах вторичные флюидные включения, образованные в результате эпигенетических процессов, гомогенизируются в широком температурном интервале, вероятно, вплоть до 220–270°C.

По представлениям М. Т. Крупенина [Маслов и др., 2001], вторичный характер включений определяется тем, что после образования месторождения на рубеже примерно 1250 млн лет назад, вмещающие его раннерифейские породы испытали погружение на глубины более 10 км и в результате большого литостатического давления первичные включения в хрупких флюоритах могли подвергнуться деструкции. Как известно [Наумов, Наумов, 1980; Наумов и др., 1983; Vodnar, 2003], сохранность флюидных включений в первую очередь обусловлена способностью вмещающих минералов выдерживать флюидное избыточное или пониженное давления. Однако поведение флюидного включения при литостатических давлениях зависит не только от механических свойств минерала-хозяина, но и от размера включения, его формы, состава и плотности [Frezzotti et al., 2012; Diamond, Tarantola, 2015]. Согласно модельным расчетам [Campioni et al., 2015], существует пороговый размер полости флюидного включения, равный 1 мкм, ниже которого она не разрушится ни при каком значении градиента давления, испытываемого породой.

Первичные газовой-жидкие включения, установленные во флюоритах месторождения Суран [Грановская и др., 1999], характеризуются очень маленькими размерами, не более 2–5 мкм, и  $T_{\text{гом}}$  220–270°C. Они имеют овальную, округлую, трубчатую форму и форму негативных кристаллов и не приурочены к каким-либо линейным зонам. В целом субмикронный размер флюидных включений в суранских флюоритах подтверждается экспериментальными данными, приведенными в работе [Бобохов, Бобохова, 1998]. Указанными исследователями при нагреве в вакууме оптического флюорита, раздробленного и разделенного на фракции разного размера от <0.07 до 0.25–0.5 мм, значительное приращение давления зафиксировано только в самой тонкой фракции. Подобное увели-

чение газовой-выделения во фракции размерностью менее 70 мкм, по нашему мнению, свидетельствует о присутствии во флюорите очень большого количества флюидных включений крайне незначительного размера, вероятно, не более 1–2 мкм. Понятно, что изучение таких включений методом гомогенизации будет неизбежно наталкиваться на определенные инструментальные ограничения.

Согласно полученным нами данным, в кварце Суранского месторождения довольно отчетливо выделяются две группы флюидных включений, декрепитация которых начинается при температурах 220–280°C и 365–440°C. Это может указывать на присутствие в кварце двух генераций флюидных включений — первичных с температурами декрепитации 365–440°C и вторичных с  $T_{\text{декр}}$  220–280°C. С другой стороны, в кварце рудных месторождений подобная часто встречающаяся декрептоактивность объясняется длительным формированием кварца при постепенном снижении температуры минералообразующих флюидов с ~400 до 200°C [Юргенсон, 2003; Мичурин и др., 2009].

В селлаите и флюорите наблюдается как низкотемпературная (80–160°C), так и высокотемпературная декрепитация (280–440°C). Как следует из вышеизложенного, причиной первой из них является вскрытие вторичных флюидных включений. Установленное ранее во всех разновидностях суранских флюоритов газовой-выделение при высоких температурах (300–400°C) [Грановская и др., 1999] связывалось с растрескиванием минералов по спайности. По нашему мнению, присутствие высокотемпературных интервалов и их сходство в разных минералах — кварце, селлаите и флюорите — не исключает того, что выделение газов при этих температурах обусловлено декрепитацией первичных включений. Подтверждением этого является зональность в распределении величины  $I_{370}$ , которая представляет собой интенсивность и долю выделившихся газов при температурах 360–400°C. На рисунке 3 вынесено изменение этой величины на площади месторождения. Используются данные по ~60 образцам, которые были отобраны при полевых исследованиях совместно с А. С. Бобоховым в 1996 году. На рисунке 3 видно, что на южном фланге месторождения субмеридионально простирающаяся жильная зона полностью оконтуривается участком, в котором фиксируются максимальные значения  $I_{370}$  в породах, в то время, как на северном фланге направление таких участков постепенно меняется и становится субширотным. Эти результаты, возможно, отражают температурную зональность рудоносных

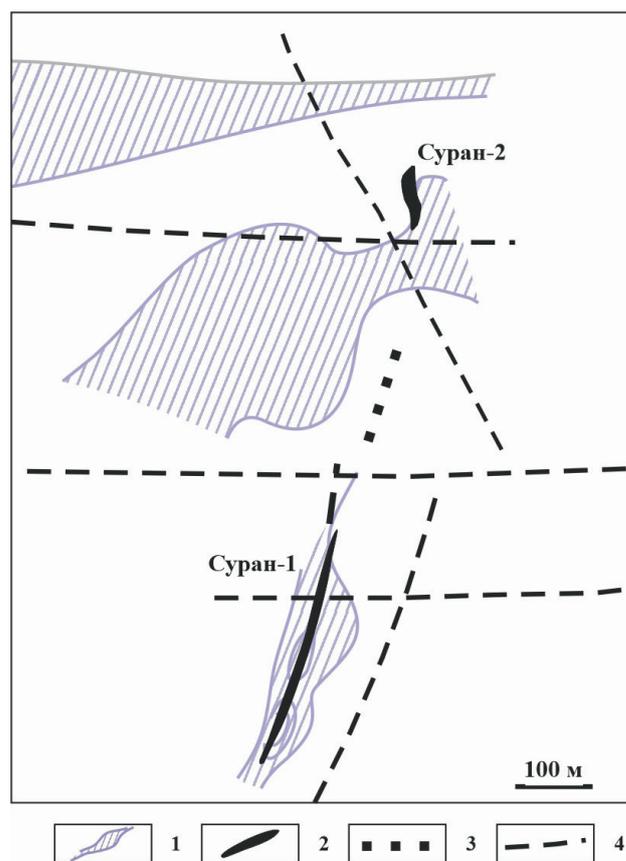
флюидов, начальные температуры которых были около 360–400°C.

В последнее время нами получены минералогические свидетельства сравнительно высокотемпературного отложения зеленых флюоритов [Мичурин, Шарипова, 2022]. На контакте с габбро-долеритами в зеленом флюорите из селлаит-флюоритовой жилы (см. рис. 1) нами обнаружено медистое золото состава  $(\text{Cu}_{2.89}\text{Zn}_{0.09})_{2.98}(\text{Au}_{1.64}\text{Ag}_{0.38})_{2.02}$ . Согласно исследованиям [Okamoto et al., 1987] температура фазового перехода CuAu II (35–65 ат. % Au, т. е.  $\text{Cu}_2\text{Au}$  —  $\text{CuAu}_2$ ) в CuAu I (40–60 ат. % Au, т. е.  $\text{Cu}_3\text{Au}_2$  —  $\text{Cu}_2\text{Au}_3$ ) составляет приблизительно 385°C, а при температуре <350°C образующиеся фазы с низкими содержаниями серебра или меди становятся метастабильными [Мурзин, Малюгин, 1983; Knight, Leitch, 2001]. Таким образом, есть основания предполагать, что образование медистого золота в зеленых флюоритах происходило при температурах около 385°C.

В настоящее время в литературе все чаще появляются сведения о находках медистого золота такого состава [Литвиненко, 2016; Шайбеков и др., 2020]. Помимо Суранского месторождения нами оно обнаружено в Западно-Акташской рудной зоне и в катавских известняках на р. Зилим [Мичурин, Шарипова, 2022; Michurin, Kazbulatova, 2024]. Общей чертой находок в Западно-Акташской зоне и Суранском месторождении является их приуроченность к эндо- или экзоконтактам габбро-долеритов. Это свидетельствует о генетической связи медистого золота с деятельностью постмагматических флюидов, а его сходный специфичный химический состав позволяет считать, что флюиды были связаны с одним и тем же комплексом магматических пород [Мичурин, Шарипова, 2022; Michurin, Kazbulatova, 2024]. По петрохимическим и геохимическим особенностям габбро-долериты из Западно-Акташской зоны и Суранского месторождения сходны с габбро-долеритами инзерского комплекса. U — Pb возраст комплекса составляет согласно [Князев и др., 2010]  $721 \pm 6,9$  млн лет, что совпадает со временем образования селлаита и зеленого флюорита, имеющих возрастную «вилку»  $769\text{--}623 \pm 20$  млн лет (K-Ar данные по флогопиту [Настасиенко, Сомов, 1991; Сомов, 1997]).

### Заключение

Селлаит и флюорит месторождения Суран представляют собой сложные объекты для термометрических исследований из-за крайне не-



**Рис. 3. Участки максимальной декрепитации пород при температурах 360–400°C в пределах площади месторождения Суран**

Условные обозначения: 1 — изолинии величины  $I_{370}$  и выделенные участки максимальной декрепитации пород при температурах 360–400°C; 2–3 — рудные зоны флюорита: 2 — жильного; 3 — вкрапленного; 4 — предполагаемые разрывные нарушения.

**Fig. 3. Areas of maximum rock decompression at temperatures of 360–400°C within the area of the Suran deposit**

Legend: 1 — isolines of magnitude  $I_{370}$  and isolated areas of maximum rock decompression at temperatures of 360–400°C; 2–3 — ore zones of fluorite: 2 — vein; 3 — interspersed; 4 — suspected discontinuous faults.

значительных размеров первичных флюидных включений, по-видимому, составляющих существенно менее 2–5 мкм. Это сильно затрудняет их изучение методом гомогенизации, к тому же мешающим фактором является присутствие большого количества вторичных включений. Это приводит исследователей к противоречивым выводам относительно температуры образования этих минералов. Температуры первичных газовой-жидких включений во флюоритах, установленные методом гомогенизации [Грановская и др., 1999], ложатся в интервал 220–270°C. Полученные нами данные

вакуумной декрепитации указывают на еще более высокие начальные температуры рудоносных флюидов, составляющие около 360–400°C. Это подтверждается присутствием в зеленых флюоритах медистого золота, образованного предположительно при температурах около 385°C. В дальнейшем для решения вопроса о температурах флюоритообразования в месторождении Суран, по-видимому, необходимо привлечение различных минеральных геотермометров.

### Список литературы

- Алексеев А. А.* Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 1984. 136 с.
- Бобохов А. С., Бобохова Р. Б.* Выявление палеогидротермальных зон с целью прогноза золото-сульфидного оруденения (на примере северной части Магнитогорского мегасинклинория Южного Урала) // Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр: Научно-технический информационный сборник/ВНИИ экон. минер. сырья и геол.-развед. работ (ВИЭМС). М., 1990. Вып. 6. С. 19–25.
- Бобохов А. С., Бобохова Р. Б.* Термодегазация минералов как индикатор тепловых процессов в Земной коре // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 1998. №2. С. 48–59.
- Бобохов А. С., Бобохова Р. Б., Макушин А. А.* Палеотемпературная зональность Суранского месторождения флюорита. // Недра Башкортостана, Уфа: АН РБ. 1998. С. 23–24.
- Грановская Н. В., Шахбазян А. В., Грановский В. А.* Температурные условия образования флюоритов Суранского месторождения (Южный Урал) // Геология и полезные ископаемые республики Башкортостан, проблемы и перспективы освоения минерально-сырьевой базы: мат-лы III Республ. геол. конф. Уфа: ИГ УфНЦ РАН. 1999. С. 167–169.
- Князев Ю. Г., Князева Ю. Г., Сначев В. И., Каримов Т. Р., Масагутов Р. Х., Быкова Л. С., Утаев М. А., Айдаров Э. М., Алланова Э. Р.* Отчет о результатах работ по объекту: «Создание комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:1000000 листа N-40-Уфа». Уфа, 2010.
- Кокин А. В.* Термобарометрия самородного золота и его минералов-спутников из месторождений Юго-Восточной Якутии // Геология и геофизика. 1981. №5. С. 74–79.
- Крупенин М. Т., Меллер П.* Геохимические особенности и генезис флюоритов Суранского месторождения (нижний рифей, Южный Урал) // Общие проблемы стратиграфии и геологической истории рифея Северной Евразии. Екатеринбург: НИСО УрО РАН. 1995. С. 52–53.
- Крупенин М. Т., Меллер П., Дульски П.* Редкоземельные и малые элементы во флюоритах и вмещающих доломитах (нижний рифей, Южный Урал) // Геохимия. 1999. №11. С. 1165–1177.
- Крупенин М. Т., Прохаска В., Ронкин Ю. Л.* Природа фтора и рудообразующих растворов флюоритового ме-
- сторождения Суран (Башкирский мегантиклинорий) по данным изучения лантаноидов, флюидных включений и Sr-Nd систематики // Литосфера. 2012. №5. С. 126–144.
- Ларионов Н. Н.* Южно-Уральские рудопоявления флюорита и тектонические аспекты флюоритообразования // Шарьирование и геологические процессы: тез. докл. Уфа: БНЦ УрО АН СССР. 1989. С. 54–55.
- Ларионов Н. Н., Бергазов И. Р., Грановская Н. В., Нигматуллина А. М.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII (Тукан). Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015.
- Ларионов Н. Н., Настасиенко Е. В., Смолянский П. Л., Сомов М. М.* О новом типе селлаит-флюоритовой минерализации // Минералогический журнал. 1987. Т. 9. С. 22–25.
- Ларионов Н. Н., Цветкова А. А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:200000. Южно-Уральская серия. N-40-XXII (Тукан). СПб.: МПР РФ, 2003.
- Литвиненко И. С.* Медистое золото и серебряно-золотая амальгама в россыпях Юглеровского рудно-россыпного узла (Северо-Восток России) // Вестник ДВО РАН. 2016. №5. С. 59–68.
- Магадеев Б. Д., Грешилов А. И., Радченко В. В.* Рудные и нерудные месторождения Республики Башкортостан // Отечественная геология. 1997. №7. С. 5–10.
- Маслов А. В., Крупенин М. Т., Гареев Э. З., Анфимов Л. В.* Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. 1. 352 с.
- Мичурин С. В., Высоцкий И. В.* Термобарогеохимические предпосылки благороднометаллового оруденения в докембрийских отложениях Башкирского мегантиклинория // Геологический сборник №8. Информационные материалы. 2009. С. 187–196.
- Мичурин С. В., Ковалев С. Г., Горожанин В. М.* Генезис сульфатов и сульфидов в нижнерифейских отложениях Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. 192 с.
- Мичурин С. В., Ковалев С. Г., Черникова Т. И.* Изотопные и термобарогеохимические особенности углеродисто-глинистых сланцев в сложнодислоцированных зонах западного склона Южного Урала // Геологический сборник №4. Информационные материалы/ИГ УНЦ РАН. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2004. С. 130–136.
- Мичурин С. В., Шарипова А. А.* Первые находки медистого золота в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория (Южный Урал) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2022. №3. С. 52–65. DOI: 10.17308/geology/1609–0691/2022/3
- Мурзин В. В., Малюгин А. А.* Новые данные о нестабильности природных твердых растворов системы Au — Ag — Cu в области температур менее 350°C // Доклады АН СССР. 1983. Т. 269. №3. С. 723–724.
- Мустакимова А. Г.* Суранское месторождение флюоритов // Молодой учёный, 2017. №19 (153). С. 111–112.
- Настасиенко Е. В., Сомов М. М.* Структурная позиция флюоритового оруденения Западно-Уральского региона

и условия локализации рудных тел // Условия локализации сурьмяно-ртутного и флюоритового оруденения в рудных полях. Новосибирск: Наука, 1991. С. 141–148.

Наумов В. Б. К вопросу об определении температур минералообразования методом декрепитации // Минералогическая термометрия и барометрия. М.: Наука, 1968. Т. 2. С. 37–43.

Наумов Г. Б., Наумов В. Б. Включения в минералах, как источник информации в изучении геологических процессов // Методы и аппаратура для исследования включений минералообразующих сред. М.: Наука, 1980. С. 178–195.

Наумов Г. Б., Салазкин А. Н., Миронова О. Ф., Савельева Н. И. Методы изучения флюидных ореолов при поисках гидротермальных руд. М.: ГЕОХИ РАН, 1983. 75 с.

Пашков Ю. Н. Термометрия по включениям минералообразующих сред // Методы и аппаратура для исследования включений минералообразующих сред. М.: Наука, 1980. С. 12–31.

Смолянский П. Л. Люминесцентные исследования минералов фтора Суранского месторождения при импульсном и стационарном режимах возбуждения // Записки РМО, 2003. №4. С. 96–112.

Смолянский П. Л., Сухаржевский С. М. Необычные свойства и генезис флюорита и селлаита Суранского месторождения (Южный Урал) // Минералогические музеи. СПб., 1998. С. 119–120.

Сомов М. М. Флюоритоносность зап. склона Урала и Приуралья // Автореф. канд. дисс. Санкт-Петербург: ППВСЕГЕИ, 1997. 23 с.

Хамитов Р. А., Чернов А. Л., Габитов Г. Х. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы Республики Башкортостан // Геология и полезные ископаемые республики Башкортостан, проблемы и перспективы освоения минерально-сырьевой базы: мат-лы III Республ. геол. конф. Уфа: ИГ УфНЦ РАН. 1999. С. 85–93.

Хотеев А. Д. К вопросам стандартизации условий декрепитационного анализа // Методы и аппаратура для исследования включений минералообразующих сред. М.: Наука, 1980. С. 31–40.

Шайбеков Р. И., Сокина Н. В., Исаенко С. И., Зыкин Н. Н., Шанина С. Н. Золото-теллуридно-палладиевая минерализация — как новый тип в габбродолеритах хребта Пай-Хой (Югорский полуостров, Россия) // Геология и геофизика, 2020. №3 (61) С. 268–285. DOI: 10.15372/RGG2019156

Юргенсон Г. А. Типоморфизм и рудные формации. Новосибирск: Наука, 2003. 369 с.

Bodnar R. J. Re-equilibration of fluid inclusions // Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation. 2003. Vol. 32. P. 213–230.

Campione M., Malaspina N., Frezzotti M. L. Threshold size for fluid inclusion decrepitation // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2015. Vol. 120 (11). P. 7396–7402. DOI: 10.1002/2015JB012086

Diamond L. W., Tarantola A. Interpretation of fluid inclusions in quartz deformed by weak ductile shearing: Reconstruction of differential stress magnitudes and pre-de-

formation fluid properties // Earth Planet. Sci. Lett. 2015. Vol. 417. P. 107–119. DOI: 10.1016/j. epsl. 2015.02.019

Dzwilllo R. Anwendbarkeit microthermometrischer untersuchungen an sediment-hosted lagerstten aus dem proterozoicum des Westurals. Diplomarbeit. Free Universitet Berlin. Institut fur Geologie. Berlin. 2000. 56 p.

Frezzotti M. L., Ferrando S., Tecce F., Castelli D. Water content and nature of solutes in shallow-mantle fluids from fluid inclusions // Earth Planet. Sci. Lett., 2012. Vol. 351–352. P. 70–83. DOI: 10.1016/j. epsl. 2012.07.023

Knight J., Leitch C. H. B. Phase relations in the system Au — Cu — Ag at low temperatures based on natural assemblages // The Canadian Mineralogist. 2001. Vol. 39. P. 889–905.

Michurin S. V., Kazbulatova G. M. Cu and Au Mineralization of the Tolparovo Ore Occurrence: Evidence for the Formation of Redbed Copper Occurrences in Neoproterozoic Deposits of the Southern Urals. Minerals 2024, 14, 148. DOI: 10.3390/min14020148

Okamoto H., Chakrabarti D. J., Laughlin D. E., Massalski T. B. The Au-Cu (goldcopper) system // Bull. Alloy Phase Diagrams. 1987. V. 8. P. 453–474.

Smolyansky P. L. Spectra and kinetics of luminescence of sellaite and fluorite from Suran deposit (S. Urals) // IGC. Brazil. 2000. (sec. of phys. and chem. minerals), publishing in CD.

## References

Alekseev A. A. (1984). Rifeisko-vendskii magmatizm zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Riphean-Vendian magmatism of the western slope of the Southern Urals]. M.: Nauka, 136 p. (In Russian).

Bobohov A. S., Bobohova R. B. (1990). Vy'yavlenie paleogidrotormal'ny'x zon s cel'yu prognoza zoloto-sul'fidnogo orudneniya (na primere severnoj chasti Magnitogorskogo megasinklinoriya Yuzhnogo Urala) [Identification of paleohydrothermal zones in order to predict gold-sulfide mineralization (on the example of the northern part of the Magnitogorsk megasynclorium of the Southern Urals)]. Nauchno-texnicheskie dostizheniya i peredovoj opyt v oblasti geologii i razvedki nedr: Nauchno-texnicheskij informacionny'j sbornik/VNII e'kon. miner. sy'r'ya i geol.-razved. rabot (VIE'MS). M., 19–25. (Iss. 6). (In Russian).

Bobohov A. S., Bobohova R. B. (1998). Termodegazaciya mineralov kak indikator teplovy'x processov v Zemnoj kore [Thermal degassing of minerals as an indicator of thermal processes in the Earth's crust]. Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodny'x resursov AN RB. №2. 48–59. (In Russian).

Bobohov A. S., Bobohova R. B., Makushin A. A. (1998). Paleotemperaturnaya zonal'nost' Suranskogo mestorozhdeniya flyuorita [Palaeotemperature zoning of the Suran fluorite deposit]. Nedra Bashkortostana, Ufa: AN RB, 23–24. (In Russian).

Granovskaya N. V., Shahbaz'yan A. V., Granovskij V. A. (1999). Temperaturnye usloviya obrazovaniya flyuoritov Suranskogo mestorozhdeniya (Yuzhnyj Ural) [Temperature conditions for the formation of fluorites of the Suran deposit (Southern Urals)]. Geologiya i poleznye iskopaemye respubliky Bashkortostan, problemy i perspektivy osvoeniya miner-

al'no-syr'evoy bazy: mat-ly III Respubl. geol. konf. Ufa: IG UfNC RAN. 167–169. (In Russian).

Knyazev Yu. G., Knyazeva Yu. G., Snachev V. I., Karimov T. R., Masagutov R. H., Bykova L. S., Utaev M. A., Ajdarov E. M., Alslanova E. R. (2010). Otchet o rezul'tatah rabot po ob'ektu: «Sozdanie komplekta Gosudarstvennoj geologicheskoy karty masshtaba 1:1000000 lista N-40-Ufa» [Report on the results of work on the object: "Creation of a set of State geological map at a scale of 1:1000000, sheet N-40-Ufa"]. Ufa (In Russian).

Kokin A. V. (1981). Termobarometriya samorodnogo zolota i ego mineralov-sputnikov iz mestorozhdenij Yugo-Vostochnoj Yakutii [Thermobarometry of native gold and its satellite minerals from deposits of South-Eastern Yakutia]. *Geologiya i geofizika*, (5), 74–79. (In Russian).

Krupenin M. T., Meller P. (1995). Geohimicheskie osobennosti i genezis flyuoritov Suranskogo mestorozhdeniya (nizhnij rifej, Yuzhnyj Ural) [Geochemical features and genesis of fluorites of the Suran deposit (Lower Riphean, Southern Urals)]. *Obshchie problemy stratigrafii i geologicheskoy istorii rifeya Severnoj Evrazii*. Ekaterinburg: NISO UrO RAN, 52–53. (In Russian).

Krupenin M. T., Meller P., Dul'ski P. (1999). Redkozemel'nye i malye elementy vo flyuoritah i vmeshchayushchih dolomitah (nizhnij rifej, Yuzhnyj Ural) [Rare earth and trace elements in fluorites and host dolomites (Lower Riphean, Southern Urals)]. *Geohimiya*, (11), 1165–1177. (In Russian).

Krupenin M. T., Prokhaska V., Ronkin Yu. L. (2012). Priroda flora i rudoobrazuyushchikh rastvorov flyuoritovogo mestorozhdeniya Suran (Bashkirskii megantiklinorii) po dannym izucheniya lantanoidov, flyuidnykh vkluchenii i Sr-Nd sistematiiki [The nature of fluorine and ore-forming solutions of the Suran fluorite deposit (Bashkir megantyclinorium) according to the study of lanthanides, fluid inclusions and Sr-Nd systematics]. *Litosfera*, (5), 126–144. (In Russian).

Larionov N. N. (1989). Yuzhno-Ural'skie rudoproyavleniya flyuorita i tektonicheskie aspekty flyuoritoobrazovaniya [South Ural fluorite ore occurrences and tectonic aspects of fluorite formation]. *Shar'irovanie i geologicheskije processy: tez. dokl.* Ufa: BNC UrO AN SSSR. 54–55. (In Russian).

Larionov N. N., Bergazov I. R., Granovskaya N. V., Nigmatullina A. M. (2015). Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoi federatsii. Masshtab 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Yuzhno-Ural'skaya. List N-40-XXII — Tukan. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000. Second edition. Series South Ural. Sheet N-40-XXII — Toucan. Explanatory note]. Moscow, MF VSEGEI. (In Russian).

Larionov N. N., Nastasienko E. V., Smolyanskii P. L., Comov M. M. (1987). O novom tipe sellait-flyuoritovoi mineralizatsii [On a new type of sellait-fluorite mineralization]. *Mineralogicheskii zhurnal*, 9, 22–25. (In Russian).

Larionov N. N., Tsvetkova A. A. (2003). Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoi Federatsii. 1:200000. Yuzhno-Ural'skaya seriya. N-40-XXII (Tukan) [State geological map of the Russian Federation. 1:200000. South Ural series. N-40-XXII (Toucan)]. Saint Petersburg, MPR RF. (In Russian).

Litvinenko I. S. (2016). Medistoe zoloto i serebryano-zlotaya amal'gama v rossypanykh Yuglerovskogo rudno-rossypnogo uzla (Severo-Vostok Rossii) [Cuprous gold and silver-gold amalgam in the placers of the Yuglerovsky ore-placer cluster (North-East of Russia)]. *Vestnik DVO RAN*, 2016, (5), 59–68. (In Russian).

Magadeev B. D., Greshilov A. I., Radchenko V. V. (1997). Rudnye i nerudnye mestorozhdeniya Respubliki Bashkortostan [Ore and non-metallic deposits of the Republic of Bashkortostan]. *Otechestvennaya geologiya*, (7), 5–10. (In Russian).

Maslov A. V., Krupenin M. T., Gareev E. Z., Anfimov L. V. (2001). Rifej zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala (klassicheskie razrezy, sedimento- i litogenez, minerageniya, geologicheskie pamyatniki prirody) [Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimentation and lithogenesis, minerageny, geological natural monuments)]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 1, 352 p. (In Russian).

Michurin S. V., Vysockij I. V. (2009). Termobarogeohimicheskie predposylki blagorodnometal'nogo orudneniya v dokembrijskikh otlozheniyah Bashkirskogo megantiklinoriya [Thermobarogeochemical prerequisites for noble metal mineralization in Precambrian deposits of the Bashkir megantyclinorium]. *Geologicheskij sbornik № 8*. Informacionnye materialy. 187–196. (In Russian).

Michurin S. V., Kovalev S. G., Gorozhanin V. M. (2009). Genezis sul'fatov i sul'fidov v nizhnerifejskikh otlozheniyah Kamsko-Bel'skogo avlakogena i Bashkirskogo megantiklinoriya [The genesis of sulfates and sulfides in the Lower Riphean deposits of the Kamsk-Belsk Avlakogen and Bashkir megantyclinorium]. DesignPolygraphService publ., Ufa, 192 p. (In Russian).

Michurin S. V., Kovalev S. G., Chernikova T. I. (2004). Izotopnye i termobarogeohimicheskie osobennosti uglerodisto-glinistykh slancev v slozhnodislocirovannykh zonah zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Isotopic and thermobarogeochemical features of carbonaceous-clayey shales in complexly dislocated zones of the western slope of the Southern Urals]. *Geologicheskij sbornik № 4*. Informacionnye materialy/IG UNC RAN. Ufa: OOO «DizajnPoligrafServis», 130–136. (In Russian).

Michurin S. V., Sharipova A. A. (2022). Pervy'e naxodki medno-zolotogo orudneniya v rifejskikh otlozheniyah Bashkirskogo megantiklinoriya (Yuzhnyj Ural) [The first finds of copper gold in the Riphean deposits of the Bashkir megantyclinorium (Southern Urals)]. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology*, (3), 52–65. (In Russian).

Murzin V. V., Malyugin A. A. (1983). Novye dannye o nestabil'nosti prirodnykh tverdyh rastvorov sistemy Au — Ag — Cu v oblasti temperatur menee 350°C [New data on the instability of natural solid solutions of the Au — Ag — Cu system in the temperature range below 350°C]. *Doklady AN SSSR*, 269, (3), 723–724. (In Russian).

Mustakimova A. G. (2017). Suranskoe mestorozhdenie flyuoritov [Suran fluorite deposit]. *Molodoj uchyonij*, (19), (153). 111–112. (In Russian).

Nastasienko E. V., Somov M. M. (1991). Strukturnaya pozitsiya flyuoritovogo orudneniya Zapadno-Ural'skogo regiona i usloviya lokalizatsii rudnykh tel [Structural position of the fluorite deposit of the West-Ural region and conditions of ore localization].

tion of fluorite mineralization in the West Ural region and localization conditions for ore bodies]. *Usloviya lokalizatsii sur'myano-rtutnogo i flyuoritovogo orudneniya v rudnykh polyakh*. Novosibirsk, Nauka, 141–148. (In Russian).

Naumov V.B. (1968). K voprosu ob opredelenii temperatur mineraloobrazovaniya metodom dekreptatsii [On the issue of determining mineral formation temperatures by the decrepitation method] // *Mineralogicheskaya termometriya i barometriya*. M.: Nauka, 2, 37–43. (In Russian).

Naumov G.B., Naumov V.B. (1980). Vkl'yucheniya v mineralah, kak istochnik informatsii v izuchenii geologicheskikh processov [Inclusions in minerals as a source of information in the study of geological processes]. *Metody i apparatura dlya issledovaniya vkl'yucheniya mineraloobrazuyushchih sred*. M.: Nauka, 178–195. (In Russian).

Naumov G.B., Salazkin A.N., Mironova O.F., Savel'eva N.I. (1983). *Metody izucheniya flyuidnykh oreolov pri poiskah gidrotermal'nykh rud* [Methods for studying fluid aureoles when searching for hydrothermal ores]. M.: GEOHI RAN, 75 p. (In Russian).

Pashkov Yu.N. (1980). Termometriya po vkl'yucheniya mineraloobrazuyushchih sred [Thermometry based on inclusions of mineral-forming media]. *Metody i apparatura dlya issledovaniya vkl'yucheniya mineraloobrazuyushchih sred*. M.: Nauka, 12–31. (In Russian).

Smolyanskij P.L. (2003). Lyuminescentnye issledovaniya mineralov flora Suranskogo mestorozhdeniya pri impul'snom i stacionarnom rezhimakh vozbuzhdeniya [Luminescent studies of fluorine minerals from the Suran deposit under pulsed and stationary excitation modes]. *Zapiski RMO*, (4), 96–112. (In Russian).

Smolyanskij P.L., Suhazhevskij S.M. (1998). Neobychnye svoystva i genezis flyuorita i sellaita Suranskogo mestorozhdeniya (Yuzhnyj Ural) [Unusual properties and genesis of fluorite and sellaite from the Suran deposit (Southern Urals)]. *Mineralogicheskie muzei*. SPb., 119–120. (In Russian).

Somov M.M. (1997). Flyuoritonosnost' zap. sklona Urala i Priural'ya [Fluorite content of zap. slope of the Urals and the Urals]. Avtoref. kand. diss. Sankt-Peterburg: PPVSEGEI, 23 p. (In Russian).

Hamitov R.A., Chernov A.L., Gabitov G.H. (1999). Sostoyanie i perspektivy razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy Respubliki Bashkortostan [State and prospects for the development of the mineral resource base of the Republic of Bashkortostan]. *Geologiya i poleznye iskopaemye respubliky Bashkortostan, problemy i perspektivy osvoeniya mineral'no-syr'evoy bazy: mat-ly III Respubl. geol. konf. Ufa: IG UfNC RAN*. 85–93. (In Russian).

Hoteev A.D. (1980). K voprosam standartizatsii uslovij dekreptatsionnogo analiza [On the issues of standardization of conditions for decrepitation analysis]. *Metody i apparatura dlya issledovaniya vkl'yucheniya mineraloobrazuyushchih sred*. M.: Nauka, 31–40. (In Russian).

Shajbekov R.I., Sokerina N.V., Isaenko S.I., Zykin N.N., Shanina S.N. (2020). Zoloto-telluridno-palladievaya mineralizatsiya — kak novyj tip v gabbrodoleritah hrebta Paj-Hoj (Yugorskiy poluostr'ov, Rossiya) [Gold-telluride-palladium mineralization — as a new type in gabbrodolerites of the Pai-Khoi ridge (Yugorsky Peninsula, Russia)]. *Geologiya i geofizika*, 3 (61) 268–285. DOI: 10.15372/RGG2019156 (In Russian).

Yurgenson G.A. (2003). Tipomorfizm i rudnye formatsii [Typomorphism and ore formations]. Novosibirsk: Nauka, 369 p. (In Russian).

Bodnar R.J. (2003). Re-equilibration of fluid inclusions. *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*, (32), 213–230.

Campione M., Malaspina N., Frezzotti M.L. (2015). Threshold size for fluid inclusion decrepitation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120 (11), 7396–7402. DOI: 10.1002/2015JB012086

Diamond L.W., Tarantola A. (2015). Interpretation of fluid inclusions in quartz deformed by weak ductile shearing: Reconstruction of differential stress magnitudes and pre-deformation fluid properties. *Earth Planet. Sci. Lett.*, (417), 107–119. DOI: 10.1016/j.epsl.2015.02.019

Dzwillo R. (2000). Anwendbarkeit microthermometrischer untersuchungen in sediment-hosted lagerstetten aus dem Proterozoicum des Westurals. Diplomarbeit. Free Universitet Berlin. Institut fur Geologie. Berlin. 56 p.

Frezzotti M.L., Ferrando S., Tecce F., Castelli D. (2012). Water content and nature of solutes in shallow-mantle fluids from fluid inclusions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, (351–352), 70–83. DOI: 10.1016/j.epsl.2012.07.023

Knight J., Leitch C.H.B. (2001). Phase relations in the system Au — Cu — Ag at low temperatures based on natural assemblages. *The Canadian Mineralogist*, (39), 889–905.

Michurin S.V., Kazbulatova G.M. (2024). Cu and Au Mineralization of the Tolparovo Ore Occurrence: Evidence for the Formation of Redbed Copper Occurrences in Neoproterozoic Deposits of the Southern Urals. *Minerals*, 14, 148. DOI: 10.3390/min14020148.

Okamoto H., Chakrabarti D.J., Laughlin D.E., Massalski T.B. (1987). The Au-Cu (goldcopper) system. *Bull. Alloy Phase Diagrams*, (8), 453–474.

Smolyansky P.L. (2000). Spectra and kinetics of luminescence of sellaite and fluorite from Suran deposit (S. Urals). IGC. Brazil. (sec. of phys. and chem. minerals), publishing in CD.

#### Сведения об авторах:

**Мичурин Сергей Васильевич**, кандидат геолого-минералогических наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, s\_michurin@mail.ru

**Казбулатова Гульфия Мавлетовна**, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского

федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, kazbulatova@mail.ru

**Султанова Анна Геннадиевна**, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, anna\_zakharova.ig@mail.ru

*About the authors:*

**Michurin Sergey Vasilevich**, PhD in Geologo-mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, s\_michurin@mail.ru

**Kazbulatova Gulfiya Mavletovna**, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, kazbulatova@mail.ru

**Sultanova Anna Gennadiyevna**, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, anna\_zakharova.ig@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.02.2024; одобрена после рецензирования 05.02.2024; принята к публикации 25.03.2024.

The article was submitted 05.02.2024; approved after reviewing 05.02.2024; accepted for publication 25.03.2024.