УДК 550.42:556.42:552.54 (470.13)

#### DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-1-5-13

## Геохимия хрома – забытый ключ к проблемам геологии Северного Урала

## Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mail: EYuYa@Yandex.ru Поступила в редакцию 13.05.2021 г., принята к печати 11.10.2021 г.

Объект исследования. Геохимия и минералогия хрома в палеозойских карбонатных породах Северного Урала. Новое рассмотрение материалов, опубликованных более полувека назад, в период расцвета российской геологии (1980—1997 гг.), показало, что полученные тогда данные были незаслуженно забыты. Метод исследования. Анализ и обобщение результатов всех предыдущих работ по этому региону, а также привлечение мировых сведений о содержании хрома в стратисфере. Результаты. Проведенные ранее исследования сохраняют острую актуальность не только в своем узкоспециальном смысле, но и гораздо шире — для решения ряда крупных геологических проблем данного региона, далеко выходящих за рамки только геохимии или минералогии. Одним из важных результатов является утверждение о широком развитии ультраосновного магматизма в древних толщах Северного Урала. Выводы. Формулируются актуальные нерешенные вопросы и предлагаются методы их решения. Этот нетрадиционный подход обещает серьезное продвижение в расшифровке палеозойских фаций и палеогеографии региона Севера Урала.

**Ключевые слова:** палеозой Севера Урала, геохимия хрома, хромшпинелиды, карбонатные породы, нерастворимые остатки карбонатных пород, палеозойские отложения, палеогеография, фациальный анализ

# Chromium geochemistry – a forgotten key to the issues of geology in the Northern Urals

## Yakov E. Yudovich, Mariya P. Ketris

N.P. Yushkin Institute of Geology Komi Science Centere of RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar 167982, Russia, e-mail: EYuYa@Yandex.ru

Received 13.05.2021, accepted 11.10.2021

Research subject. Geochemistry and mineralogy of chromium in the Paleozoic carbonate rocks of the Northern Urals. A recent review of these data, published more than half a century ago during the flourishing of Russian geology (1980–1997), showed that these data were undeservedly forgotten. Materials and methods. The generalisation of all the results of previous work on the Northern Urals region, as well as the compilation of the World's data on the chromium content in the stratosphere. Results. The previous studies retain their acute relevance not only in their narrow specialised sense, but also more broadly for the solution of a number of major geological issues in this region, far beyond the scope of geochemistry or mineralogy alone. One of the important results is the statement about the wide development of ultramafic magmatism in the ancient sequences of the Northern Urals. Conclusion. The article formulates current unresolved issues and suggests the methods for solving them. That unconventional approach promises great progress in deciphering the Paleozoic facies and paleogeography of the Northern Urals region.

**Keywords:** Paleozoic of the Northern Urals, chromium geochemistry, chromium spinelids, carbonate rocks, insoluble remains of carbonate rocks, Paleozoic deposits, paleogeography, facies analysis

## **ВВЕДЕНИЕ**

В 1997 г. в Сыктывкаре была издана монография, посвященная геохимии и минералогии хрома в осадочных толщах Севера Урала (Юдович и др., 1997).

Появление этой книги следует признать фактом необычным. Дело в том, что монографии, как правило, представляют собой итог обобщения десятков предшествующих статей, освещающих отдельные аспекты затронутой проблемы. Однако данная

**Для цитирования:** Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2022) Геохимия хрома – забытый ключ к проблемам геологии Северного Урала. *Литосфера*, **22**(1), 5-13. https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-1-5-13

For citation: Yudovich Y.E., Ketris M.P. (2022) Chromium geochemistry – a forgotten key to the issues of geology in the Northern Urals. *Lithosphere (Russia)*, **22**(1), 5-13. (In Russ.) https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-1-5-13

книга появилась практически "на пустом месте": ей предшествовала всего одна статья в Известиях АН ССР, к тому же напечатанная 17-ю годами ранее! (Юдович др., 1980).

Необычно и то, что выход данной книги остался практически незамеченным, поскольку за ней не последовало никаких сколько-нибудь сходных публикаций — с охватом всего осадочного чехла Севера Урала.

К тому же примерно к этому времени мощная производственная геология СССР приказала долго жить: она исчезла, подобно легендарной Атлантиде (Юдович, Кетрис, 2015а—в, 2016). На фоне этого грандиозного краха исчезновение из научного оборота такого частного вопроса, как геохимия хрома в осадочной толще некого региона, могло показаться событием уж и вовсе незначительным.

Между тем это отнюдь не так: геохимия (и минералогия) хрома сохраняет свою острую актуальность не только в узком смысле, но и гораздо шире — для решения ряда крупных геологических проблем данного региона, далеко выходящих за рамки только геохимии или минералогии.

Ниже мы кратко изложим результаты исследования, освещенные в книге (Юдович и др., 1997), сформулируем вытекающие из них нерешенные вопросы и дадим рекомендации по их решению — для геологов, которым предстоит возродить российскую геологию Третьего Миллениума.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе, выполненной по проекту РФФИ № 97-05-64333 (Юдович и др., 1997), было сделано обобщение всех имеющихся данных по геохимии и минералогии хрома в палеозойских толщах Елецкой (исследования 1970-х гг.) и Лемвинской (исследования 1980-х гг.) структурно-фациальных зон. Кроме того, были привлечены новые данные по минералогии хрома, полученные при

исследовании метаморфических толщ в зоне межформационного контакта между рифей-вендским комплексом доуралид и ордовик-карбоновым комплексом уралид на Приполярном и Полярном Урале в 1990-е гг. (Юдович и др., 1998).

На основе многих сотен количественных определений хрома был выявлен целый ряд эмпирических закономерностей.

**Региональные субкларки хрома для палеозоя.** Было показано, что палеозойский разрез Печорского Урала (по крайней мере, Елецкой структурно-фациальной зоны) характеризуется повышенным геохимическим фоном хрома (табл. 1 и 2).

В терригенных породах и силикатной части карбонатных пород среднее содержание Сг составляет 100–200 г/т., при этом за верхний предел геохимического фона для глинистых пород можно принять 150 г/т, а для песчаных — 100 г/т. И в карбонатных породах содержания хрома, несомненно, повышены. Даже в очень чистых известняках и доломитах встречаются горизонты, содержащие 20–30 г/т Сг и более.

Поясним, что означают "сборные пробы" – термин, уже плохо понятный современному читателю. Сборные (или так называемые сложносоставные) пробы для определенных литостратиграфических объектов были введены в отечественную геохимию А.Б. Роновым для получения надежных средних характеристик таких объектов – в целях экономии – уменьшения числа необходимых дорогостоящих анализов<sup>1</sup>. Методика составления и анализа таких сборных проб подробно описана в монографии 1981 г., в которой весь палеозойский разрез Севера Урала был охарактеризован 5300 частными и составленными из них 330 сборными пробами (Юдович, 1981, с. 19–23).

**Таблица 1.** Содержание Cr и Ni в карбонатных породах карбона (частные пробы, количественные анализы) и в нерастворимых остатках сборных проб (полуколичественные анализы), г/т. В скобках – число анализов

**Table 1.** The content of Cr and Ni in carbonate rocks of Carboniferous (partial samples, quantitative analyses) and in insoluble residues of collected samples (semi-quantitative analyses), ppm. In parentheses is the number of analyses

Donnoor	Порода		Нерастворимый остаток
Возраст	Cr	Ni	Cr
Верхний девон-турне	11(99)	1.0(94)	560(8)
Яснополянский надгоризонт			470(17)
Окский надгоризонт	13(340)	1.5(207)	820(11)
Серпуховский ярус			1000(22)
Средний карбон	12(145)	1.4(99)	680(40)
Верхний карбон и ассельский ярус	14(163)	1.5(103)	560(31)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Например, в те годы даже старший научный сотрудник нашего института мог рассчитывать на одну партию силикатных анализов (9 шт.) в год и лишь в лучшем случае – на две.

**Таблица 2.** Содержание хрома в нерастворимых остатках карбонатных пород карбона, г/т. В скобках – число сборных проб

**Table 2.** The content of Cr in insoluble residues of carbonate rocks of Carboniferous, ppm. In parentheses is the number of analyses

Возраст	A	Б
Турнейский ярус	35(3)	170(8)
Визейский ярус: тульский, алексинский надгоризонты	100(1)	490(13)
Михайловский, веневский горизонты	130(2)	560(5)
Серпуховский ярус	180(2)	690(15)
Средний карбон	220(14)	950(10)
Верхний карбон-ассельский ярус перми	80(5)	700(15)

Примечание. А – северная часть региона – Щугор и Подчерем, Б – южная часть региона – Илыч, Мал. Печора и Унья.

Note. A - norther part of Northern Urals - Shchugor and Podcherem, B - southern part of the region - Ilych, Little Pechora, Un'ya.

Обобщение мировых данных о содержаниях хрома в стратисфере. Сравнение этих данных показывает, что регион Елецкой зоны на западном склоне Урала следует считать геохимической провинцией с повышенными субкларками хрома. Заметим, что, по существующим оценкам (Ронов и др., 1984; Wedepohl, 1967), кларки хрома в глинистых породах фанерозоя составляют 109 г/т, а в карбонатных породах — 11 г/т.

Хром в елецких и лемвинских формациях. Сравнение одновозрастных отложений двух структурно-формационных зон (Пучков, 1979) показало, что если в Елецкой зоне "заражение" хромом проявлено по всему палеозойскому разрезу от нижнего ордовика до верхней перми, то в Лемвинской зоне хром распределен иначе. В докарбоновом интервале разреза хром обогащает "транзитные" терригенные толщи (например, нижне-среднедевонскую), материал которых вбрасывался в глубоководную Лемвинскую зону с западного шельфа. Начиная с нижнего карбона источником хрома в Лемвинской зоне стали поднятия на востоке, тогда как в Елецкой зоне все еще сохранялся западный снос.

Хром в терригенных породах палеозоя. В разрезе палеозоя встречается два типа распределения Сг в терригенных толщах: а) примерно сопоставимые содержания в глинистых и песчаных породах или же некоторое обогащение последних; б) обогащение глинистых пород. Первый тип характерен в основном для сероцветных гумидных толщ, а второй — для аридных пестроцветов. Следовательно, указанные два типа являются климатически обусловленными. Такое распределение Сг объясняется разными формами его нахождения. В гумидных толщах Сг в основном входит в состав акцессорных хромшпинелидов, а в аридных возрастает роль силикатных носителей хрома (слюд и хлоритов глинистой фракции).

На эту простую закономерность накладываются, маскируя ее, эпизоды размыва хромоносных

кор выветривания, больше свойственные гумидным обстановкам, но отнюдь не исключенные и в аридных. Они создавали хромоносные горизонты в тельпосской свите  $O_1$  (Ичет-Ляга), в базальной алькесвожской толще  $C_3$ – $O_1$  (хр. Малдынырд), в среднем девоне (Малопечорский аллохтон) и даже, может быть, в орогенной молассе (вероятно, некоторые разрезы  $P_1$  на Мал. Печоре и верхнепермская часть саръюдинского разреза на Илыче).

Фациальная приуроченность геохимических аномалий Сг в карбонатных породах. Несмотря на общую "зараженность" палеозойского разреза Елецкой зоны хромом, четкие геохимические аномалии (более 200 г/т) выявлены главным образом в нерастворимых остатках карбонатных пород и гораздо реже — в терригенных породах. Геохимические аномалии хрома в нерастворимых остатках карбонатных пород присутствуют почти по всему палеозойскому разрезу.

Наиболее замечательным оказалось открытие высоких концентраций хрома (нередко составляющих 1–2 мас. %  $Cr_2O_3$ ) в нерастворимых остатках чистых карбонатных пород. Этот феномен обязан процессам природного шлихования – обогащению детритового карбонатного осадка хромшпинелидами и некоторыми другими тяжелыми минералами в зоне энергичных движений воды. Поэтому обогащение хромом (в форме акцессорных хромшпинелидов) карбонатных пород является геохимическим индикатором мелководных фаций. Максимум таких обогащений наблюдается в эпохи крупных регрессий – в частности в серпуховском веке.

Связь аномалий Сr с корами выветривания по гипербазитам или базитам. Имея дело с морскими и тем более с существенно карбонатными толщами, трудно говорить о субаэральных корах выветривания. Тем не менее в ряде случаев прослеживается связь хромовых аномалий с продуктами размыва и переотложения наземных кор выветривания — если имеются улики гидролизатно-

го состава осадочного материала (Юдович, Кетрис, 1997).

Региональная закономерность хромоносности. При сопоставлении ряда субширотных пересечений Елецкой зоны (с севера на юг): кожимского, щугорского, подчеремского, илычского, малопечорского и уньинского - отчетливо прорисовывается обогащение хромом более южных разрезов  $(Илыч \to Mал. Печора \to Унья). Привлечение па$ леогеографических данных показало, что в районе стыка Тимана и Урала в течение длительного времени (по крайней мере, всего карбона) существовала островная суша (Атлас..., 1972). Вероятно, на ней располагались массивы гипербазитов, размыв которых питал осадки хромшпинелидами. Давно известно, что район Мал. Печоры-Уньи является наиболее перспективным для поисков алмазов (Геохимия..., 2002, с. 81–85, 220–226).

Особенности состава хромшпинелидов. Преобладающей формой нахождения хрома в породах являются хромшпинелиды, но в некоторых толщах ощутимая доля хрома присутствует в кислоторастворимой и даже в водорастворимой формах (о последней свидетельствуют гидрохимические аномалии хрома, например, в водах, дренирующих нижнеордовикские отложения на Приполярном Урале (Повонская, 1997 г.)).

Составы изученных хромшпинелидов разнообразны и могут служить индикаторами типа материнских массивов, которые размывались в период палеозойской седиментации.

Наиболее интересными оказались уникальные составы хромшпинелидов, обнаруженные в базальных слоях алькесвожской толщи на хр. Малдынырд (Юдович и др., 1998). В октябре 1997 г. Л.И. Ефанова передала нам четыре протолочных пробы с хромшпинелидами, взятые И.Н. Аптиным на золотопроявлении Альбовское, расположенном на западном фланге золото-палладиевого рудопроявления Чудное (Озеров, 1996; 1998а, б).

Хромшпинелиды (Макеев и др., 1999; А. Макеев, Б. Макеев, 2005) представлены преимущественно зернами, кристаллы встречаются редко и имеют вид искаженных октаэдров — удлиненных и сплюснутых вследствие неравномерного развития граней. Поверхность кристаллов шероховатая. На гладких сколах кристаллов у поверхности иногда наблюдается шагреневая каемка. Это можно расценить как свидетельство того, что кристаллы побывали в коре выветривания. Выколки кристаллов просвечивают красно-коричневым цветом. Расчеты параметра элементарной ячейки a и (Å) и оценка по этим данным содержания  $Cr_2O_3$  дали следующие результаты:

```
обр. 4124-03, Cr_2O_3\approx 57\% (хромит); обр. 4125-01 Å, Cr_2O_3\approx 60\% (хромит); обр. 4125-02, Cr_2O_3\approx 54\% (алюмохромит); обр. 4125-05 Cr_2O_3\approx 52\% (алюмохромит).
```

Исключительно интересными оказались данные микрозондового исследования, выполненного А. и Б. Макеевыми с использованием специальной программы для вычисления содержаний двухи трехвалентного железа (А. Макеев, Б. Макеев, 1996). В каждой протолочке было изучено по дватри зерна (табл. 3–6).

Необходимо отметить условность всех этих названий, так как имеющаяся номенклатура хромшпинелидов просто "не приспособлена" для систематики минералов с такими содержаниями марганца и цинка!

Как видно, в песчаниках и гравелитах гряды Альбова имеется по меньшей мере две разновидности марганцовистых хромшпинелидов: одна с высокими (5–12%), а другая – с очень высокими (21–27%) содержаниями цинка. По существу, это какая-то переходная разновидность от хромита к ганиту (цинковой шпинели). Уникальность состава описанных хромшпинелидов подчеркивается А.Б. Макеевым (устная консультация) и, очевидно,

**Таблица 3.** Состав трех зерен хромшпинелида в песчанике с прослоями гравелита, обр. 4124-03, мас. % **Table 3.** Composition of three grains chrome-spinel in sandstone with gravelstone interbeds, sample 4124-03, wt %

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
FeO	1.89, 15.95, 17.15	$Cr_2O_3$	50.05, 61.42, 59.24
MgO	0.09, 2.03, 2.24	$Al_2O_3$	7.81, 6.76, 7.90
MnO	5.97, 7.67, 8.09	$TiO_2$	0.06, 0.09, 0.00
NiO	Не обн.	$V_2O_5$	0.10, 0.41, 0.23
ZnO	27.36, 5.68, 4.99	$Fe_2O_3$	6.67, 0.00, 0.16

Примечание. Первое зерно аттестуется как уникальный по составу цинковый марганцовистый субферрихромит, второе и третье – как марганцовисто-железистый хромит с весьма заметными содержаниями цинка.

Note. The first grain is certified as a unique composition of zinc manganese subferrichromite, the second and third – as manganese-ferruginous chromite with very noticeable zinc content.

Таблица 4. Состав хромшпинелида в песчанике крупнозернистом, обр. 4125-02, мас. %

Table 4. Composition of chrome-spinel in coarse-grained sandstone, sample 4125-02, wt %

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
FeO	11.76, 10.76, 3.10	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.86, 55.18, 62.67
MgO	3.35, 3.18, 0.25	$Al_2O_3$	12.63, 11.39, 0.48
MnO	7.92, 6.80, 8.59	TiO <sub>2</sub>	0.00, 0.11, 0.13
NiO	Не обн.	$V_2O_5$	0.33, 0.06, 0.16
ZnO	9.15, 12.43, 21.75	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00, 0.09, 2.87

Примечание. Первые два зерна аттестуются как марганцовисто-железистый алюмохромит с высокими содержаниями цинка, третье – как уникальный цинковый марганцовистый хромит. Зерно цинкового хромита размером около 0.2 мм по системе субпараллельных трещинок замещается прожилками фуксита толщиною от 0.005 до 0.01 мм.

Note. The first two grains are certified as manganese-ferruginous alumochromite with high zinc content, the third – as unique zinc manganese chromite. A grain of zinc chromite with a size of about 0.2 mm is replaced by fuchsite veins with a thickness of 0.005 to 0.01 mm according to the system of sub-parallel cracks.

Таблица 5. Состав хромшпинелида в гравелите, обр. 4125-05, мас. %

**Table 5.** Composition of chrome-spinel in gravelstone, sample 4125-05, wt %

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
FeO	12.98, 8.10	$Cr_2O_3$	58.86, 45.45
MgO	2.01, 0.00	$Al_2O_3$	7.59, 15.68
MnO	6.26, 4.30	$TiO_2$	Не обн.
NiO	0.00, 0.19	$V_2O_5$	0.19, 0.00
ZnO	11.87, 23.81	$Fe_2O_3$	0.24, 2.49

Примечание. Первое зерно аттестуется как марганцево-железистый хромит с высоким содержанием цинка, второе – как уникальный цинковый марганцево-железистый алюмохромит.

Note. The first grain is certified as manganese-ferruginous chromite with a high zinc content, the second – as a unique zinc manganese-ferruginous alumochromite.

Таблица 6. Состав хромшпинелида в песчанике разнозернистом, обр. 4125-01, мас. %

Table 6. Composition of chrome-spinel in multi-grained sandstone, sample 4125-01, wt %

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
FeO	10.02, 8.64, 10.88	$Cr_2O_3$	56.74, 56.34, 52.85
MgO	3.49, 3.15, 2.54	$Al_2O_3$	11.66, 11.37, 12.08
MnO	6.30, 6.15, 11.40	$TiO_2$	0.12, 0.00, 0.06
NiO	0.05, 0.00, 0.08	$V_2O_5$	0.01, 0.40, 0.08
ZnO	11.61, 13.94, 8.31	$Fe_2O_3$	0.00, 0.00, 1.72

Примечание. Первые два зерна аттестуются как марганцовистые хромиты с высоким содержанием цинка, третье — как высокомарганцовистый алюмохромит.

Note. The first two grains are certified as manganese chromites with a high zinc content, the third – as high manganese alumochromite.

заслуживает большого внимания<sup>2</sup>. Необычный состав хромшпинелидов, развитие аутигенного фуксита, известная на золотопроявлении Чудное теснейшая ассоциация фуксита с палладистым золо-

том – все это показывает, что и хромшпинелиды могут быть генетически связаны с золотом.

Что касается марганцовистости хромшпинелидов, то она обнаружена и в Южном Приуралье. В 1989 г. В.А. Исаев выполнил крупное обобщение по рифтогенной толще нижнего ордовика Сакмарской зоны Урала, наиболее полно представленной в обнажениях по р. Эбета. Он объединил целый ряд выделявшихся здесь свит в три мощные

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Необходимо еще раз заметить, что микрозондовые анализы были любезно сделаны для нас А.Б. Макеевым, он же дал нам и устные консультации (Юдович и др., 1997, с. 49–54).

литокомплекса, отражающих три стадии формирования толщи: существенно песчаниковые нижний и верхний и существенно аргиллитовый средний (Исаев, 1989).

Замечательной особенностью песчаников верней толщи (в частности, описанных в кидрясовской свите (Исаев и др., 1984)) оказалось содержание 0.98-3.54 % МпО в хромшпинелидах, составляющих до 10 % тяжелой фракции. Это "резко отличает их от хромшпинелидов Южно-Уральского ультрабазитового пояса, где содержание МпО в хромшпинелидах не превышает 0.46 % <...>. Хромиты с высоким содержанием марганца, сходные с изученными, обнаружены в некоторых ультрабазитовых массивах Урала <...>, залегающих в окружении верхнерифейско-вендских толщ платформенного облика. Вероятно, и появление хромшпинелидов в терригенных породах верхнего литокомплекса связано с размывом не представленных в современном эрозионном срезе Южного Урала ультраосновных массивов, приуроченных к восточной окраине Русской платформы" (Исаев, 1989, с. 34–37).

## Ключевые вопросы, требующие решения

Итак, выполненная по гранту РФФИ № 97-05-64333 (Юдович, Кетрис, 1997) работа позволила выявить целый ряд эмпирических геохимических закономерностей и получить новые результаты в отношении минералогии хрома в осадочных толщах нашего региона. Однако при всей важности полученных результатов работа требует продолжения, чтобы получить ответы на ряд ключевых вопросов, для решения которых нужна специальная методика исследований.

Вопрос 1. Откуда поступал хром (и, в частности, хромшпинелиды) в шельфовые отложения Елецкой зоны? Дело в том, что на существующих палеогеографических картах (Атлас..., 1972) в изучавшихся нами пересечениях Западного склона Урала — Кожымском, Щугорском, Подчеремском, Илычском, Малопечорском и Уньинском — никаких близко расположенных массивов суши или островов не показано (кроме небольшого острова в раннем карбоне на юге Печорского Урала). Допуская только терригенный источник хрома, придется признать, что палеографические реконструкции нуждаются в серьезной корректировке.

Вопрос 2. Если принять за аксиому, что источником хрома были только гипербазиты, то где располагались их массивы и каков был их возраст? Известные на севере Урала массивы альпинотипных гипербазитов в зоне Главного Уральского глубинного разлома представляют собою крупные аллохтонные пластины ордовикско-силурийского возраста (Макеев, 1992; Макеев и др., 1985). Очевидно, что для досилурийских толщ (пуйвинской  $R_2$ ру, хобеинской  $R_3$ hb, маньин-

ской  $R_3$ Vmn или ее нижней части — мороинской свиты  $R_3$ Vmr, алькесвожской  $C_3$ — $O_1$ al, тельпосской  $O_1$ tp, хыдейской  $O_2$ hd, щугорской  $O_{2\cdot 3}$ sčh свит) эти массивы не могли быть источником хрома. Значит, были иные источники, например тела рифейвендских и/или кембрийских гипербазитов. Каких именно и где?

Во всяком случае, в древних толщах на Кожыме (на его левом притоке Николай-шор<sup>3</sup> и в левобережье ниже устья Бол. Каталамби-ю) были обнаружены и описаны заведомо автохтонные тела гипербазитов или их экзоконтактовые метаморфиты (Геохимия ..., 2002, с. 149–157, 205–208, 220–226).

Вопрос 3. Каков механизм "заражения" хромом огромного интервала карбонатного разреза палеозоя Елецкой зоны — от ордовика до ассельского яруса включительно? Ведь для этого необходимо, чтобы источник хрома либо постоянно имелся в наличии (т. е. постоянно размывались какие-то массивы гипербазитов), либо следует допустить огромные масштабы рециклизации осадочного материала. Как это можно объяснить с фациальных и геодинамических позиций?

Вопрос 4. Отличается ли (и если да, то чем конкретно) состав хромшпинелидов из перикратонных отложений Елецкой зоны (O– $P_1$ as) от состава этих же минералов из орогенного комплекса  $P_1$ – $P_2$ ? Ведь, согласно существующей геологической "парадигме", первые должны были иметь западный источник (континент Русской плиты), тогда как вторые – восточный (уральский ороген).

Итак, в допермском разрезе Севера Урала преобладающим источником сноса был западный – край Восточно-Европейской платформы (Пучков, 1979). Однако в пермском орогене этот источник стал уже заведомо восточным. Как недавно показали уральские геологи, открывшие в верхах казанских отложений возле д. Федоровка в Южном Приуралье хромитовую россыпь, остроумно названную ими Сабантуйской (Rakhimov et al., 2021), эта россыпь образовалась при ближнем размыве хромитовых руд, связанных с офиолитами зоны субдукции.

Эти четыре главных вопроса показывают, что проблема источника хрома в палеозойских толщах Севера Урала из плоскости геохимии неожиданно смещается в плоскость палеогеографии и геодинамики!

Очевидно, что для решения проблемы в такой плоскости нужно применение специальной методики. Ключевым методом должно стать детальное изучение хромшпинелидов, выделенных из пород по всему палеозойскому разрезу. За-

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> В том числе открытая В.С. Озеровым в 1998 г. по высыпкам на месте магнитной аномалии в верховьях Николай-Шора (Юдович, 2007, с. 174).

мечательные свойства хромшпинелида как минерала-индикатора хорошо известны (Макеев, 1992; Макеев и др., 1985). При наличии информации о составе хромшпинелидов из разных горизонтов палеозоя можно попытаться реконструировать палеогеографическую картину и понять истинные причины выявленных эмпирических закономерностей.

### Возможная программа исследований

В связи с изложенным мы предлагаем осуществить программу специального исследования, которая сводится к следующему.

1. В заранее намеченных пунктах – береговых обнажениях пород возрастом от ордовика до ассельского яруса, где в процессе регионально-геохимических исследований были выявлены хромовые аномалии, - вначале выполнить рекогносцировочное минералогическое опробование. Для этого в каждом обнажении достаточно будет отобрать с привязкой к стратиграфическому разрезу несколько десятков небольших протолочных проб массой около 1 кг. Пробы раздробить, отмыть до серого шлиха и посмотреть уже в поле под бинокулярным микроскопом. Если будут обнаружены хотя бы знаковые количества хромшпинелидов или их генетических спутников (пироксена, оливина, хромового хлорита и пр.), то в этих точках нужно будет сразу же произвести повторное крупнообъемное опробование с массой протолочной пробы от 10 до 30 кг. Из таких проб опять-таки еще в поле нужно выделить серый шлих, который затем будет подвергнут тщательному лабораторному изучению.

Только таким путем можно надеяться получить минералогический материал в достаточном для исследования количестве.

2. Выделенные из протолочек хромшпинелиды должны быть изучены с применением всего арсенала минералогических методов, с обязательным использованием микрозонда (Макеев, 1992).

Полученная информация позволит обоснованно судить о типе материнских гипербазитов (например, платиноносны они или нет) и, соответственно, строить на этой основе палеогеографические реконструкции.

При этом нельзя исключить, что наряду с хромшпинелидами при минералогическом изучении могут быть обнаружены и такие редкие минералы, как платиноиды. Как показал А.Б. Макеев (Макеев, 1996; Макеев и др., 1996), платиноиды содержатся в хромоносных альпинотипных гипербазитах и, кроме того, по данным Н.В. Повонской и А.Б. Макеева, иногда присутствуют в аллювии некоторых рек нашего региона. Поскольку одной из материнских пород для хромшпинелидов могут быть и кимберлиты,

то нельзя полностью исключать даже случайную находку алмаза в протолочках. (Случайную потому, что для поисков алмазов объем протолочных проб должен быть увеличен на один-два порядка).

Очень существенно то, что в результате регионально-геохимических работ места выходов потенциально "хромитоносных" осадочных палеозойских пород уже известны. Это позволяет рационально распорядиться временем полевой работы и в итоге выполнить необходимые пересечения западного склона Урала всего за три-четыре полевых сезона<sup>4</sup>. Необходимым условием этого является, конечно, достаточное финансирование транспортных расходов полевого отряда (вертолет). Вполне возможно, что по основным разрезам-пересечениям западного склона Урала (например, по наиболее перспективному Малопечорскому-Уньинскому) достаточным окажется 40-50 крупных протолочных проб с хромшпинелидами, взятых за один полевой сезон.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Новое рассмотрение данных по геохимии и минералогии хрома в палеозойских толщах Севера Урала, опубликованных в период расцвета российской геологии, более полувека назад, показывает, что эти данные были незаслуженно забыты.
- 2. Между тем проведенные исследования сохраняют острую актуальность не только в узкоспециальном смысле, но и гораздо шире для решения ряда крупных геологических проблем данного региона, далеко выходящих за рамки геохимии или минералогии.
- 3. В частности, одним из важных результатов является утверждение о широком развитии ультраосновного магматизма в древних толщах Севера Урала.
- 4. В согласии с представлениями В.С. Озерова, А.Б. Макеева и некоторых других геологов допускается, что этот древний магматизм (возможно, возрастом вплоть до карелид няртинского комплекса?) порождал проявления золота, платиноидов и алмазов.
- 5. На основе полученных результатов сформулированы актуальные нерешенные вопросы и предложена методика их решения. Предложенный нетрадиционный подход обещает серьезное продвижение в расшифровке палеозойских фаций, палеогеографии и металлогении осадочных толщ Севера Урала.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Заметим, что наши регионально-геохимические работы только на палеозое заняли в общей сложности 17 лет (с 1967 по 1984 г.). Еще 10 лет потребовалось для регионально-геохимического изучения древних толщ (с 1986 по 1996 г.) (Юдович, Кетрис, 2016).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас литолого-палеогеографических карт палеозоя и мезозоя Северного Приуралья м-ба 1 : 2 500 000 (Отв. ред. В.А. Чермных). (1972) Л.: Наука.
- Геохимия древних толщ Севера Урала (Отв. ред. акад. Н.П. Юшкин, ред.-сост. Я.Э. Юдович, М.П. Кетрис). (2002) Сыктывкар: Геопринт. 333 с.
- Исаев В.А. (1989) Литология и условия образования нижнеордовикских отложений Сакмарской зоны Урала. Препр., Свердловск: УрО АН СССР, 83 с.
- Исаев В.А., Малахов И.А., Воронина Л.К. (1984) Хромшпинелиды из песчаников кидрясовской свиты нижнего ордовика Южного Урала. Докл. АН СССР, 278(5), 1205-1209.
- Макеев А.Б. (1992) Минералогия альпинотипных ультрабазитов Урала. СПб., Наука, 197 с.
- Макеев А.Б., Ефанова Л.И., Филиппов В.Н. (1999) Манганоцинкохромит и манганоцинкоалюмохромит Приполярного Урала. *Сыктывкарский минералогический сборник*, № 28 (Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН. Вып. 101), 165-171.
- Макеев А.Б., Крапля Е.А., Брянчанинова Н.И. (1996) Платиноиды в аллювии и россыпях ключ к поискам коренных месторождений платины в Республике Коми. Сыктывкар: Геопринт, 44 с.
- Макеев А.Б., Макеев Б.А. (1996) Программа пересчетов анализов хромшпинелидов на минальный и формульный составы. *Тр. ИГ Коми НЦ УрО РАН*. Вып. 90, 114-120.
- Макеев А.Б., Макеев Б.А. (2005) Цинковые хромшпинелиды Среднего Тимана и Приполярного Урала. Докл. АН СССР, **404**(2), 235-240.
- Макеев А.Б., Перевозчиков Б.В., Афанасьев А.К. (1985) Хромитоносность Полярного Урала. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР. 152 с.
- Озеров В.С. (1996) Метаморфизованные россыпи золота Приполярного Урала. *Руды и металлы*, 4, 28-37.
- Озеров В.С. (1998а) Особенности металлогении золота области Центрально-Уральского поднятия на Севере Урала. Золото, платина и алмазы Республики Коми и сопредельных регионов. Мат-лы Всерос. конф. Сыктывкар: Геопринт, 14-16.
- Озеров В.С. (1998б.) К вопросу о генезисе рудопроявления золота Чудное (Приполярный Урал). Золото, платина и алмазы Республики Коми и сопредельных регионов: Мат-лы Всерос. конф. Сыктывкар: Геопринт, 16-18.
- Повонская Н.В. (1997) Отчет по теме "Обобщение и изучение шлихового материала кайнозойских отложений западного склона Приполярного и Северного Урала с целью создания шлихо-минералогической основы для производства геолого-съемочных и поисковых работ". Воркута, геол. фонды.
- Пучков В.Н. (1979) Батиальные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 260 с.
- Ронов А.Б., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. (1984) Источники вещества и проблема эволюции осадочной оболочки и земной коры. 27-й Междунар. Геол. конгр. Докл. Т. 11. Секц. С11. Геохимия и космохимия. М.: Наука, 139-148.
- Юдович Я.Э. (1981) Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 276 с.

- Юдович Я.Э. (2007) Записки геохимика. Сыктывкар: Геопринт, 195 с.
- Юдович Я.Э., Ефанова Л.И., Швецова И.В., Козырева И.В., Котельникова Е.А. (1998) Зона межформационного контакта в каре оз. Грубепендиты. Сыктывкар: Геопринт, 96 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (1997) Проблемы литохимии. Доклад на расширенном заседании Ученого совета *ИГ Коми НЦ УрО РАН* Сыктывкар: Геопринт, 24 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2016) Наши полвека в геохимии. Сыктывкар: Геопринт, 190 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2015а) Российские геологи рассказывают о себе. Тексты с комментариями. Книга Первая. Открытия и находки, прозрения и разочарования. Сыктывкар: Геопринт, 480 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2015б) Российские геологи рассказывают о себе. Тексты с комментариями. Книга Вторая. Геологическое поле. Сыктывкар: Геопринт, 376 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2015в) Российские геологи рассказывают о себе. Тексты с комментариями. Книга Третья. Советская геология. Сыктывкар: Геопринт, 336 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2016) Российские геологи рассказывают о себе. Тексты с комментариями. Книга Четвертая: дополнительная. Сыктывкар: Геопринт, 568 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Иванова Т.И., Швецова И.В. (1997) Геохимия и минералогия хрома в осадочных толщах севера Урала. Сыктывкар: Пролог, 76 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Морохина Л.П., Никитенко И.П., Бушуева Е.Б., Сарбей М.З., Хорошилова Л.А., Юшкова Г.А., Иванова Т.И., Судаков Б.В. (1980) Геохимия и минералогия хрома (на примере палеозойских толщ Печорского Урала). Изв. АН СССР. Сер. Геол., (2), 115-128.
- Rakhimov I.R., Pushkarev E.V., Gottman I.A. (2021) Chromite Paleoplacer in the Permian Sediments at the East Edge of the East European Platform: Composition and Potential Sources. *Minerals*, (11), 691-722.
- Wedepohl K.H. (1967) Geochemie. Berlin: De Gruyter, 220 p.

## REFERENCES

- Atlas of Litho-paleogeographic Maps of the Paleozoic and Mesozoic of the Northern Urals scale 1:2500 000. (Ed. V.A. Chermnykh). (1972) Leningrad, Nauka Publ. (In Russ.)
- Geochemistry of Ancient Strata of the North Urals (Ed. academician N.P. Yushkin. Comp. Ya.E. Yudovich and M.P. Ketris). (2002) Syktyvkar, Geoprint Pupl. 333 p. (In Russ.)
- Isaev V.A. (1989) Lithology and Conditions of Formation of the Lower Ordovician Deposits of the Sakmar Zone of the Urals: Preprint. Sverdlovsk, UB Akad Nauk SSSR, 83 p. (In Russ.)
- Isaev V.A., Malakhov I.A., Voronina L.K. (1984) Chromspinelids from sandstones of the Kidryasovskaya formation of the Lower Ordovician of the Southern Urals. *Dokl. Akad Nauk SSSR*, **278**(5), 1205-1209. (In Russ.)
- Makeev A.B. (1992) Mineralogy of Alpine-type Ultrabasites of the Urals. St.Petersburg, Nauka Publ., 197 p. (In Russ.)

- Makeev A.B., Efanova L.I., Filippov V.N. (1999) Mangan-Zn-chromite and mangan-Zn-Al-chromite of the Polar Urals *Syktyvkar mineralogical collection, No. 28*. (Proc. Institute of Geology, Komi Sci. Center, UB RAS. Vol. 101), 165-171. (In Russ.)
- Makeev A.B., Kraplya E.A., Bryanchaninova N.I. (1996)
  Platinoids in Alluvium and Placers the Key to the
  Search for Indigenous Platinum Deposits in the Komi
  Republic. Syktyvkar, Geoprint Publ., 44 p. (In Russ.)
- Makeev A.B., Makeev B.A. (1996) Programme of supplementary analyses chrome on minal and formula compositions. *Proc. Institute of Geology, Komi Sci. Center, UB RAS*, Vol. 90. 114-120. (In Russ.)
- Makeev A.B., Makeev B.A. (2005) Zinc chromespinelids of the Middle Timan and Near-Polar Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **404**(2). 235-240. (In Russ.)
- Makeev A.B., Perevozchikov B.V., Afanasev A.K. (1985) Chromite Content of the Polar Urals. Syktyvkar, Komi Br. AN SSSR, 152 p. (In Russ.)
- Ozerov V.S. (1996) Metamorphosed placers of gold of the Near-Polar Urals. *Rudy i Metally*, **4**, 28-37. (In Russ.)
- Ozerov V.S. (1998a) Features of metallogeny of gold in the region of the Central Urals uplift in the North of the Urals. *Gold, platinum and diamonds of the Komi Republic and adjacent regions*. Mater. All-Russian conferences. Syktyvkar, Geoprint, 14-16. (In Russ.)
- Ozerov V.S. (19986) On the question of the genesis of the ore occurrence of gold Chudnoye (the Near-Polar Urals). *Gold, platinum and diamonds of the Komi Republic and adjacent regions*. Mater. All-Russian conf., Syktyvkar. Syktyvkar, Geoprint, 16-18. (In Russ.)
- Puchkov V.N. (1979) Bathial Complexes of Passive Margins of Geosynclinal Regions. M.: Nauka Publ., 260 p. (In Russ.)
- Rakhimov I.R., Pushkarev E.V., Gottman I.A. (2021) Chromite Paleoplacer in the Permian Sediments at the East Edge of the East European Platform: Composition and Potential Sources. *Minerals*, **11**, 691-722. (In Russ.)
- Ronov A.B., Migdisov A.A., Yaroshevsky A.A. (1984) Sources of matter and the problem of evolution of the sedimentary shell of the Earth's crust 27th Int. Geol. congr. Dokl.

- Vol. 11. Sec. C11. Geochemistry and Cosmochemistry. Moscow, Nauka Publ., 139-148. (In Russ.)
- Wedepohl K.H. (1967) Geochemie. Berlin, De Gruyter, 220 p. Yudovich Ya.E. (2007) Notes of a Geochemist. Syktyvkar, Geoprint Publ., 195 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E. (1981) Regional Geochemistry of Sedimentary Strata. Leningrad, Nauka, 276 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Efanova L.I., Shvetsova I.V., Kozyreva I.V., Kotel'nikova E.A. (1998). The Zone of Interformational Contact in the Glacier Lake Grubependity. Syktyvkar, Geoprint Publ., 96 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (1997) Problems of lithochemistry: Report at the extended meeting of the Scientific Council of the Institute of Geology. Syktyvkar, Geoprint Publ., 24 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2015a) Russian Geologists Talk About Themselves. Texts with Comments. Book One. Syktyvkar, Geoprint Publ., 480 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (20156) Russian Geologists Talk About Themselves. Texts with Comments. Book Two. Syktyvkar, Geoprint, Publ., 376 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2015B) Russian Geologists Talk About Themselves. Texts with Comments. Book Three. Syktyvkar, Geoprint Publ., 336 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2016) Russian Geologists Talk About Themselves. Texts with Comments. Book Four: Additional. Syktyvkar, Geoprint Publ., 568 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2016) Our Half-Century in Geochemistry. Syktyvkar, Geoprint Publ., 190 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Ivanova T.I., Shvetsova I.V. (1997) Chromium Geochemistry and Mineralogy in the Sedimentary Strata of the Northern Urals. Syktyvkar, Prolog Publ., 76 p. (In Russ.)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Morokhina L.P., Nikitenko I.P., Bushueva E.B., Sarbei M.Z., Khoroshilova L.A., Yushkova G.A., Ivanova T.I., Sudakov B.V. (1980) Geochemistry and mineralogy of chromium (on the example of Paleozoic strata of the Pechora Urals) *Izv. AN SSSR. Ser. Geol.* (2), 115-128. (In Russ.)