
МИНЕРАЛЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ

**ВАРИАЦИИ СОСТАВА ОЛИВИНА ИЗ КСЕНОЛИТОВ
В КИМБЕРЛИТАХ ЯКУТИИ**© 2020 г. Э. А. Власова¹, *, **, А. М. Хмельков¹¹АК «АЛРОСА» (ПАО), Вилюйская геологоразведочная экспедиция,
ул. Первооткрывателей, д. 1, п. Айхал, Мирнинский улус, Республика Саха (Якутия), 678190 Россия

*e-mail: kulaninaEA@alrosa.ru

**e-mail: st_56@mail.ru

Поступила в редакцию 25.07.2019 г.

После доработки 22.01.2020 г.

Принята к публикации 12.02.2020 г.

С помощью оригинальной программы MineralogicalAnalyses проанализирован химический состав оливина из 10 групп, выделенных по степени алмазоносности и петрографическим характеристикам вмещающих пород (ксенолитов в кимберлитах и родственных кимберлитам пород). Для каждой группы рассмотрены вариации содержаний петрогенных (Mg, Fe, Si) и редких (Cr, Ni, Ca) компонентов оливина, сделаны выводы о возможности использования выявленных закономерностей для оценки потенциальной алмазоносности кимберлитовых тел.

Ключевые слова: оливин, состав, кимберлиты, алмазоносный, Якутия

DOI: 10.31857/S0869605520020094

Парагенезис минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) имеет непосредственное отношение к алмазоносности кимберлитовых пород (Хмельков, Власова, 2018). К настоящему времени накоплен огромный фактический материал по химическому составу минералов из глубинных ксенолитов в кимберлитах. Однако без специальных исследований по этим данным трудно определять их генетическую принадлежность.

Для классификации групп МИК по химическому составу разработана оригинальная программа MineralogicalAnalyses (Хмельков и др., 2010; Хмельков, Гриценко, 2014; Хмельков, Власова, 2018). В ее основу положена эталонная база составов МИК, созданная в Московском университете (Гаранин и др., 1991; Кротков и др., 2001; Богатиков и др., 1999; Бовкун, 2000), дополненная опубликованными (Каминский, 1984; Атлас..., 2015) и авторскими данными. С помощью программы анализировались составы оливина из 10 групп, выделенных по степени алмазоносности и петрографическим характеристикам ксенолитов и родственных пород. К высокоалмазоносной группе был отнесен оливин, встречающийся в виде включений в алмазе или сростков с ним. К алмазоносной группе – оливин из алмазоносных ксенолитов. К потенциально алмазоносной группе – оливин, встречающийся преимущественно в алмазоносных ксенолитах и реже в неалмазоносных. К слабоалмазоносной группе – оливин из неалмазоносных ксенолитов и редко из алмазоносных ксенолитов. К неалмазоносным группам – оливин, встречающийся только в неалмазоносных породах.

ГРУППЫ ХИМИЧЕСКИХ СОСТАВОВ ОЛИВИНА

В работе изучались составы оливина из:

- 1) высокоалмазоносных магнезиальных перидотитов (низкожелезистый оливин из включений в алмазе, группа ВАПН),
- 2) алмазоносных перидотитов (низкожелезистый оливин, АПН),
- 3) потенциально алмазоносных перидотитов (среднежелезистый оливин, ПАПС),
- 4) слабоалмазоносных перидотитов (среднежелезистый оливин, САПС),
- 5) слабоалмазоносных перидотитов (высокожелезистый оливин, САПВ),
- 6) неалмазоносных перидотитов и родственных кимберлитам пород (пикритов, альнеитов, мелилитов и др.) (крайне высокожелезистый оливин, НПВ),
- 7) неалмазоносных оливинитов и шпинель-гранатовых дунит-гарцбургитов (низкожелезистый оливин, НОДГ),
- 8) неалмазоносных гранат-ильменитовых гарцбургитов (высокожелезистый оливин, НГИГ),
- 9) неалмазоносных шпинелевых вебстеритов (крайне высокожелезистый оливин, НШВ),
- 10) базальтоидов (крайне высокожелезистый оливин, НО).

Средние химические составы оливина из выделенных групп приведены в табл. 1. На рис. 1 показано положение этих составов на диаграмме в координатах $\text{FeO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$. На рис. 2 приведена дендрограмма, показывающая, что составы оливина объединяются в 2 кластера. Первый из них включает группы ВАПН, АПН, ПАПС, НОДГ, САПС. Оливин, относящийся к этим группам, низко- и среднежелезистый, с содержанием форстеритового минала более 90%. Все группы, кроме НОДГ, алмазоносные, при этом группы ВАПН, АПН, ПАПС и НОДГ попадают в поле алмазной ассоциации (рис. 1). Низкожелезистый оливин из высокоалмазоносных магнезиальных перидотитов (ВАПН), характеризуется минимальным средним содержанием FeO (5.56 мас. %) и максимальным — MgO (53.30 мас. %). Содержание NiO в нем составляет 0.16 мас. %. В низкожелезистом оливине из группы АПН среднее содержание FeO выше (6.53 мас. %). Одновременно он обогащен NiO (0.22 мас. %). В среднежелезистом оливине из группы ПАПС среднее содержание FeO еще выше (7.61 мас. %), при этом он обогащен Cr_2O_3 (0.06 мас. %), MnO (0.14 мас. %) и NiO (0.48 мас. %). Следует отметить, что оливин из групп ПАПС и АПН достаточно часто встречается в виде включений в алмазах (Гаранин и др., 1991). Например, он установлен в качестве включений в аллювиальных алмазах Капибари, Парагвай (Smith et al., 2012).

Оливин из группы САПС отличается максимальным для первого кластера средним содержанием FeO (9.31 мас. %) и, соответственно, пониженным содержанием форстеритового компонента (90.5%). Одновременно он обогащен CaO (0.06 мас. %). Благодаря повышенному содержанию железа средний состав оливина из этой группы не попадает в область алмазной ассоциации (рис. 1), хотя подобный оливин иногда образует включения в алмазах (Гаранин и др., 1991).

Оливин из неалмазоносных оливинитов и шпинель-гранатовых дунит-гарцбургитов (НОДГ) близок по среднему содержанию FeO (7.66 мас. %) к оливину из группы ПАПС. В тоже время он в максимальной степени обогащен Cr_2O_3 (0.08 мас. %) и обеднен кальцием и никелем (табл. 1). На диаграмме $\text{FeO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ средний состав оливина из группы НОДГ попадает в область алмазной ассоциации, причем располагается он в высокохромистой области на удалении от средних составов оливина из остальных групп (рис. 2). Тем не менее оливин из этой группы был установлен исключительно в неалмазоносных ксенолитах оливинитов и шпинель-гранатовых дунит-гарцбургитов из трубок Слюдянка, Ноябрьская и Мгришница Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля.

Второй кластер объединяет группы САПВ, НГИГ, НПВ и НШВ. Три группы относятся к неалмазоносным и лишь одна (САПВ) связана со слабоалмазоносными перидотитами. В оливине из всех этих групп среднее содержание форстеритового компо-

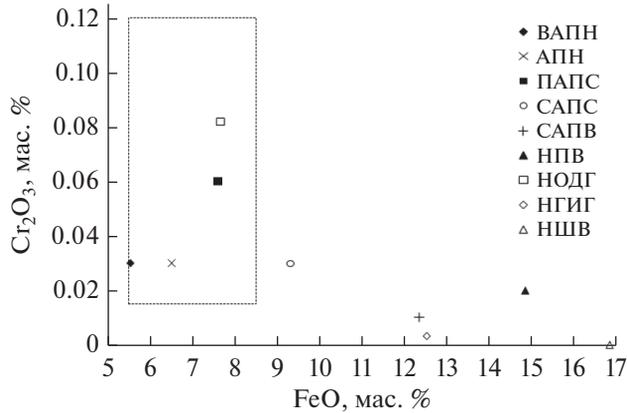


Рис. 1. Положение средних составов оливина из выделенных групп ксенолитов на диаграмме FeO–Cr₂O₃. Пунктиром ограничено поле оливина алмазной ассоциации по Н.В. Соболеву и др. (1989).
Fig. 1. Position of average olivine compositions for selected groups on the FeO–Cr₂O₃ diagram. Dashed line delineates the field of olivine of the diamondiferous association, after N.V. Sobolev (1989).

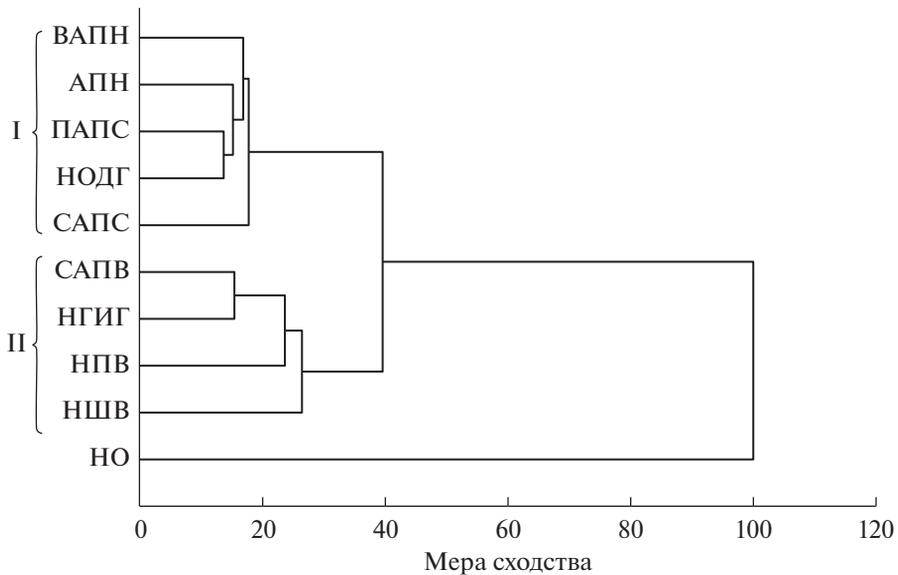


Рис. 2. Результаты кластерного анализа составов оливина из выделенных групп.
Fig. 2. Results of the cluster analysis of olivine compositions in selected groups.

нента не превышает 88%. Наиболее близкими составами обладают высокожелезистый оливин из слабоалмазоносных перидотитов (САПВ) и оливин из неалмазоносных гранат-ильменитовых гарцбургитов (НГИГ, ксенолиты в кимберлитах из трубок Ноябрьская и Поисковая Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля) (рис. 2). Средние содержания FeO в оливине из этих групп составляют 12.37 и 12.55 мас. %, соответственно. При этом в оливине из группы САПВ отмечаются более высокие содержания

Таблица 1. Средние составы оливина из выделенных групп ксенолитов
Table 1. Average compositions of olivine from selected groups of xenoliths

№ п/п	Группы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	NiO	Сумма	Fo
1	ВАПН	41.20	0.00	0.02	5.56	0.03	0.05	53.30	0.02	0.16	100.34	94.47
2	АПН	41.07	0.00	0.01	6.53	0.03	0.06	51.81	0.02	0.22	99.75	93.39
3	ПАПС	41.05	0.02	0.02	7.61	0.06	0.14	50.65	0.04	0.48	100.07	92.22
4	САПС	41.05	0.02	0.02	9.31	0.03	0.09	49.92	0.06	0.16	100.66	90.53
5	САПВ	40.39	0.02	0.01	12.37	0.01	0.09	47.15	0.04	0.13	100.21	87.17
6	НПВ	40.26	0.04	0.01	14.88	0.02	0.12	45.33	0.02	0.10	100.78	84.44
7	НОДГ	42.04	0.00	0.00	7.66	0.08	0.00	49.72	0.00	0.00	99.50	92.04
8	НГИГ	41.08	0.04	0.00	12.55	0.00	0.00	45.69	0.00	0.00	99.36	86.65
9	НШВ	39.93	0.02	0.02	16.87	0.00	0.10	43.40	0.00	0.00	100.34	82.10
10	НО	38.28	0.02	0.03	24.42	0.02	0.34	36.23	0.29	0.16	99.79	72.56

марганца, кальция и никеля (табл. 1). На диаграмме FeO–Cr₂O₃ средние составы оливина из обеих групп расположены рядом в низкохромистой высокожелезистой области, на значительном удалении от поля алмазной ассоциации.

В оливине из группы НПВ среднее содержание FeO равно 14.88 мас. %, за счет чего среднее содержание форстеритового компонента уменьшается до 84.44 %. Этот оливин обогащен MnO (0.12 мас. %) и обеднен Cr₂O₃ (0.02 мас. %). Оливин подобного состава характерен для магматических пород Прианабарья, развитых в том числе в пределах Ары-Мастахского, Дюкенского и Биригиндинского кимберлитовых полей Куонамского алмазоносного района (Лапин и др., 2004).

Оливин из группы НШВ, по сравнению с другими группами кластера, характеризуется наиболее высоким средним содержанием FeO (16.87 мас. %) и наиболее низким содержанием форстеритового минала (82.10%). Содержание хрома в этом оливине минимально. Оливин данной группы был встречен в ксенолитах неалмазоносных шпинелевых вебстеритов из трубки Ноябрьская Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля, а также в кимберлитовых трубках севера Якутской алмазоносной провинции, в частности в пределах Ары-Мастахского, Дюкенского и Биригиндинского кимберлитовых полей Куонамского алмазоносного района.

Оливин из базальтоидов (НО) на дендограмме располагается обособленно от остальных групп (рис. 2). Он характеризуется резко повышенным средним содержанием FeO (24.42 мас. %) и минимальным среди всех изученных групп средним содержанием форстеритового минала (72.6%). Для этого оливина характерны повышенные содержания MnO (0.34 мас. %), CaO (0.29 мас. %) и NiO (0.16 мас. %). Оливин из базальтоидов нередко встречается в ореолах рассеяния, особенно в районах площадного распространения пород трапповой формации. Он образует угловатые зерна размером до 0.5 мм, сходные по окраске зернами оливина из кимберлитов. Кроме этого, оливин из этой группы присутствует и в кимберлитах в качестве ксеногенного (корового) минерала.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно выполненным исследованиям, оливин из алмазоносных групп характеризуется повышенными средними содержаниями MgO (>50.0 мас. %) и NiO (>0.15 мас. %) при низком содержании FeO (<8.0 мас. %). Оливин их алмазоносных групп ВАПН, АПН, ПАПС имеет широкое распространение в кимберлитовых полях центральной части Якутской алмазоносной провинции (Мирнинском, Накынском, Алакит-Мархинском), в то время как в значительной части кимберлитовых тел северных полей



Рис. 3. Идиоморфные кристаллы оливина II генерации. Река Кыра-Разбойник, Бенчимэ-Куойкское кимберлитовое поле.

Fig. 3. Idiomorphic crystals of the II generation olivine. Kyra-Razboinik river, Benchime-Kuoykское kimberlite field.

Якутии (Дюкенском, Ары-Мастахском, Биригиндинском, Бенчимэ-Куойкском) преобладает оливин из неалмазоносных групп (НПВ, НШВ и др.).

Наряду с ксеноморфным оливином в кимберлитах встречаются идиоморфные кристаллы оливина II генерации (рис. 3). Этот оливин, как и микрокристаллические выделения хромшпинелида и пикроильменита, кристаллизуется непосредственно из кимберлитового расплава в процессе становления кимберлитовых тел. Размер кристаллов идиоморфного оливина может достигать 1 и более мм. Идиоморфные кристаллы оливина II хорошо диагностируются в шлихах и широко используются в качестве минерала-индикатора кимберлитов при шлиховых поисках кимберлитовых тел. Наличие такого оливина в ореолах может свидетельствовать о близости коренного источника. В частности, идиоморфные кристаллы оливина II генерации имеют широкое распространение в ореолах и потоках рассеяния в пределах Бенчимэ-Куойкского кимберлитового поля Якутской алмазоносной провинции. Идиоморфные кристаллы оливина призматического габитуса характерны и для кимберлитоподобных пород. Идиоморфный оливин кимберлитового генезиса уверенно диагностируется по хорошо ограниченному кристаллам дипирамидально-призматической формы (рис. 3). Этот оливин, в отличие от глубинного ксеноморфного оливина мантийного происхождения, кристаллизуются в близповерхностных условиях и непосредственно не связан с процессом глубинного алмазообразования. Поэтому состав оливина II не внесен в эталонную базу программы MineralogicalAnalyses. При этом следует отметить, что состав оливина II широко варьирует по химическому составу, значительно перекрываясь с составом глубинного ксеноморфного оливина из кимберлитов.

Так, по результатам исследования химического состава оливина II генерации из 9 различных кимберлитовых тел Бенчимэ-Куойкского поля следует, что в случае магнезиальных кимберлитов (трубки Обнаженная и Второгодница, дайка Снежная) содержание FeO в минерале варьирует от 5.5 до 14.9 мас. %, составляя в среднем 8.3 мас. %. В случае магнезиально-железистых кимберлитов (трубка Слюдянка, шток Люся) – от 7.5 до 13.5 мас. % (среднее 9.45 мас. %). В случае железистых кимберлитов (дайки Рубиновая, Радужная, Великан-II, штоки Серый и Монтичеллитовый) – от 9.6 до

14.8 мас. % (среднее 11.9 мас. %). Таким образом, по составу оливин II из магнезиальных и магнезиально-железистых кимберлитов наиболее близок оливину из групп САПС и САПВ.

Рассмотренные особенности состава оливина из ксенолитов в кимберлитах, наряду с данными о составе других МИК могут использоваться для оценки потенциальной алмазоносности кимберлитовых тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас коренных месторождений алмаза Якутской кимберлитовой провинции / Отв. редактор Похиленко Н.П. Мирный: МГТ, **2015**. 500 с.

Бовкун А.В. Минералогия оксидов из связующей массы кимберлитов Якутии (генетические и прикладные аспекты). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, **2000**. 22 с.

Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А., Кудрявцева Г.П., Васильева Е.Р., Вержак В.В., Веричев Е.М., Парсадяня К.С., Посухова Т.В. Архангельская алмазоносная провинция. М.: МГУ, **1999**. 524 с.

Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С., Михайличенко О.А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. М.: Изд-во МГУ, **1991**. 240 с.

Каминский Ф.В. Алмазоносность некимберлитовых изверженных пород. М.: Недра, **1984**. 173 с.

Кротков В.В., Кудрявцева Г.П., Богатиков Е.П., Валув Е.П., Вержак В.В., Гаранин В.К., Заостровцев А.А., Кононова В.А., Литинский Ю.В., Пашкевич И.Р., Степанов А.Н., Фортыхин В.С. Новые технологии разведки алмазных месторождений. М.: ГЕОС, **2001**. 310 с.

Лапин А.В., Толстов А.В., Лисицин Д.В. Кимберлитовые и конвергентные породы: формационные петрогеохимические критерии. М.: ИМГРЭ, **2004**. 226 с.

Соболев Н.В., Шведенков Г.Ю., Королюк В.Н., Ефимова Э.С., Похиленко Н.П., Стрехлетов А.Н., Ващенко А.Н. Азот в хромитах и оливинах, сосуществующих с алмазами // Докл. АН СССР. **1989**. Т. 309. № 3. С. 697–701.

Хмельков А.М., Гриценко А.В., Хмелькова Э.А. Совершенствование методов прогнозирования при алмазопроисловых работах на основе современных технологий обработки и разделения составов кимберлитовых минералов на парагенезисы / Мат. Межд. научн. конф. "Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых". Томск: Изд-во Томского политехнического университета, **2010**. С. 546–550.

Хмельков А.М., Гриценко А.В. Разделение составов кимберлитовых минералов на парагенезисы с использованием современных технологий / Мат. IV регион. научно-практич. конф. Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы алмазов: проблемы, пути решения, инновационные разработки и технологии. Мирный, **2014**. С. 241–244.

Хмельков А.М., Власова Э.А. Парагенезисы гранатов из кимберлитов // Вестник ВГУ. Сер. Геология. **2018**. № 4. С. 9–19.

VARIATIONS OF COMPOSITION OF OLIVINE FROM XENOLITES IN KIMBERLITE OF YAKUTIA

E. A. Vlasova^{a,*,} and A. M. Khmelkov^a**

^a*ALROSA, Vilyuiskaya Geological Expedition, Sakha (Yakutia) Republic, Aikhal, Russia*

^{*}*e-mail: kulaninaEA@alrosa.ru*

^{**}*e-mail: st_56@mail.ru*

Chemical composition of olivine of 10 groups selected by diamondiferous degree and petrographic characteristics of host rocks (xenoliths in kimberlites and rocks related to kimberlites) has been analyzed with use of the original program MineralogicalAnalyses. Variations in contents of petrogenic (Mg, Fe, Si) and rare for olivine (Cr, Ni, Ca) elements are considered with some conclusions for estimating the diamondiferous potential of kimberlite bodies.

Keywords: olivine, composition, kimberlite, diamondiferous, Yakutia

REFERENCES

- Atlas of primary diamond deposits in the Yakutian kimberlite province. Ed. Pokhilenko N.P. Mirny: MGT, **2015**. 500 p. (*in Russian*).
- Bovkun A. V. Mineralogy of oxides from the matrix of kimberlites of Yakutia. PhD thesis syn. Moscow: Moscow State University, **2000**. 22 p. (*in Russian*).
- Bogatikov O.A., Garanin V.K., Kononova V.A., Kudryavtseva G.P., Vasilieva E.R., Verzhak V.V., Verichev E.M., Parsadanyan K.S., Posukhova T.V. Arkhangelsk diamondiferous province. Moscow: Moscow State University, **1999**. 524 p. (*in Russian*).
- Garanin V.K., Kudryavtseva G.P., Marfunin S.A., Mikhaylichenko O.A. Inclusions in diamond and diamond-bearing rocks. Moscow: Moscow State University. **1991**. 240 p. (*in Russian*).
- Kaminsky F.V. Diamondiferous non-kimberlitic igneous rocks. Moscow: Nedra, **1984**. 173 p. (*in Russian*).
- Krotkov V.V., Kudryavtseva G.P., Bogatkov E.P., Valuev E.P., Verzhak V.V., Garanin V.K., Zaoztrovsev A.A., Kononova V.A., Litinsky Yu.V., Pashkevich R.I., Stepanov A.N., Fortygin V.S. A new technologies exploration of diamond deposits. Moscow: GEOS, **2001**. 310 p. (*in Russian*).
- Lapin A.V., Tolstov A.V., Lisitsyn D.V. Kimberlite and convergent rocks: formational and geochemical criteria. Moscow, **2004**. 226 p. (*in Russian*).
- Smith C.B., Bulanova G.P., Presser J.L.B. Diamonds from Capibary, Paraguay. In: *X Int. Kimberlite Conf. Extended Abstr.* **2012**. N 10IKC-36.
- Sobolev N.V., Shvedenkov G.Yu., Korolyuk V.N., Efimova E.S., Pokhilenko N.P., Strehkhetov A.N., Vashchenko A.N. Nitrogen in chromites and olivines coexisting with diamonds. *Rep. Acad. Sci. USSR*. **1989**. Vol. 309. N 3. P. 697–701 (*in Russian*).
- Khmelkov A.M., Gritsenko A.V., Khmelkova E.A. Improvement of methods forecasting in diamond prospecting works on the basis of modern technologies of processing and separation of compositions kimberlite minerals on paragenesis. *Mat. Int. Sci. Conf. "Modern problems of geology and mineral exploration"*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, **2010**. P. 546–550 (*in Russian*).
- Khmelkov A.M., Gritsenko A.V. Separation of kimberlite mineral compositions on paragenesis with use of modern technologies. In: *Geological support of the mineral resource base diamonds: problems, solutions, innovation, and technology. Mat. IV Regional Sci.-Pract. Conf. Mirny*, **2014**. P. 241–244 (*in Russian*).
- Khmelkov A.M., Vlasova E.A. Garnet parageneses in kimberlites. *Proc. Voronezh State Univers. Ser. Geology*. **2018**. N 4. P. 9–19 (*in Russian*).