

В. Е. Филиппов¹, Б. Б. Герасимов²¹ Институт горного дела Севера СО РАН, г. Якутск, Россия² Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия**РОЛЬ КАУСТОБИОЛИТОВ В ОБРАЗОВАНИИ СИЛЛОВ**

Аннотация. Представлена модель формирования силлов при прохождении магмы через естественные хранилища каустобиолитов в осадочных толщах. Показана значительная роль процессов природного крекинга и пиролиза нафтен в повышении внутрипластового давления. Предполагается, что гипераномальное давление, взрывообразно возникшее в результате процессов крекинга и пиролиза, упирается в непроницаемую для газов кровлю природного вместилища каустобиолитов и воздымает вышележащие толщи. В результате этого вдоль наиболее ослабленного контакта горизонта нефтегазоносного пласта происходит межпластовый разрыв. При этом в полость, открывшуюся гипераномальным давлением, втягивается расплав магмы. Её проникновение по разрыву приводит к площадному прогреву вместилища углеводородов и продвижению зоны гипераномального давления впереди фронта внедрения силла. С точки зрения этой модели можно объяснить такие противоречия как наличие признаков внедрения силлов под воздействием кратковременного аномально высокого давления и, одновременно с этим, отсутствие каких-либо признаков разрушения приконтактных горизонтов вмещающих толщ.

В некоторых случаях парциальное давление смеси агрессивных перегретых газов состоящих из водорода и непредельных углеводородов достигало, вероятно, величин достаточных для восстановления металлов из сульфидов приконтактных толщ вмещающих пород. Этим и объясняется приуроченность участков с повышенным содержанием самородных металлов и интерметаллических соединений (Cu, Fe, Zn, Sn, Hg, CuZn, CuAs, PbSb, Ni₃Sn и др.) к регионам распространения битуминозных толщ. Данный тип минералообразования предлагается определить как «пиролизогенный».

Ключевые слова: силлы, каустобиолиты, нафтен, крекинг, внутрипластовое давление, пиролиз.

V. E. Filippov¹, B. B. Gerasimov²¹ Institute of Mining of the North, SB RAS² Institute of Diamond and Precious Metal Geology, Siberian Branch, SB RAS**ROLE OF CAUSTOBIOLITHS IN SILL FORMATION**

Abstract. The article present the model of sill formation during magma transit through natural reservoirs of caustobioliths. A significant contribution of the processes of natural cracking and pyrolysis of naphthenes to increased intrastratal pressure is shown. It is supposed that hyper-abnormal pressure, explosively arisen as a result of cracking and pyrolysis, abuts against a roof of a natural reservoir of caustobioliths, impermeable for gases, and

ФИЛИППОВ Виталий Егорович – д.г.-м.н., в.н.с. Института горного дела Севера СО РАН.

E-mail: ivleb@mail.ru

FILIPPOV Vitaly Egorovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Institute of Mining of the North SB RAS.

E-mail: ivleb@mail.ru

ГЕРАСИМОВ Борис Борисович – к.г.-м.н., с.н.с. Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН.

E-mail: bgerasimov@yandex.ru

GERASIMOV Boris Borisovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences – Senior Researcher, Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS.

E-mail: bgerasimov@yandex.ru

elevates the overlying strata. As a result, an interstratal fracture occurs along the most slacked contact of the horizon of the hydrocarbon-bearing bed. In addition, magma melt enters this cavity, opened by hyper-abnormal pressure. Its penetration through the fracture results in area heating of hydrocarbon reservoir and advance of the zone of hyper-abnormal pressure in front of sill intrusion. This model can explain such contradictions as indications of sill intrusion under the impact of short-term abnormal high pressure, and at the same time, the absence of any signs of disruption of near-contact horizons of enclosing rocks.

In some cases, partial pressure of mixed aggressive superheated gases, consisting of hydrogen and unsaturated hydrocarbons probably reached values sufficient for metal recovery from sulfides of near-contact strata of enclosing rocks. This explains confinedness of areas with increased content of native metals and intermetal compounds (Cu, Fe, Zn, Sn, Hg, CuZn, CuAs, PbSb, Ni₃Sn etc.) to the regions of bituminous strata distribution. This type of mineral formation is suggested to refer to the results of “pyrolysis” processes.

Keywords: sills, caustobioliths, naphthenes, cracking, interstratal pressure, pyrolysis.

Введение

В объяснении механизма внедрения пластовых интрузий популярны несколько гипотез. Согласно одной из них [1], возникновение силлов происходит при опускании блоков пород над участками пониженного давления и заполнения магмой полостей, образовавшихся в результате расслаивания опускавшегося блока. Эта гипотеза предполагает формирование силлов при «отрицательном» гидростатическом давлении, возникающем в пространстве, примыкающем к разломам по которым внедряются дайки долеритов (гранитоидов), так как расход магмы в очаге приводит к разряжению подкорового давления. Однако, к настоящему времени установлено, что нарушение сил, действующих на кровлю магматического очага, приводит к образованию кольцевых интрузий, а также роя даек. В соответствии с другой точки зрения, формирование силлов обусловлено избыточным давлением внутрикоровой магмы [2, 3]. К примеру, В.В. Белоусов (1954) считает: «расплав внедряется в осадочную толщу, как нож между листами книги». Иными словами предполагается расклинивание горизонтов отложений вдоль границ их напластований аномально высокими давлениями магмы. По предположению В.Г. Васильева с соавторами «предпочтение» траппов внедрению по горизонтали вертикальному происходит на структурах, где в осадочных толщах возникают горизонтальные трещины, обусловленные тектоническим сжатием [4]. При этом считается, что в зонах растяжения должны формироваться дайковые поля или эффузивные покровы без силлов. Этому положению противоречат утверждения Н.В. Короновского и Н.А. Ясаманова, согласно которым для того чтобы магма внедрялась в слои осадочных пород необходимы условия тектонического растяжения, как это происходило в краевых областях Тунгусской синеклизы [7].

Первые две гипотезы являются взаимоисключающими, а относительно последней следует отметить, что известны регионы, где тесно совмещены поля распространения силлов, даек и эффузивных покровов. Таким образом, среди исследователей нет единства мнений по поводу условий и механизма формирования силлов.

В работе [5] описывается наличие в пермских конгломератах кварцитовых галек с янками вдавливания и расходящихся от них трещинами, то есть раздавленных галек. Происхождение их автор статьи увязывает с внедрением силлов, обусловивших кратковременное, но сильное механическое напряжение, испытанное осадочной толщей. Между тем известно, что контакты силлов, как правило, весьма отчетливы и обычно не несут каких либо следов вовлечения в движение, граничащих с ними вмещающих отложений. Также нередко тело силлов может переходить по вертикальным трещинам из одного горизонта толщ в другой и при этом не отмечается каких либо видимых причин обусловивших это. Одновременно с этим выявляется совмещенность полей силлов с регионами распространения битуминозных толщ. В связи с этим предполагается важное значение каустобиолитов при формировании силлов.

Результаты и обсуждение исследований

Предлагается следующая схема внедрения силлов в осадочные толщи, состоящая из нескольких этапов (рис. 1).

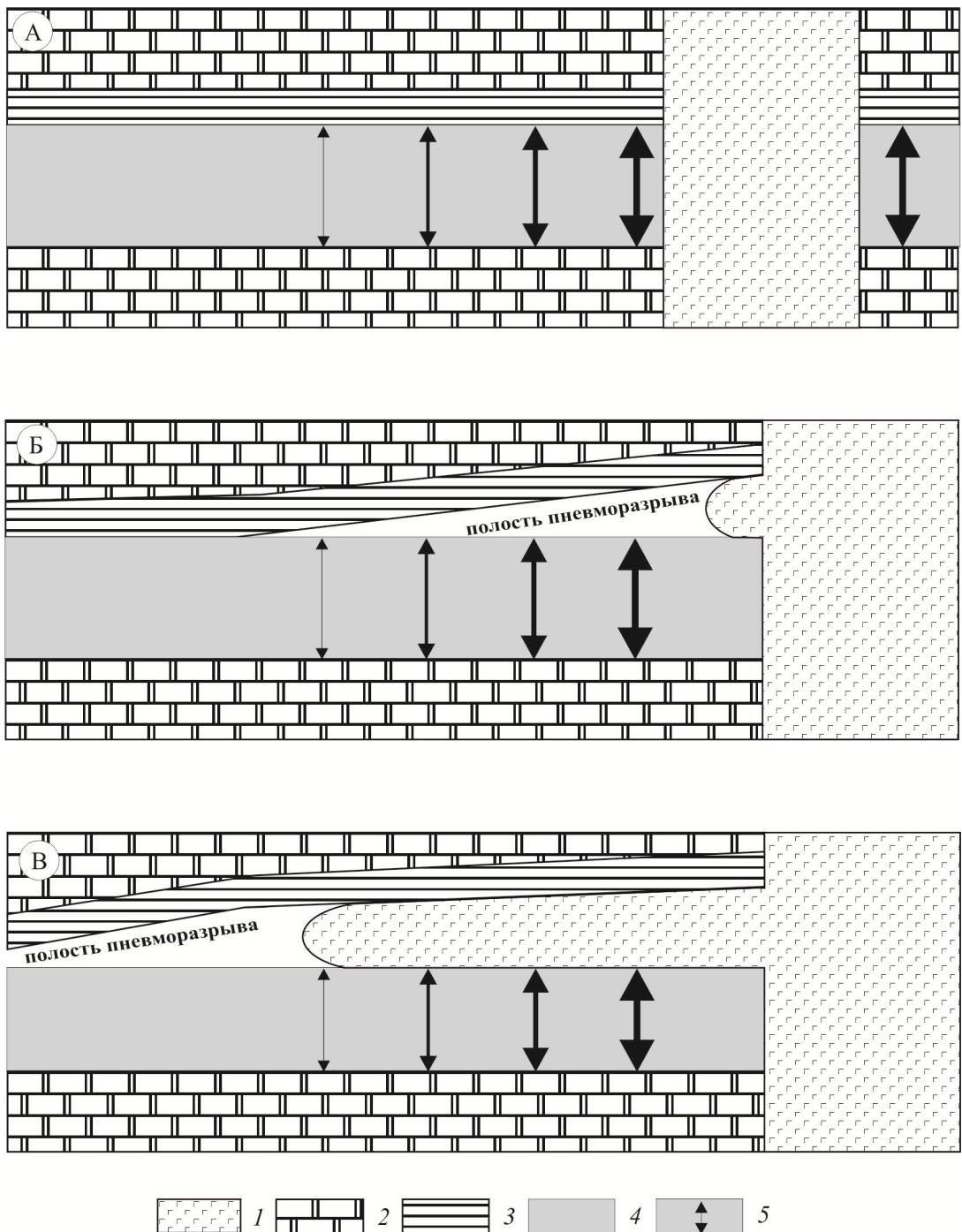


Рис. 1. Модель формирования силлов при прохождении магмы через естественные хранилища каустобиолитов в осадочных толщах:

А – первый этап: прохождение магмы через пласт, каустобиолитов; Б – второй этап: образование межпластового разрыва; В – третий этап: внедрение магмы по полости разрыва и образование силла; 1 – магма, 2 – вмещающие породы, 3 – непроницаемый пласт, 4 – пласт, содержащий каустобиолиты, 5 – относительное повышение внутрипластового давления за счет прогрета каустобиолитов

Пересечение магмой естественных хранилищ каустобиолитов сопровождается, как и всей остальной части приконтактовых зон, прогревом. В результате этого в пределах пласта с угле-

водородами происходит резкое повышение давления. Причем величина его будет во много крат превышать давление, определяемое по закону Шарля, согласно которому оно возрастает на 1/173 с повышением температуры на каждый градус. В сравнении с этой величиной несоизмеримо большой вклад в повышении давления вносят газы образованные: 1 – из жидкостей пласта прогретых до и выше их критической температуры; 2 – как продукты пиролиза нефти и гомологов метана.

Температура базальтовой магмы составляет более 1000 °С и, следовательно, в приконтактной зоне происходит прогрев углеводородных веществ до и выше критической температуры. К примеру, для этана эта температура составляет 32 °С, для пентанов 197 °С, для керосиновой фракции – от 140 до 220 °С, а для дизельной – от 180 до 350 °С. Как видно из приведенного списка существует достаточно много жидкостей, которые могут в зоне экзоконтакта магмы перейти в газообразное состояние и принять участие в повышении внутрипластового давления. Здесь следует учесть, что указанные значения справедливы к индивидуальным соединениям. В природных условиях встречаются, как правило, смеси. Вычисленная для неё температура носит название псевдокритической и определяется как сумма произведений критических температур (абсолютных) отдельных компонентов, составляющих смесь, на их молекулярную концентрацию. Следовательно, чем больше в природном месторождении относительная концентрация низкомолекулярных углеводородов, тем большее количество высокомолекулярных углеводородов вовлекается в газообразование.

Последнее усугубляется процессами природного крекинга, который может начать проявляться при температуре 500 – 600 °С в результате чего, некоторая часть тяжелых фракций нефти распадается на легкие.

В соответствии с изложенным вклад в повышении давления жидких веществ пласта и продуктов процессов крекинга, прогретых до и выше критической температуры может быть выражена как:

$$Pk = pkT \frac{1}{273},$$

где pk – псевдокритическое давление перегретой смеси жидкостей; T – температура перегретой смеси паров.

Существенное увеличение внутрипластового давления произойдет за счет пиролиза [6], начинающего проявляться в нормальных условиях с нескольких сотен градусов по Цельсию. Согласно закона Авогадро, вклад в давление каждого расщепленного компонента нефти или гомолога метана повысится во столько раз, во сколько образуется новых газообразных веществ при их деструкции. Количество фракций нефти, вовлеченных в пиролиз, и степень их деструкции повышаются с увеличением температуры. Среди новообразованных газов появляются водород и непредельные углеводороды, обладающие высокой восстановительной способностью.

Таким образом, создается впечатление, что в приконтактной зоне природного месторождения каустобиолитов и внедряющейся магмы может возникнуть кратковременное гипераномальное давление соответствующее вычисленному индивидуальному газу, при определенной температуре помноженному на количество новообразованных газов и, плюс к этому, давление смеси перегретого пара.

Вполне очевидно, что чем выше концентрация фракций нефти в приконтактной зоне магмы, тем выше величина гипераномального давления. Правомерно предположить, что в системы трещин, предшествовавших внедрению даек, устремлялись нефть и газ. В некоторых случаях нефть и продукты обратной конденсации могли заполнять собой все полости трещин, и кроме этого, в повышенных концентрациях скопиться вблизи них. Следовательно, к моменту внедрения магмы создаются дополнительные условия для возникновения гипераномального давления в зоне контакта естественного хранилища каустобиолитов и внедряемой магмы.

Резкое, взрывообразно возникшее гипераномальное давление упирается в непроницаемую для газов крышку природного месторождения каустобиолитов, и не успев рассосаться, по горизонтали, воздымает вышележащие толщи. В результате этого вдоль наиболее ослабленного контакта горизонта нефтегазоносного пласта произойдет межпластовой разрыв. В первоначальный

момент давление газов в возникшей полости может быть настолько сильным, что часть газов будет «вдавлена» в магму. Вероятно, в некоторых случаях происхождение, обнаруживаемой в магме углеводородов [8], объясняется именно этим.

Газы, удаляясь вдоль полости от приконтактовой зоны магмы охлаждаются и, вследствие этого, сжимаются в объёме. Это может происходить настолько быстро, что полость, открывшаяся гипераномальным давлением не успевает захлопнуться и в неё втягивается расплав магмы. Проникновение её по разрыву приводит к площадному прогреву вмещающего углеводородов и продвижению зоны гипераномального давления впереди фронта внедрения силла. С точки зрения этой модели можно объяснить такие противоречия как наличие признаков внедрения силлов под воздействием кратковременного аномально высокого давления и, одновременно с этим, отсутствие каких-либо признаков разрушения приконтактовых горизонтов вмещающих толщ. Нет следов, по которым можно было бы сказать, что магма внедрялась, преодолевая сильнейшее сопротивление осадочных толщ. Происходит процесс аналогичный втягиванию жидкости в шприц. Отсюда, мощность пласта силла будет зависеть от величины открываемой полости, которая, в свою очередь, будет зависеть от состава, количества и концентраций каустобиолитов в природном вмещающем, а также мощности перекрывающих толщ. Процессы крекинга и пиролиза могут протекать и после внедрения магмы будущего силла, продолжительность и глубина проявления будут зависеть от мощности силла, толщины нефтегазоносных или угленосных толщ.

В некоторых случаях парциальное давление смеси агрессивных перегретых газов состоящих из водорода и непредельных углеводородов достигало, по-видимому, таких величин, что было достаточным для восстановления металлов из сульфидов приконтактовых толщ вмещающих пород. Этим и объясняется, вероятно, приуроченность участков с повышенным содержанием самородных металлов и интерметаллических соединений (Cu, Fe, Zn, Sn, Hg, CuZn, CuAs, PbSb, Ni₃Sn и др.) к регионам распространения битуминозных толщ. Данный тип минералообразования можно выделить в отдельный и определить его как «пиролизогенный».

Заключение

Предлагаемая модель формирования силлов позволяет:

- объяснить быстрое преобразование в больших количествах тяжелых фракций каустобиолитов в легкие;
- раскрыть механизм рассеяния и миграции газов с подвижными фракциями нефти из материнских пластов в регионах развития силлов;
- понять причины обогащения нефтеносными соединениями с серой неорганического происхождения;
- пояснить происхождение самородных металлов и их природных сплавов в осадочных и магматических породах.

Литература

1. Левиссон-Лессинг Ф.Ю., Гинзберг А.С., Дилакторский Н.Л. Траппы Тулуно-Уджинского и Братского районов в Восточной Сибири // Труды Совета по изучению производительных сил АН СССР. – 1932. – вып. 1.
2. Белоусов В.В. Основы геотектоники. – М.: Недра, 1989. – 382 с.
3. Полканов А.А. Генетическая систематика интрузий платформы – кратогена / А.А. Полканов // Известия АН СССР. Сер. геол. – 1946. – № 6. – С. 5-28.
4. Васильев В.Г., Ковальский В.В., Черский Н.В. Проблема происхождения алмазов. – Якутск: Якуткнигоиздат, 1961. – 152 с.
5. Милашев В.А. К вопросу о механизме внедрения силлов // Информац. бюлл. Инст. геол. Арктики. – 1959. – С. 34-38.
6. Солоненко В.П. Происхождение и классификация месторождений графита / В.П. Солоненко // Известия СО АН СССР. – 1958. – № 5. – С. 12-18.
7. Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. Геология. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 448 с.
8. Минский Н.А. К вопросу о происхождении битуминозных веществ в интрузивных породах / Н.А. Минский, М.Н. Саидов // Геология нефти и газа. – 1961. – № 5. – С. 28-34.

References

1. Levisson-Lessing F.YU., Ginzberg A.S., Dilaktorskij N.L. Trappy Tuluno-Udzhinskogo i Bratskogo rajonov v Vostochnoj Sibiri // Trudy Soveta po izucheniyu proizvodstvennyh sil AN SSSR. – 1932. – vyp. 1.
2. Belousov V.V. Osnovy geotektoniki. – M.: Nedra, 1989. – 382 s.
3. Polkanov A.A. Geneticheskaya sistematika intruzij platformy – kratogena / A.A. Polkanov // Izvestiya AN SSSR. Ser. geol. – 1946. – № 6. – S. 5-28.
4. Vasil'ev V.G., Koval'skij V.V., CHerskij N.V. Problema proiskhozhdeniyaalmazov. – YAkutsk: YAkutknigoizdat, 1961. – 152 s.
5. Milashev V.A. K voprosu o mekhanizme vnedreniya sillovo // Informac. byull. Inst. geol. Arktiki. – 1959. – S. 34-38.
6. Solonenko V.P. Proiskhozhdenie i klassifikaciya mestorozhdenij grafita / V.P. Solonenko // Izvestiya SO AN SSSR. – 1958. – № 5. – S. 12-18.
7. Koronovskij N.V., YAsamanov N.A. Geologiya. – M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2011. – 448 s.
8. Minskij N.A. K voprosu o proiskhozhdenii bituminoznych veshchestv v intruzivnyh porodah / N.A. Minskij, M.N. Saidov // Geologiya nefi i gaza. – 1961. – № 5. – S. 28–34.