

УДК 549.6

ПАБСТИТ С МОРЕНЫ ЛЕДНИКА ДАРА-И-ПИОЗ (ТАДЖИКИСТАН)

Л.А.Паутов

Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, pla@fmm.ru

Обнаружен пабстит на морене ледника Дара-и-Пиоз (Гармский район, Таджикистан) в лейкократовой породе, сложенной преимущественно микроклином, кварцем и альбитом. В подчиненном количестве в породе присутствуют эгирин, титанит, астрофиллит, бафертисит, галенит, сфалерит, ильменит, пирохлор, флюорит, циркон, фторапатит и кальцит. Пабстит встречен в виде зерен в породе и хорошо образованных кристаллов (0.1–0.5 мм), нарастающих на кристаллы кварца в мелких пустотах, которыми изобилует порода. Минерал по составу приближается к конечному члену $\text{BaSnSi}_3\text{O}_9$ в ряду пабстит–бенитоит. Микрозондовый ан.: SiO_2 – 37.43; TiO_2 – 0.19; ZrO_2 – 0.16; SnO_2 – 30.05; BaO – 32.41; сумма 100.24. Эмпирическая формула: $\text{Ba}_{1.02}(\text{Sn}_{0.96}\text{Ti}_{0.01})_{0.98}\text{Si}_{3.01}\text{O}_9$. Показатели преломления пабстита $n_o = 1.668(2)$; $n_e = 1.657(2)$, что значительно ниже данных, приводимых для пабстита с места первой находки. Показана сильная зависимость оптических свойств пабстита от содержания в нем титана. Нахodka пабстита на Дара-и-Пиозе является первой находкой пабстита в щелочных породах и, по-видимому, является второй находкой этого минерала в мире.

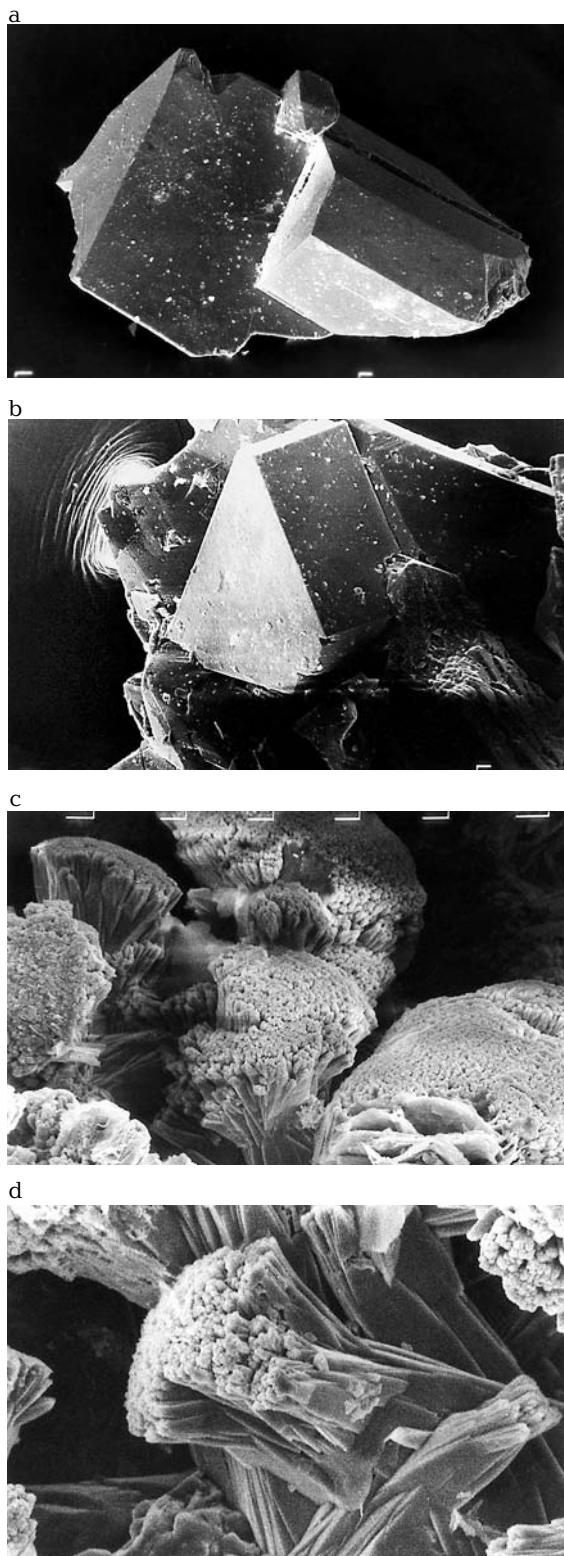
В статье 2 таблицы, 3 рисунка, список литературы из 13 названий.

Пабстит $\text{BaSnSi}_3\text{O}_9$ – оловянный аналог бенитоита, был описан как новый минерал из Санта-Кру (шт. Калифорния, США), где он встречен в трещинах окремнелых известняков в ассоциации с кварцем, кальцитом, тремолитом, витеритом, флогопитом, диопсидом, форстеритом, таррамеллитом, касситеритом, франкеитом, станнином, сфалеритом и галенитом (Gross *et al.*, 1965). Минералогии карьера Санта-Кру посвящена отдельная публикация (Dunning, Cooper, 1986). Автором настоящей статьи пабстит обнаружен в совершенно иной геологической обстановке – в породах щелочного комплекса Дара-и-Пиоз при лабораторном изучении полевых сборов 1995 г., проведенных совместно с А.А.Агахановым, В.Ю.Карпенко и П.В.Хворовым. В доступной автору литературе сообщений о других находках пабстита найти не удалось. Нет образцов пабстита, кроме как из Калифорнии, и в крупнейших минералогических собраниях нашей страны – Минералогическом музее им. А.Е.Ферсмана РАН, Геологическом музее им. В.И.Вернадского. По-видимому, карьер Санта-Кру в Калифорнии, до последнего времени был единственным местом находок этого редкого минерала.

Местонахождение и ассоциация

Пабстит обнаружен в моренном материале ледника Дара-и-Пиоз, расположенного в контурах Верхнего Дара-и-Пиозского щелочного массива (Гармский район, Таджикистан). Массив расположен в приводораз-

дельной части южного склона Алайского хребта, имеет строение близкое к кольцевому и сложен биотитовыми и турмалиновыми гранитами, эгириновыми сиенитами и фойяитами. Первые данные о массиве получены при работах Таджикско-Памирской экспедиции в 1932–1936 годы. Минералогия Дара-и-Пиозского массива освещена в ряде публикаций (Дусматов, 1968; Дусматов, 1971; Дусматов, 1993; Семенов, 1975; Велаковский, 1991 и др.). Наиболее характерной особенностью Дара-и-Пиозского массива, является необычная для щелочных массивов обогащенность бором и литием (Дусматов и др., 1972), а также «сухость» – отсутствие или малая распространенность минералов, содержащих в своем составе воду или гидроксильные группировки. Минералогически это проявляется в развитии на массиве борового аналога альбита – ридмерджнерита и наличии целого ряда редких боросиликатов (лейкосфенита, стиллуэллита-(Се), тяньшанита, таджикита, калькибет-боросилилата-(Y), гиалотекита и др.), широком распространении литиевых минералов (полилитионита, тайниолита, согдианита, сугилита, нептуниита и др.). Из других элементов, характерных для Дара-и-Пиоза и образующих в массиве собственные минералы, следует указать редкие земли и иттрий (стиллуэллит-(Се), минералы группы таджикита, капицайт-(Y), нордит-(Се), монацит-(Се) и др.), бериллий (лейкофан, эпидидимит, барилит, калькибет-боросилилт-(Y), гиалотекит, москвинит и др.), цирконий (согдианит, цектцерит, бацирит, циркон, минералы группы эвдиалита и др.), ниобий и tantal



(минералы группы пирохлора, баотит), титан и уран (торит, туркестанит, уранинит), цезий (цеций-куплетскит, телюшенкоит) и олово [хотя собственный минерал олова пока обнаружен только один — это пабстит, повышенные содержания олова ранее отмечались в титаните (Reguir *et al.*, 1998; Reguir *et al.*, 1999) и согдианите (Паутов и др., 2000) из этого массива].

С кристаллохимической точки зрения примечательной особенностью Дара-и-Пиозского массива является широкое распространение и разнообразие в нем кольцевых силикатов. Из минералов с девятичленными кольцами кремнекислородных тетраэдров в микроклин-ридерджнеритовых пегматитах и в очень своеобразных кварц-титанит-эгириновых жильных породах встречаются минералы группы эвдиалита. Из силикатов с шестичленными кольцами встречены минералы группы турмалина. Структурный тип аксинита представлен крайне редким на Дара-и-Пиозе ферроаксинитом. Наиболее разнообразны на массиве силикаты со сдвоенными шестерными кремнекислородными кольцами группы милярита, многие из которых впервые описаны именно из этого массива — это прежде всего согдианит, который в некоторых жильных образованиях является породообразующим минералом; сугилит, дарапиозит, дусматовит, шибковит, березанскит. Представителем минералов с четверьими кремний-кислородными кольцами на Дара-и-Пиозе является баотит. Из силикатов со сдвоенными четверьими кольцами встречается туркестанит. Структурный тип бенитоита (силикатов с трехчленными кремнекислородными кольцами) был представлен на массиве бациритом, а теперь пополнился пабститом. И, наконец, совсем недавно был открыт на Дара-и-Пиозе минерал со сдвоенными трехчленными кольцами (новый структурный тип) — москвинит.

Пабстит обнаружен в средне-грубозернистой неравномернозернистой лейкократовой породе, сложенной преимущественно микроклином, кварцем и альбитом. В подчиненном количестве в породе присутствует эгирин, титанит, астрофиллит и бафертизит, образующие отдельные скопления и линзы, что придает породе пятни-

РИС. 1. *a* — фрагмент сростка кристаллов пабстита. В верхней части снимка виден кристалл циркона. Ув. 300; *b* — коротко призматический кристалл пабстита на кварце. Ув. 500; *c, d* — сростки расщепленных кристаллов циркона из полости с пабститом. *c* — ув. 200, *d* — ув. 1000. РЭМ-фото

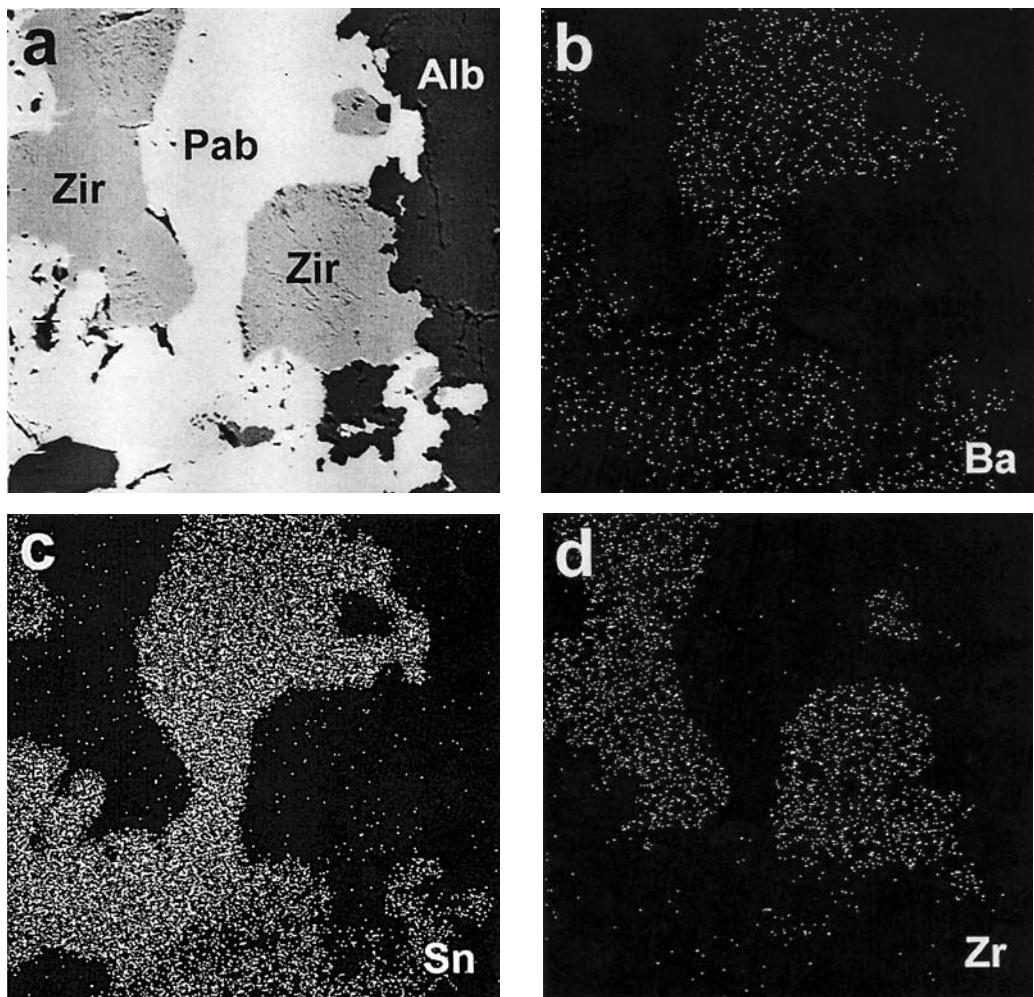


РИС. 2. Срастание пабстита (Pab) с цирконом (Zir) и альбитом (Alb). а – изображение в режиме СОМРО; б, в, г – изображение в рентгеновском характеристическом излучении указанных элементов. Ширина поля зрения – 600 мкм

стую, участками полосчатую текстуру. Аксессорные минералы – галенит, сфалерит, ильменит, пирохлор, флюорит, циркон, фторапатит и кальцит. Порода несет следы пластических и хрупких деформаций, что выражается в изогнутости чешуйчатых зерен астрофиллита и бафертисита, катаклизованных зернах микроклина, пластинчатых двойниках кальцита. В породе довольно обильны мелкие (0.3–1 см) пустоты, инкрустированные длинностолбчатыми прозрачными и бесцветными кристаллами кварца (1–5 мм длиной), на которые нарастают белые сферолитоподобные агрегаты и короткопризматические кристаллы циркона, редко одиночные хорошо образованные мелкие кристаллы пабстита (рис. 1). Паб-

стит в виде зерен неправильных очертаний встречается и в альбит-титанит-кварц-цирконовых агрегатах (рис. 2), располагающихся в непосредственной близости от описанных полостей.

Физические свойства и оптические характеристики

Зерна пабстита имеют белый цвет и слегка жирный блеск. Спайность не наблюдается. Твердость по Моосу около 6. Кристаллы пабстита (0.1–0.5 мм) бесцветны и прозрачны, их морфология хорошо видна на рис. 1. В коротковолновом ультрафиолетовом свете минерал обнаруживает слабую голубоватую

Таблица 1. Рентгеновские порошковые данные для пабстита

Пабстит, Дара-и-Пиоз	d	I	Пабстит, синт. JCPDS 43-0633	d	I	hkl
5.81	60	5.83	37	100		
4.93	33	4.923	12	002		
3.76	100	3.7625	95	102		
3.36	90	3.3672	30	110		
3.21	10	3.1842	9	111		
2.92	28	2.9156	17	200		
2.78	53	2.7793	100	112		
2.52	5	2.5093	5	202		
2.46	20	2.4633	10	004		
2.34	3	2.3511	1	113		
2.27	2	2.2692	2	104		
2.21	5	2.2043	12	210		
2.153	3	2.1509	4	211		
		2.0117	6	212		
1.983	11	1.9880	23	114		
		1.9439	14	300		
1.887	6	1.8818	13	204		
		1.8302	1	213		
1.810	8	1.8082	17	302		
		1.6832	5	220		
1.647	8	1.6421	12	006		
1.614	2	1.6172	2	310		
1.595	4	1.5928	10	222		
		1.5804	4	106		
1.541	3	1.5366	8	312		
		1.5259	8	304		
1.476	5	1.4758	10	116		

Таблица 2. Химический состав пабстита

Оксид	Дара-и-Пиоз, Таджикистан	Санта-Кру, Калифорния		Теоретический состав
		1	2	
SiO ₂	37.43	37.7		37.22
TiO ₂	0.19	3.8		
ZrO ₂	0.16	—		
SnO ₂	30.05	24.4		31.12
BaO	32.41	33.2		31.66
Сумма	100.24	99.1		100.00

Примечание:

1 — среднее из 3 микрозондовых анализов.
Аналитик — Л.А.Паутов. Эмпирическая формула при расчете на 9 атомов О: Ba_{1.02}(Sn_{0.96}Ti_{0.01}Zr_{0.01})_{0.98}Si_{3.01}O₉;
2 — микрозондовый анализ. Ba_{1.03}(Sn_{0.77}Ti_{0.23})_{1.00}Si_{2.99}O₉ (Gross *et al.*, 1965); 3 — BaSnSi₃O₉

тую флуоресценцию. Пабстит оптически одноосный отрицательный. Показатели преломления, измеренные на врачающейся игле, оказались равными $n_o = 1.668(2)$; $n_e = 1.657(2)$, что значительно ниже данных, приводимых для пабстита с места первой находки. Показатели преломления пабстита из Калифорнии по данным (Gross *et al.*, 1965) $n_o = 1.685$; $n_e = 1.674$. Столь существенные различия в оптических характеристиках минерала с разных мест находок объясняются особенностями химического состава минерала: пабстит из Санта-Кру значительно богаче титаном (TiO₂ — 3.8 мас.%), чем минерал с Дара-и-Пиоза (TiO₂ — 0.08–0.42 мас.%), что и обусловило его более высокие показатели преломления. Эмпирическая зависимость показателей преломления от состава в ряде пабстит-бенитоит показана на рис. 3. Отклонение от прямой зависимости

области, приближающейся к конечному члену BaSnSi₃O₉, обусловлено, по-видимому, вкладом в повышение показателей преломления минерала с Дара-и-Пиоза небольшой примесью циркония.

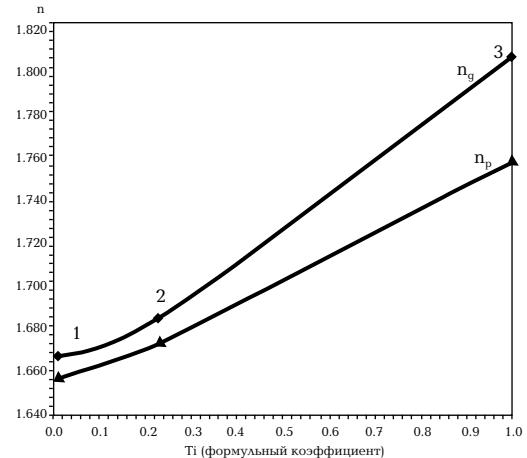
Рентгеновские данные

Пабстит с Дара-и-Пиоза изучался методом порошка на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2. Съемка велась на Fe-излучении, перед счетчиком был установлен графитовый монохроматор. Скорость сканирования счетчика — 1 градус/мин. Качество полученной дифрактограммы можно оценить как удовлетворительное, что обусловлено малым количеством минерала. Результаты расчета рентгеновской дифрактограммы, приведенные табл. 1, показывают близость изученного минерала к BaSnSi₃O₉. Следует заметить, что минерал плохо снимается фотометодом из-за сильной флуоресценции под рентгеновскими лучами.

Химический состав

Химический состав пабстита с Дара-и-Пиоза изучался на рентгеновском микроанализаторе JCXA-50A, оснащенном энергодисперсионным спектрометром Link-U и тремя волновыми спектрометрами. Количественный анализ проводился на волновых спектрометрах при ускоряющем

РИС. 3. Зависимость показателей преломления минералов ряда пабстит — бенитоит от состава. 1 — пабстит с Дара-и-Пиоза, 2 — пабстит из Санта-Кру (Gross *et al.*, 1965); 3 — BaTiSi₃O₉



напряжении $U = 20$ кВ, токе зонда 20 нА и диаметре пучка 2 мкм. Образцами сравнения являлись: бенитоит USNM 86539 на Ba, Ti, Si; синтетический SnO_2 – на Sn; синтетический ZrO_2 – на Zr. Расчет концентраций проведен по методу ZAF-коррекции в программе «ПУМА». Результаты анализа приведены в табл. 2. Как уже говорилось выше, пабстит с Дара-и-Пиоза находится ближе к конечному члену $\text{BaSnSi}_3\text{O}_9$, чем минерал с места первого описания. Кроме того, для описываемого пабстита характерна незначительная примесь циркония.

Выводы

Обнаружен пабстит в совершенно иной геологической обстановке, чем в типовом местонахождении. Это первая находка пабстита в щелочных породах и, по-видимому, является второй находкой этого минерала в мире. Пабстит – первый собственно оловянный минерал на Дара-и-Пиозе.

Встреченный на Дара-и-Пиозе пабстит по составу приближается к конечному члену $\text{BaSnSi}_3\text{O}_9$ в ряду пабстит-бенитоит. Примесь циркония в дараипиозском пабстите, вероятно, свидетельствует о возможности существования изоморфной системы пабстит-бенитоит-бацирит.

Показана сильная зависимость оптических свойств пабстита от содержания в нем титана, что необходимо учитывать при оптической диагностике минерала (в большинстве минералогических справочников приведены показатели преломления пабстита, относящиеся к минералу из Калифорнии, которые гораздо выше, чем показатели преломления для малотитанистого пабстита).

Данные по гидротермальному синтезу $\text{BaSnSi}_3\text{O}_9$ и $\text{CaSnSi}_3\text{O}_9$ (Gross *et al.*, 1965; Некрасов, 1973; Некрасов, 1976) и минеральные ассоциации позволяют предположить, что кристаллизация пабстита на Дара-и-Пиозе проходила на заключительных стадиях альбитизации из щелочных растворов богатых кремнеземом и относительно бедных оловом при температуре выше 300°C. Возможным источником Sn^{4+} в растворе, могло служить олово, высвобождающееся из Sn-содержащего содианита при замещении его в стадию альбитизации цектцеритом.

Автор благодарит за помощь в работе А.А.Агаханова, В.Ю.Карпенко, П.В.Хворо-

ва, В.Д.Дусматова, И.В.Пекова и Д.И.Белаковского.

Список литературы

- Дусматов В.Д. К минералогии одного из массивов щелочных пород //Щелочные породы Киргизии и Казахстана. Фрунзе. 1968. С. 134–135.
- Дусматов В.Д. Минералогия щелочного массива Дараи-Пиез (Южный Тянь-Шань) //Автореферат диссертации. М. 1971. 18 с.
- Дусматов В.Д. Минералы массива Дараи-Пиез //Минералогический журнал. 1993. Т. 15. № 6. С. 102–103.
- Дусматов В.Д., Могаровский В.В., Корешина Ю.Б. К геохимии бора в гранитно-сиенитовых массивах р. Дараи-Пиез (Южный Тянь-Шань) //Геохимия. 1972. № 10. С. 1298–1302.
- Некрасов И.Я. Гидротермальный синтез силикатов олова //ДАН СССР. 1973. Т. 212. № 3. С. 705–708.
- Некрасов И.Я. Фазовые соотношения в оловосодержащих системах. М.: Наука, 1976. 362 с.
- Паутов Л.А., Хворов П.В., Муфтахов В.А., Агаханов А.А. Содианит и сугилит из пород Дара-и-Пиозского массива (Таджикистан) //ЗВМО. 2000. № 3. С. 66–79.
- Семенов Е.И., Дусматов В.Д. К минералогии щелочного массива Дараи-Пиез (Центральный Таджикистан) //ДАН Таджикской ССР. 1975. Т. XVIII. № 11. С. 39–41.
- Belakovskiy D.I. Die seltenen Mineralien von Dara-i-Pioz im Hochgebirge Tadshikistans //Lapis. 1991. 16. № 12. S. 42–48.
- Dunning G.E., Cooper J.F.Jr. Mineralogy of the Kalkar Quarry, Santa Cruz, California //Mineral. Record. 1986. 17. 5. P.315–326.
- Gross E.B., Wainwright J.E.N., Evans B.W. Pabstite, the tin analogue of benitoite //Amer. Mineral. 1965. Vol. 50. P. 1164–1169.
- Reguir E.P., Chakhmouradian A.R., Evdokimov M.D. Unusual Zr- and Sn-rich titanite in association with baratovite and zircon from the Dara-i-Pioz complex, Tajikistan //17-th General Meeting (Absract & Programs). IMA. Aug. 9–14, 1998. Toronto, Canada. P. A110.
- Reguir E.P., Chakhmouradian A.R., Evdokimov M.D. The mineralogy of a unique baratovite and miserite – bearing quartz-albite-aegirine rock from the Dara-i-Pioz complex, Northern Tajikistan //Can. Mineral. 1999. Vol. 37. P. 1369–1384.