

УДК 550.93:234.83

## ВОЗРАСТ ТИТАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ: Rb–Sr-ДАННЫЕ

© 2010 г. Член-корреспондент РАН И. В. Чернышев, А. Б. Макеев,  
Ю. В. Гольцман, Н. И. Брянчанинова

Поступило 17.06.2010 г.

Северо-восточное обрамление Восточно-Европейской платформы, а именно Тиманский кряж, является крупнейшей в мировом масштабе провинцией развития титановых россыпей (рис. 1) с лейкоксеновым и ильменит-лейкоксеновым типом руд. Самые значительные среди них – Ярегская и Пижемская. Уникальное Ярегское лейкоксеновое месторождение на Южном Тимане включает в себе почти 40% всех балансовых запасов титана в России, суммарные запасы Пижемского титанового месторождения по экспертным оценкам соизмеримы с запасами Ярегского [9]. Мелкие проявления руд на Северном Тимане (Сувойное, Пембойское) относят не просто к титановым россыпям, а к типичным комплексным прибрежно-морским россыпям с циркон-ставролит-ильменитовой рудной ассоциацией [9]. Стратиграфически все тиманские титановые месторождения и проявления привязаны к средне-верхнедевонскому уровню и пространственно тяготеют к поднятиям допалеозойского фундамента, в пределах которых размывались ильменит-лейкоксеновые породы (метапелиты) рифейского возраста. По современной классификации промышленные ильменит-лейкоксеновые руды в древних толщах относятся к метаморфогенному генетическому типу [10].

В Ярегском месторождении пространственно сопряжены два объекта: месторождение тяжелых нефтей и титановое. По мнению одних исследователей, они связаны не только пространственно, но и генетически, другие это мнение не разделяют. Для того чтобы исключить то или иное влияние нефти на лейкоксеновые руды, в качестве объекта исследований нами было выбрано Пижемское месторождение. Песчано-глинистая титаносодержащая толща Среднего Тимана, к которой приурочено Пижемское месторождение, считается древней россыпью, сформировавшейся за счет коры выветривания, развивавшейся по нижеле-

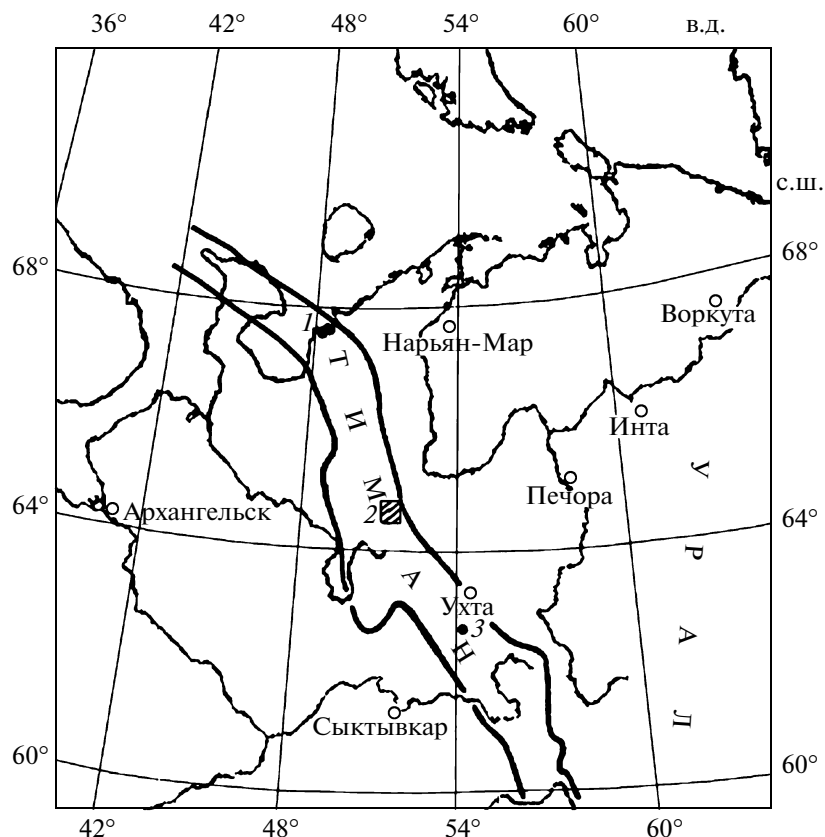
жащим рифейским сланцам [1, 8, 12]. Фаунистически и с помощью палинологического анализа достоверно определен возраст вышележащих терригенных и вулканогенно-осадочных отложений среднего и верхнего девона [11], залегающих с угловым несогласием на титаносодержащих толщах (рис. 2), поэтому можно с уверенностью говорить лишь о досреднедевонском возрасте титаносодержащих толщ, которые принято называть малоручейской свитой D<sub>2</sub>mgc [12].

Главные рудные концентрации Пижемского месторождения содержатся в лейкоксене (кварц + рутил) – 70–90% объема рудной фракции (рис. 3) и лейкоксенизированном ильмените – до 30%, реже встречаются циркон до 1%, ильменорутил и новообразованный игольчатый рутил. Общее содержание титановых минералов составляет 100–200 кг/т. Образование лейкоксена по ильмениту не вызывает сомнений, поскольку в рудах наблюдаются все переходные разности. Определение возраста Пижемского титанового месторождения так же, как и источника рудных концентраций, остается весьма актуальной геологической задачей.

В лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН проведено изотопное Rb–Sr-изучение глинистой составляющей аргиллитоподобных глин и алевролитов из шести керновых проб (табл. 1), поднятых со значительной глубины из скважин ГТС-1 и ГТС-2, и расчистки КУ-1, а также монофракции лейкоксена из рудного песчаника. Изучавшиеся отмученные пробы глинистых пород содержали только мусковит-2М и каолинит [7].

Определение содержаний Rb и Sr проводилось методом изотопного разбавления с использованием смешанного Rb–Sr-трассера, обогащенного изотопами <sup>85</sup>Rb и <sup>84</sup>Sr. После полного разложения проб при температуре 120°C смесью плавиковой и хлорной кислот в тefлоновых бюксах выделение фракций Rb и Sr осуществлялось методом элюентной хроматографии на колонках с внутренним диаметром 7 мм, заполненных 5 см<sup>3</sup> смолы DOWEX 50 × 8 размерностью 200–400 меш. В качестве элюента использовалась 2 N HCl. Уро-

*Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
Российской Академии наук, Москва*



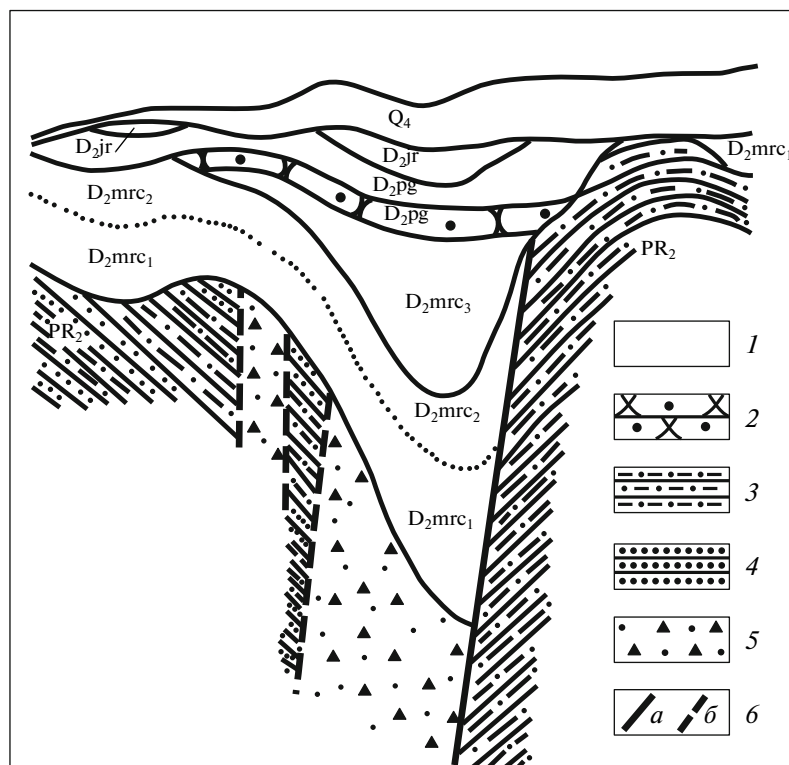
**Рис. 1.** Обзорная географическая схема расположения титановых месторождений и проявлений Тимана. 1 – Сувойное и Пембойское проявления на Северном Тимане, 2 – Пижемское месторождение на Среднем Тимане, 3 – Ярегское месторождение на Южном Тимане.

вень лабораторного фона по Rb и Sr (полный холостой опыт) не превышал 2.0 и 0.5 нг соответственно.

Измерения изотопного состава Rb и Sr выполнялись на многоколлекторном термоионизационном масс-спектрометре Sector 54. Изотопный анализ Rb проводился в трехленточном режиме с использованием центральной рениевой ленты и боковых танталовых лент, Sr – в одноленточном режиме с использованием центральной танталовой ленты [13]. Измеренные изотопные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  нормировались по стандартному отношению  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ . Погрешности, приведенные в табл. 2 и в тексте, отвечают уровню  $2\sigma$ .

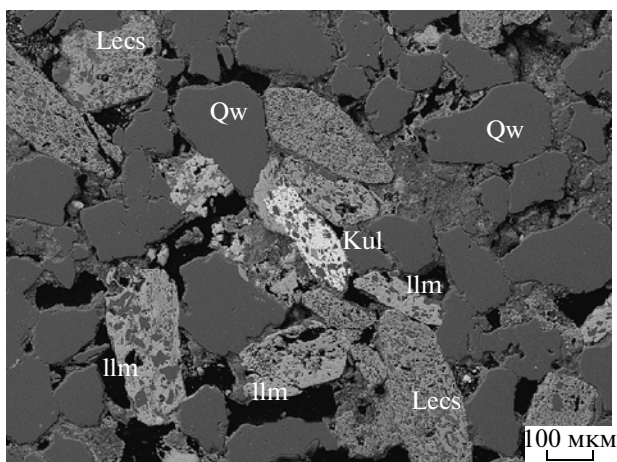
Линия регрессии, которую образуют экспериментальные точки изученных проб на Rb–Sr-диаграмме (рис. 4), была подвергнута процедуре дополнительных верификационных статистических построений для проверки того, не является ли она результатом смешения различных компонентов минерального и химического состава. Проведенная проверка показала, что результаты имеют геохронологический смысл.

Изохронные параметры, рассчитанные по результатам анализа всех шести проб глинистых минералов, составляют (рис. 4):  $T = 685 \pm 30$  млн. лет при  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.71108 \pm 0.00084$  и СКВО = 29. Вычисления выполнены по программе ISOPLOT. Некоторый геохимический разброс точек относительно линейной изохронной зависимости, который выражен в повышенном значении СКВО, вероятно обусловлен метасоматической природой глинистых минералов, образовавшихся по реликтовому обломочному материалу, и неидеальным уравниванием исходного изотопного состава Sr. Надо отметить, что на полученной изохроне лежит и точка, соответствующая лейкоксену из технологической пробы кварц-лейкоксен-ильменитовых песчаников. Поэтому мы вправе предположить, что полученное с ее учетом значение  $684 \pm 21$  млн. лет соответствует близкосинхронному возрасту формирования и титанового оруденения, и вмещающих его песчано-глинистых пород. Полученный результат оказался неожиданным, так как ранее пижемские титановые руды считались среднедевонскими.



**Рис. 2.** Геологический разрез через девонские отложения по профилю № 1000 (с использованием материалов Ухтинской ГРЭ [5]). Масштабы: горизонтальный – 1 : 10000, вертикальный – 1 : 2000. Условные обозначения: 1 – девонские и четвертичные песчаники, пески, алевролиты и глины, 2 – металлоносные конглобрекции  $D_2pg$  проявления Ичетью, 3 – сланцы кварц-мусковит-каолинит-хлоритовые, 4 – алевролиты кварц-мусковит-хлоритовые, 5 – рыхлые тектонические брекчи, представленные алевропсаммитовым материалом пород рифея с щебнем и дресвой этих же пород, 6 – разломы (а) установленные, (б) предполагаемые.

Рифейский возраст (635 млн. лет) подстилающих глинистых сланцев определен ранее по серициту К–Аг-методом [4]. То есть оказалось, что древняя позднепротерозойская титаноносная



**Рис. 3.** Кварц-лейкоксен-ильменитовый песчаник – титановая руда Пижемского месторождения. Qw – кварц, Ilm – ильменит, Lecs – лейкоксен, Kul – куларит.

толща с возрастом  $685 \pm 30$  млн. лет залегает на более молодых – рифейских глинистых сланцах. Так как возраст сланцев на 50 млн. лет меньше возраста титаноносной толщи, то они (ни их глинистая часть, ни микрозернистый кварц, с размером зерен 0.003–0.050 мм, ни гранобласты лейкоксена) не могли служить материалом для образования титановых руд. Возникшее стратиграфическое противоречие (залегание древних титаноносных толщ на молодых глинистых сланцах) следует проверить путем уточнения возраста сланцев современными изотопными методами.

Теперь необходимо определить, могла ли какая-то магматическая порода служить первичным субстратом для образования высококальциевых песчано-глинистых титаноносных толщ, причем в объемах достаточных для образования крупного месторождения титана. Наиболее вероятно, что это была калиевая щелочно-основная магматическая порода с высоким содержанием титана. На Среднем Тимане к таким породам относятся четласские лампрофиры и щелочные базальты Вольско-Вымской гряды [3–5].

**Таблица 1.** Химический и нормативный минеральный состав глинистых пород и лейкоксена Пижемского месторождения, мас. %

Компонент	Скв. ГТС-1		Скв. ГТС-2			Расчистка КУ-1	
	Арг 1/70.4	Алр 1/75.0	Алр 2/20.0	Алр 2/38.5	Арг 2/39.7	Арг К1-29	Лейк ТУ-1
SiO <sub>2</sub>	62.70	63.71	66.60	66.67	60.58	63.64	33.69
TiO <sub>2</sub>	1.00	0.98	2.17	0.86	1.19	1.09	58.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.62	20.42	17.77	22.38	20.34	22.71	3.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.52	10.52	9.50	5.17	10.28	7.65	1.09
MnO	0.00	0.00	0.112	0.010	0.00	0.00	0.04
CaO	0.091	0.083	0.117	0.093	0.109	0.093	0.15
MgO	1.50	0.00	0.00	0.00	2.63	0.00	0.03
K <sub>2</sub> O	4.41	4.13	3.31	4.69	4.48	4.66	0.83
CuO	0.057	0.053	0.225	0.063	0.220	0.00	0.009
ZnO	0.00	0.028	0.088	0.00	0.077	0.00	0.003
SrO	0.037	0.021	0.038	0.018	0.034	0.063	0.071
Rb <sub>2</sub> O	0.022	0.020	0.013	0.021	0.021	0.025	0.005
ZrO <sub>2</sub>	0.043	0.043	0.053	0.031	0.045	0.066	0.699
Кварц	34.32	39.47	45.02	40.24	34.22	36.63	—
Мусковит	35.68	33.38	26.77	37.94	36.20	37.70	7.03
Каолинит	15.62	14.94	15.02	15.18	9.99	16.11	3.26
Хлорит	5.01	0.00	0.00	0.00	8.79	0.00	0.19
Гематит	7.65	10.52	9.50	5.17	8.75	7.65	1.02
Лейкоксен	1.66	1.64	3.61	1.43	1.99	1.82	87.50
Циркон	0.064	0.064	0.079	0.046	0.067	0.098	1.00

Примечание. Арг – аргиллитоподобная глина, Алр – алевролит, Лейк – лейкоксен.

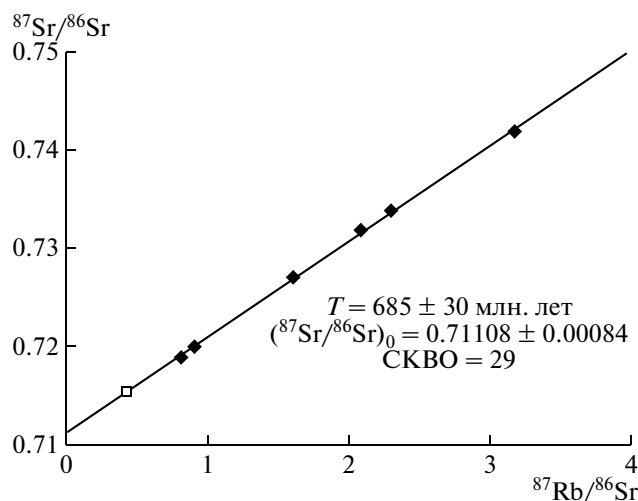
Щелочные базальты или трахибазальты в виде нескольких даек обнаружены в пределах девонской Пижемской депрессии на севере Вольско-Вымской гряды. Они являются санидиновыми ультракалийевыми породами, позднедевонско-раннекаменноугольного возраста (343–365 млн. лет) [4]. Эти породы содержат бедную титановую аксессуарную минерализацию в виде ильменита, анатаза и титаномагнетита. Судя по возрасту и незначительному распространению, позднепалеозойские щелочные базальты не могли служить источником вещества титаноносных толщ.

В иной ситуации находятся лампрофиры. Такие породы, как спессартиты и керсантиты, могли послужить субстратом и источником титана для образования Пижемского месторождения. Лампрофиры – самые распространенные магматические породы Среднего Тимана, на Четласком Камне они образуют несколько крупных дайковых полей из сотен отдельных тел, каждое

**Таблица 2.** Изотопные Rb–Sr-характеристики глинистых пород и лейкоксена Пижемского месторождения

Образец	Rb, мкг/г	Sr, мкг/г	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr ± 2σ
Арг К1-29	282	995	0.820	0.71885 ± 0.00009
Алр 2/20.0	132	419	0.910	0.71988 ± 0.00010
Арг 2/39.7	276	498	1.606	0.72694 ± 0.00010
Арг 1/70.4	243	338	2.084	0.73175 ± 0.00010
Алр 1/75.0	247	311	2.303	0.73379 ± 0.00009
Алр 2/38.5	288	263	3.172	0.74170 ± 0.00011
Лейк ТУ-1	74.3	490	0.439	0.71544 ± 0.00017

Примечание. Арг – аргиллитоподобная глина, Алр – алевролит, Лейк – лейкоксен.



**Рис. 4.** Rb–Sr-диаграмма для глинистых пород и лейкоксена титаноносной толщи Пижемского месторождения. Ромбы – глинистые породы, квадрат – лейкоксен.

из которых протягивается на сотни метров при мощности до 10 м. Самые известные и изученные – Косьюское, Бобровское и Октябрьское дайковые поля. По Rb–Sr-данным наиболее многочисленная совокупность проб лампрофиров образует изохрону с позднепротерозойским возрастом  $819 \pm 19$  млн. лет [2]. Кроме того, есть лампрофировые дайки с возрастом около  $606 \pm 10$  млн. лет, т.е. рифейским, одновозрастные с четласскими карбонатитами. Все это свидетельствует о длительном периоде генерации лампрофировой магмы на Среднем Тимане, охватывающем около 200 млн. лет.

**Таблица 3.** Химический состав включений в лейкоксене, мас. %

Компонент	Ильменит		Слюда		Хлорит	
	МТУ-9		МТУ-9		МТУ-11	
	1	2	1	2	1	2
MgO			1.38	0.92	3.34	2.99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			28.19	28.70	19.46	19.39
SiO <sub>2</sub>			45.98	45.89	29.68	30.48
K <sub>2</sub> O			9.93	9.53		0.09
TiO <sub>2</sub>	61.78	61.87	2.69	2.51	1.10	0.62
FeO	33.12	36.03	6.84	7.44	33.42	33.43
MnO	5.11	2.10				

Содержание TiO<sub>2</sub> в лампрофирах 0.96–1.91%, среднее –  $1.55 \pm 0.24\%$ , а значит, титана в лампрофирах только в 3–5 раз меньше по сравнению с пижемскими рудами. В качестве главного аксессуарного минерала в лампрофирах встречается марганцовистый ильменит, который идентичен по составу лейкоксенизированному марганцовистому ильмениту Пижемского месторождения. В качестве включений в лейкоксене обнаружены реликтовый ильменит, железистые слюды и хлорит (табл. 3), аналогичные по составу породообразующим минералам четласских лампрофиров. Близки и обилие совокупности аксессуарных минералов лампрофиров и титаноносных толщ. Это Mn-ильменит, рутил, ильменорутил, циркон, фторопатит, гранаты, хромшпинелиды [3, 6]. Редкометалльные и редкоземельные минералы (ильменорутил, колумбит, монацит), содержащиеся в титаноносных отложениях, не были отмечены в лампрофирах, но они широко распространены в метасоматитах вокруг лампрофировых тел [3].

Таким образом, именно позднепротерозойские лампрофиры, более всего подходящие по возрасту и по составу, могли служить источником рудного вещества Пижемского титанового месторождения. Возможно, в процессе поисково-разведочных работ на севере Вольско-Вымской гряды под титаноносными толщами будут найдены лампрофиры, подобные четласским.

Немые титаноносные толщи, относимые ранее к среднему девону, впервые обрели конкретный возраст  $685 \pm 30$  млн. лет, т.е. позднепротерозойский. Этот факт объясняет многие противоречия в геологическом строении Пижемского месторождения и нестандартный лейкоксеновый состав титановых руд метаморфогенного промышленного типа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калюжный В.А.* Геология новых россыпеобразующих метаморфических формаций. М.: Наука, 1982. 264 с.
2. *Макеев А.Б., Андреев В.Л., Брянчанинова Н.И.* // ДАН. 2009. Т. 426. № 1. С. 94–97.
3. *Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И.* // Регион. геология и металлогения. 2009. Т. 37. С. 51–73.
4. *Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И., Ремизов В.И.* В сб.: Геология девонской системы. Материалы международного симпозиума. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 283–286.
5. *Макеев А.Б., Дудар В.А.* Минералогия алмазов Тимана. СПб.: Наука, 2001. 336 с.
6. *Макеев А.Б., Макеев Б.А.* // ДАН. 2005. Т. 404. № 2. С. 235–240.
7. *Макеев А.Б., Макеев Б.А.* В сб.: Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Материалы XV Геологического съезда Рес-

- публики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. Т. 2. С. 398–400.
8. *Махлаев Л.В., Коробова Н.И.* // Геология и геофизика. 1972. № 11. С. 44–50.
  9. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. М.: Науч. мир, 1997. 430 с.
  10. *Тигунов Л.П., Быховский Л.З., Зубков Л.Б.* Титановые руды России: состояние и перспективы освоения // Минерал. сырье. Сер. геол.-экон. 2005. № 17. 104 с.
  11. *Тельнова О.П., Макеев А.Б., Горбунов М.В.* В сб.: Геология девонской системы. Материалы международного симпозиума. Сыктывкар: Геопринт, 2002. С. 227–230.
  12. *Цаплин А.Е., Тополюк В.В., Бакулина Л.П., Довжикова Е.Г.* // Изв. вузов. Геология и разведка. 1988. № 9. С. 57–62.
  13. *Чернышев И.В., Сердюк Н.И., Журавлев Д.Э., Костицин Ю.А.* В сб.: Масс-спектрометрия и изотопная геология. М.: Наука, 1983. С. 30–43.