

**ДОМИНИРУЮЩИЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ  
МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ ИНТРУЗИВОВ:  
ГРАВИТАЦИОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ ИЛИ НАПРАВЛЕННАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ?**

**Латыпов Р.М.**

*Департамент наук о Земле, Университет г. Оулу, Финляндия  
e-mail: rais.latypov@oulu.fi*

**THE DOMINANT MECHANISM OF FORMATION OF MAFIC-ULTRAMAFIC  
INTRUSIONS: GRAVITATIONAL SETTLING OR *IN SITU* CRYSTALLIZATION?**

**Latypov R.M.**

*Department of Geosciences, Oulu University, Oulu, Finland  
e-mail: rais.latypov@oulu.fi*

At present the majority of «western» igneous petrologists believe that mafic-ultramafic sills and layered intrusions form mostly by *in situ* crystallization. According to this view, magma chambers have the general form of a central mass of nearly crystal-free magma, which crystallizes inwards from its margins [11-25]. In contrast, the majority of «domestic» igneous petrologists argue that these intrusions are produced by gravity-induced settling of crystals out of the magma with subsequent accumulation on the floor of the chamber [1-3, 5-10]. This study makes an attempt to shed some light on this long-standing petrological problem.

Вопрос о том формируются ли мафит-ультрамафитовые интрузивы путем гравитационного осаждения минералов на дно камеры или посредством направленной кристаллизации от ее стенок является одной из самых длительно обсуждаемых проблем в магматической петрологии. Этот вопрос находился в центре пристального внимания петрологов в течении всего прошлого столетия. В историческом плане, самое мощное влияние на умы всех петрологов мира, занимающихся мафит-ультрамафитовыми интрузивами, произвел, безусловно, фундаментальный труд Уэйджера и Брауна [4], в котором они убедительно обосновали формирование расслоенных массивов (Скаергаард, Стиллуотер, Бушвельд и др.) путем гравитационного осаждения кристаллов, зарождающихся у кровли магматической камеры и доставляемых на дно конвекционными потоками. Простота и ясность этой идеи привели к тому, что она стала доминирующей парадигмой в петрологии расслоенных интрузивов на несколько последующих десятилетий.

Однако к концу 70-х годов прошлого столетия накопились наблюдения по расслоенным интрузивам, которые плохо укладывались в русло данной парадигмы и породили сомнения в ее справедливости. В результате была выдвинута и обоснована альтернативная идея о том, что доминирующую роль в формировании мафит-ультрамафитовых интрузивов играет не гравитационное осаждение, а направленная кристаллизация от стенок магматической камеры [11, 15, 19]. С тех пор пути отечественной и мировой петрологии в области изучения расслоенных интрузивов стали стремительно расходиться: первая продолжила развитие гравитационной модели, а вторая стала активно продвигать модель направленной кристаллизации. Это привело к тому, что к настоящему времени большинство «западных» петрологов полагает, что данные интрузивы образуются преимущественно путем направленной кристаллизации от стенок магматической камеры, главным образом в направлении от ее дна к кровле. Эта модель основывается на многочисленных природных наблюдениях [13, 14, 20, 23-25], оригинальных экспериментальных исследованиях [17-19] и весомых теоретических разработках [12, 16, 22].

В противовес этому, большинство отечественных петрологов в настоящее время считает, что мафит-ультрамафитовые интрузивы формируются путем гравитационного осаждения кристаллов на дно магматической камеры. Твердость данной позиции обусловлена в значительной степени результатами пионерских исследований ведущей отечественной школы петрологов, возглавлявшейся профессором Московского университета А.А. Ярошевским [1-3, 5-10]. Этой школой было проведено углубленное теоретическое исследование, выявившее полную несостоятель-

ность модели направленной кристаллизации и сделан вывод о том, что единственно возможным способом образования расслоенных интрузивов является кристаллизационная дифференциация в варианте гравитационного отделения минералов от расплава. Справедливость этого вывода была продемонстрирована успешным проведением физико-химического моделирования динамики внутрикамерной дифференциации ряда сибирских базитовых силлов в рамках конвекционно-кумуляционной модели [1, 2, 8, 9]. Подобное моделирование в рамках направленной кристаллизации до сих пор еще никем не осуществлено.

Создавшаяся ситуация порождает ряд закономерных вопросов. Кто же прав в этой затянувшейся дискуссии? Не ложен ли путь, по которому все это время развивалась и продолжает развиваться мировая петрология? Или может быть, наоборот, отечественная петрология в течении всего этого периода продвигалась и продолжает продвигаться в тупиковом направлении? В какой области следует искать убедительный ответ на эти и другие вопросы – в теоретических разработках, экспериментальных исследованиях или прямых природных наблюдениях? Как разработать критерии, которые бы позволили нам протестировать эти две полярные гипотезы формирования мафит-ультрамафитовых расслоенных интрузивов?

Попытки разобраться в этой сложнейшей проблеме привели меня к выводу о том, что излишняя категоричность отечественной школы петрологов в отношении модели направленной кристаллизации связана с рядом досадных упущений в теоретическом анализе ее состоятельности. В частности, при моделировании был упущен из виду тот факт [8-10], что направленная кристаллизация не является исключительно диффузионным процессом. Включение в этот процесс композиционной конвекции на границе расплава с кумулятивной толщей [16, 21, 22] позволяет легко преодолеть многие возражения против модели направленной кристаллизации. Более того, совместное действие композиционной и термальной конвекций, наряду с гетерогенной нуклеацией, позволяет понять, почему направленная кристаллизация от дна магматической камеры может вполне оказаться доминирующим процессом формирования магматических тел [12, 17, 18]. В связи с этим остро встает вопрос о необходимости дальнейшего развития физико-химической модели направленной кристаллизации для того, чтобы вывести ее на уровень, достигнутый в моделировании конвекционно-кумуляционного механизма формирования мафит-ультрамафитовых интрузивов. Вместе с тем у меня растет внутренняя уверенность в том, что за конечным решением проблемы нам необходимо будет вернуться к природе – решающий ответ кроется в горных породах, а не в теоретических разработках. Природа готова приоткрыть нам свои тайны. Сумеет ли мы задать ей правильные вопросы – вот в чем ключевая проблема и одновременно задача, стоящая перед петрологами, занимающимися вопросами формирования мафит-ультрамафитовых расслоенных интрузивов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Арискин А.А., Бармина Г.С.* Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. М.: Наука, 2000. 363 с.
2. *Арискин А.А., Ярошевский А. А.* Кристаллизационная дифференциация интрузивного магматического расплава: развитие конвекционно-кумуляционной модели // *Геохимия*. 2006. № 1. С. 80-102.
3. *Коптев-Дворников Е.В., Ярошевский А.А., Френкель М.Я.* Кристаллизационная дифференциация интрузивного магматического расплава: Оценка реальности седиментационной модели // *Геохимия*. 1979. № 4. С. 488-508.
4. *Уэйджер Л., Браун Г.* Расслоенные изверженные породы. М.: Мир, 1970. 552 с.
5. *Френкель М.Я., Ярошевский А.А.* Кристаллизационная дифференциация интрузивного магматического расплава: Диффузионный механизм переноса тепла и вещества // *Геохимия*. 1976. № 8. С. 1197-1203.
6. *Френкель М.Я., Ярошевский А.А.* Кристаллизационная дифференциация интрузивного магматического расплава: Конвекция и условия примерзания // *Геохимия*. 1976. № 11. С. 1624-1632.
7. *Френкель М.Я., Ярошевский А.А.* Кристаллизационная дифференциация интрузивного магматического расплава: Математическое моделирование термики и дифференциации пластового интрузива с учетом оседания твердых фаз // *Геохимия*. 1978. № 5. С. 643-668.
8. *Френкель М.Я., Ярошевский А.А., Арискин А.А. и др.* Динамика внутрикамерной дифференциации базитовых магм: М.: Наука, 1988. 216 с.
9. *Френкель М.Я.* Тепловая и химическая динамика дифференциации базитовых магм. М.: Наука, 1995. 239 с.

10. Ярошевский А.А. Граничные условия механизма формирования ритмической расчлененности дифференцированных магматических комплексов основных и ультраосновных пород // Известия Секции Наук о Земле Российской Академии Естественных Наук. 2007. Выпуск 15. С. 117-131.
11. Campbell I.H. Some problems with the cumulus theory // Lithos. 1978. V. 11. P. 311-323.
12. Campbell I.H. (). Fluid dynamic processes in basaltic magma chambers. // Cawthorn R.G. (eds). Layered Intrusions. Developments in Petrology. 1996. V. 15. Elsevier Science B. V. P. 45-76.
13. Cawthorn R.G., McCarthy T.S. Bottom crystallization and diffusion control in layered complexes: evidence from Cr distribution in magnetite from the Bushveld Complex // Trans. Geol. Soc. S. Africa. 1981. P. 41-50.
14. Eales H.V., Reynolds I.M. Cryptic variations within chromitites of the upper critical zone, northwestern Bushveld Complex // Economic Geology. 1986. V. 81. P. 1056-1066.
15. Jackson E.D. Primary textures and mineral associations in the Ultramafic zone of the Stillwater complex, Montana // US Geol. Surv. Prof. Paper. 1961. V. 358. P. 1-106.
16. Jaupart C., Tait S. Dynamics of differentiation in magma reservoirs // Journal of Geophysical Research. 1995. V. 100. P. 17615-17636.
17. Martin D. Crystal settling and in situ crystallization in aqueous solutions and magma chambers // Earth and Planetary Science Letters. 1990. V. 96. P. 336-348.
18. Martin D., Griffiths, R.W., Campbell I.H. Compositional and thermal convection in magma chambers // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1987. V. 96. P. 465-475.
19. McBirney A.R., Noyes R.M. Crystallization and layering of the Skaergaard intrusion // J. Petrol. 1979. V. 20. P. 487-554.
20. McCarthy T.S., Cawthorn R.G., Wright C.J., McIver J.R. Mineral layering in the Bushveld Complex; implications of Cr abundances in magnetite from closely spaced magnetite and intervening silicate-rich layers // Economic Geology. 1985. V. 80. P. 1062-1074.
21. Sparks R.S.J., Huppert H.E., Turner J.S. The fluid dynamics of evolving magma chambers // Phil. Trans. R. Soc. London, 1984. A310. P. 511-534.
22. Tait S., Jaupart C. The producing of chemically stratified and adcumulate plutonic igneous rocks // Mineralogical Magazine. 1996. V. 60. P. 99-114.
23. Wilson J.R., Larsen S.B. Two-dimensional study of a layered intrusion; the Hyllingen Series, Norway // Geological Magazine. 1985. V. 122. P. 97-124.
24. Wilson J.R., Sorenson H.S. The Fongen-Hyllingen layered intrusive complex, Norway // Cawthorn R.G. (eds). Layered Intrusions. Developments in Petrology. 1996. V. 15. Elsevier Science B. V. P. 303-329.
25. Wilson J.R., Robins B., Nielsen F.M., Duchesne J.C., Vander Auwera J. The Bjerkreim-Sokndal layered intrusion, southwest Norway // Cawthorn R.G. (eds). Layered Intrusions. Developments in Petrology. 1996. V. 15. Elsevier Science B. V. P. 231-255.

## ДОПАЛЕОЗОЙСКИЕ УЛЬТРАБАЗИТЫ И СВЯЗАННОЕ С НИМИ ОРУДЕНЕНИЕ СЫСЕРТСКО-ИЛЬМЕНОГОРСКОГО КОМПЛЕКСА

**Левин В.Я., Золоев К.К., Сергеев Н.С., Самков В.С.**  
ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция», Екатеринбург, Россия  
e-mail: levin@ugse.isnet.ru

## PREPALEOZOIC ULTRABASITES AND RELATED ORES OF THE SYSERT-ILMENY COMPLEX

**Levin V.Ya., Zoloev K.K., Sergeev N.S., Samkov V.S.**  
JSC «Urals Geological Survey Expedition», Ekaterinburg, Russia  
e-mail: levin@ugse.isnet.ru

Prepaleozoic ultrabasics are located in all metamorphic layers of the complex. Ultrabasics of the Archaie-Proterozoic core of the complex are presented by enstatite-olivine rocks, which are replaced in miscellaneous degree with lizardite and chrysolite. Ultrabazity of the buldymic groups are fenitized and intruded with the raremetals carbonatites near Vishnevogorskoy alkaline massive. Enstatite-