

местам расположения вулканических конусов, хотя эта связь менее выражена. Следует заметить, что общий уровень радиационного фона не достигает сколько-нибудь высоких (и тем более опасных) пределов. То же можно сказать и об электростатическом поле. Однако результаты измерений могут считаться достоверными и информационными, поскольку при проведении осуществлялся необходимый контроль получаемых данных путём многократных повторных замеров.

Результаты измерений на Бугазском полигоне оказались менее выразительными, хотя определённая корреляция между данными электрометрии, радиометрии и величиной уровня выхода водорода также имеет место. Некоторая видимая неопределённость при анализе данных измерений на Бугазском полигоне, возможно, оказалась обусловленной большим видовым разнообразием грязевулканических проявлений на территории этого полигона. Что же касается большей «выразительности» результатов измерений на Темрюкском полигоне, то, вероятно, тут сыграло свою роль и то обстоятельство, что в день проведения измерений на Темрюкском полигоне, а именно 5.09.2007 г. в период между 8 и 14 часами по московскому времени произошло слабое местное землетрясение энергетического класса $K=8.5$, которое было зарегистрировано сейсмической станцией Анапа в 11:41 UT (14:41 MSK). Эпицентр землетрясения находился на акватории Чёрного моря. Совпадение по времени периода проведения геофизических наблюдений и сейсмопроявления позволяет сделать заключение о том, что в данном случае изменение напряжённого состояния горных пород в верхней части земной коры, которое проявилось в появлении зарегистрированных аномалий радиации и напряжённости электростатического поля, было обусловлено подготовкой землетрясения или, возможно, его форшоками.

Хорошую корреляцию данных геофизических наблюдений между собой и «привязку» их к местам расположения вулканических построек можно предположительно интерпретировать как известный сейсмологам феномен «коллективного поведения» признаков-предвестников, что является характерной особенностью завершающей стадии процесса подготовки сильных землетрясений. Следует также заметить, что в течение двух дней перед зарегистрированным сейсмическим событием, а именно 3 и 4 сентября, наблюдалось необычное скопление медуз больших размеров (до 40-60 см в диаметре) вблизи Таманского побережья Чёрного моря на всём его протяжении от Керченского пролива до Анапы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Холодов В.Н, О природе грязевых вулканов Интернет-страница EduSearch.RU, 23.10.2007г.
2. Шнюков Е.Ф. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. Краснодар: ГлавМедиа, 2006. 176 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА БАЗЕ ГЛУБОКИХ И СВЕРХГЛУБОКИХ СКВАЖИН

Жигалин А.Д.¹, Беляков А.С.², Лавров В.С.², Николаев А.В.^{1,2}, Севальнев А.В.¹

¹Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, zhigalin@land.ru

²Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, askbel@ifz.ru

В настоящее время глубокие и сверхглубокие скважины, к сожалению, мало используются для проведения геофизического мониторинга с целью изучения процессов, происходящих в земной коре и связанных с подготовкой сильных землетрясений, а также иных катастрофических процессов. Предпочтение традиционно отдаётся организации наблюдательных полигонов на поверхности и, в редких случаях, в горных выработках.

Во всём мире к настоящему времени пробурено свыше 400 глубоких (глубиной до 3-7 км) и сверхглубоких (глубиной свыше 7 км) скважин. После завершения бурения сверхглубоких скважин они преобразуются в постоянно действующие геолого-геофизические лаборатории. Такие лаборатории в настоящее время существуют на базе Кольской СГ-3 (доступная глубина до 8 км), Уральской СГ-4 (глубина около 7 км) и Воротиловской (доступная глубина 5 км) скважин в России и скважины КТБ-Оберпфальц (глубина около 9 км) в Германии. Оценивая подходы к изучению недр, можно отметить, что на базе глубоких скважин возможно создание, в дополнение к наземной, международной опорной сети глобального мониторинга с целью выявления предвестников землетрясений и других опасных эндогенных и экзогенных процессов, а также решения национальных задач оборонного значения.

Геофизические наблюдения, проводимые в скважинах, имеют ряд преимуществ перед наземными наблюдениями, позволяющими значительно расширить возможности геофизического мониторинга процессов подготовки сильных землетрясений и других природных и техногенных негативных проявлений, которые сводятся к следующему:

➤ скважинные геофизические наблюдения осуществляются в обстановке существенно меньшего воздействия геофизических шумов, связанных с влиянием земной поверхности;

➤ измерения, проводимые в скважинах, позволяют выявлять тонкие вариации геофизических полей, связанные как с локальными, так и с глобальными геодинамическими процессами, дают возможность разделять локальные и глобальные составляющие наблюдаемых геодинамических процессов;

➤ сопоставление результатов наблюдений в скважинах с аналогичными наблюдениями за естественными и техногенными воздействиями на земную кору, проводимыми на поверхности и в горных выработках, позволяет идентифицировать влияние отдельных факторов и осуществлять мониторинг состояния земной коры, выявлять предвестниковые эффекты, указывающие на подготовку катастрофических явлений, а также количественно оценивать интенсивность (магнитуду, энергетический класс) произошедших катастроф.

Геофизические методы используются для прогнозирования сейсмических, геодеформационных, тектонических и других процессов, а также связанных с ними негативных по своим последствиям экзогенных геологических проявлений. В условиях интенсивного техногенного воздействия такого рода прогнозирование требует разработки специальных методов контроля. В то же время уже существующие подходы к исследованию отдельных явлений могут быть стандартизованы и использованы в целях прогнозирования катастрофических геодинамических процессов, в том числе сильных землетрясений.

Географическое положение и особенности (например, повышенная чувствительность к сейсмическим и/или техногенным воздействиям) геологического разреза в местах расположения глубоких Кольской СГ-3, Уральской СГ-4 и Воротиловской скважин, позволяют получать уникальные данные об изменениях характеристик геофизических полей в пределах части акватории Полярного бассейна, в центральной России, а также на примыкающей территории Восточной Европы. Это особенно важно при теперешней беспокойной геополитической обстановке, характеризующейся стремлением наших «партнеров» осуществить планы военного присутствия НАТО непосредственно около границ нашего государства (в Чехии, Польше, на Украине и в Грузии и попытками, поощряемых своими правительствами, проникновения иностранных монополий в пределы Арктического бассейна, значительная часть которого ныне принадлежит России.

Анализ большого массива данных, полученных в разных регионах страны: в городах Обнинск, Кисловодск, Петропавловск-Камчатский, Заполярный (Кольская сверхглубокая скважина СГ-3), в долине р. Баксан (штольня Нейтринной обсерватории) и в Нижегородской области (Воротиловская глубокая скважина и скважина Спутник) позволил выявить некоторые устойчивые закономерности вариаций акустического излучения, их связь с земными приливами. Некоторые из обнаруженных закономерностей были «приняты на вооружение» и теперь практически используются в качестве признаков-предвестников в схеме прогноза землетрясений, реализуемой, например, на Камчатском прогностическом полигоне. Однако далеко не все выявленные особенности, находят в настоящее время хотя бы качественное объяснение. Так, например, остается невыясненной причина доминирующего влияния на вариации сейсмоакустической эмиссии солнечного компонента приливной деформации, величина которого в среднем меньше лунной составляющей. Особый интерес представляют временные изменения сейсмоакустического отклика на земной приливы и их связь с эндогенными и экзогенными воздействиями на земную кору. Определение причин, с учётом которых можно было бы объяснить наблюдаемые факты, должно способствовать более глубокому пониманию процессов, влияющих на изменение напряженного состояния горных пород и возникновение деформаций в пределах верхней части земной коры.

В период времени с 2005 по 2006 гг. на Кольской сверхглубокой скважине СГ-3 осуществлялся двухуровневый сейсмоакустический мониторинг с установкой приборов на поверхности вблизи скважины и на глубине 3050 м. Длительные наблюдения проводились с целью обнаружения сигналов, которые можно было бы рассматривать в качестве признаков-предвестников сильных удалённых землетрясений. Для измерения уровня сейсмоакустической эмиссии применялись специальные оригинальные магнитоупругие геофоны с высокой чувствительностью. В результате проведенных работ была получена непрерывная запись (последовательный ряд регистрограмм) временных вариаций интенсивности акустического шума за период наблюдений с 19 октября 2005 г. по 21 февраля 2006 г.

При анализе регистрограмм был выявлен ряд особенностей сейсмоакустического шума. Так, было установлено, что регулярно в выходные дни интенсивность акустического шума в сейсмическом диапазоне с полосой частот 0,3-10 Гц заметно ниже, чем в рабочие дни. В полосе 500 Гц на глубине 3050 м был отмечен аномально высокий (по сравнению с другими частотными полосами) уровень шума, ночные вариации которого очень хорошо синхронизированы с ночными вариациями мощности солнечного компонента приливной деформации. Регулярное дневное повышение уровня акустического шума, не синхронизированное с приливной деформацией, проявляющееся в виде вариаций с периодом 480 мин, оказалось связанным с трехсменным режимом работы местного горно-металлургического комбината. Необходимо также отметить, что в частотной полосе 500 Гц в скважине и на поверхности наблюдаются аномально высокие амплитуды смещений с сильно выраженным низкочастотным трендом, на фоне которого суточные вариации визуально не обнаруживаются. На фоне наблюдаемых в скважине и на поверхности вариаций акустического шума хорошо заметны ежедневные регулярные выбросы, которые регистрировались, как правило, около 6 и 15 часов по местному времени (в 3 и 12 часов до 30 октября и в 4 и 13 часов после 30 октября по Гринвичу). В указанные моменты времени ежедневно в течение получаса происходит от трех до

восми выбросов, которые очень похожи на взрывы под землей и в карьерах. Регистрограмма дневных взрывов представлена на рис. 1 (А). В среднем взрывные процессы характеризуются повышением уровня шума в 10 и более раз по сравнению с его фоновым значением. Было установлено, что с местным декретным временем синхронизируется не только время взрывов, но и время перерывов между тремя суточными максимумами акустического шума.

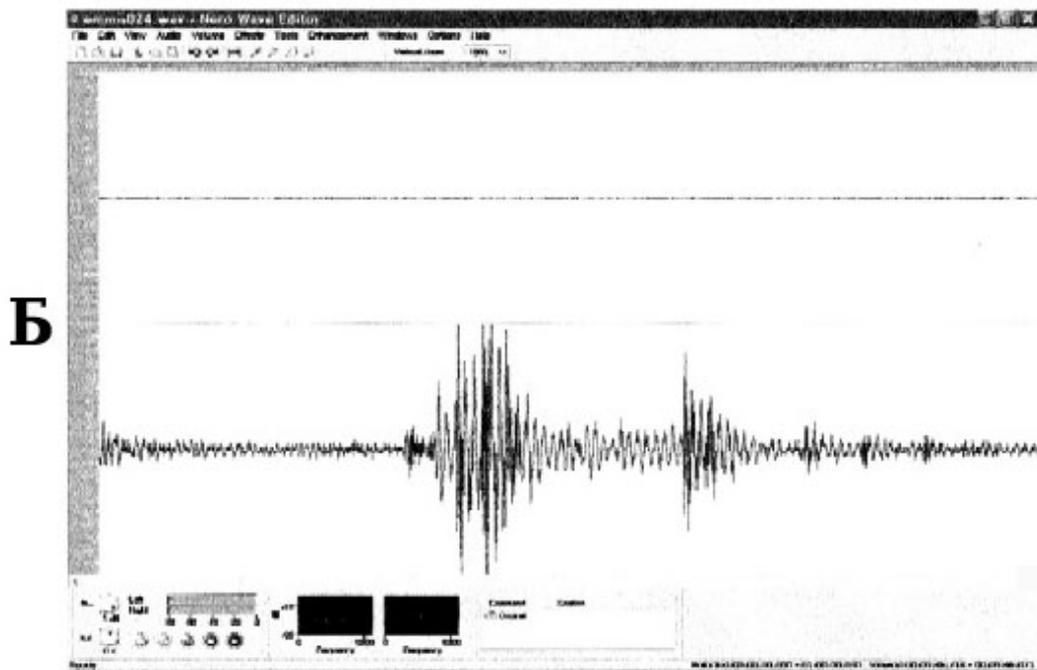
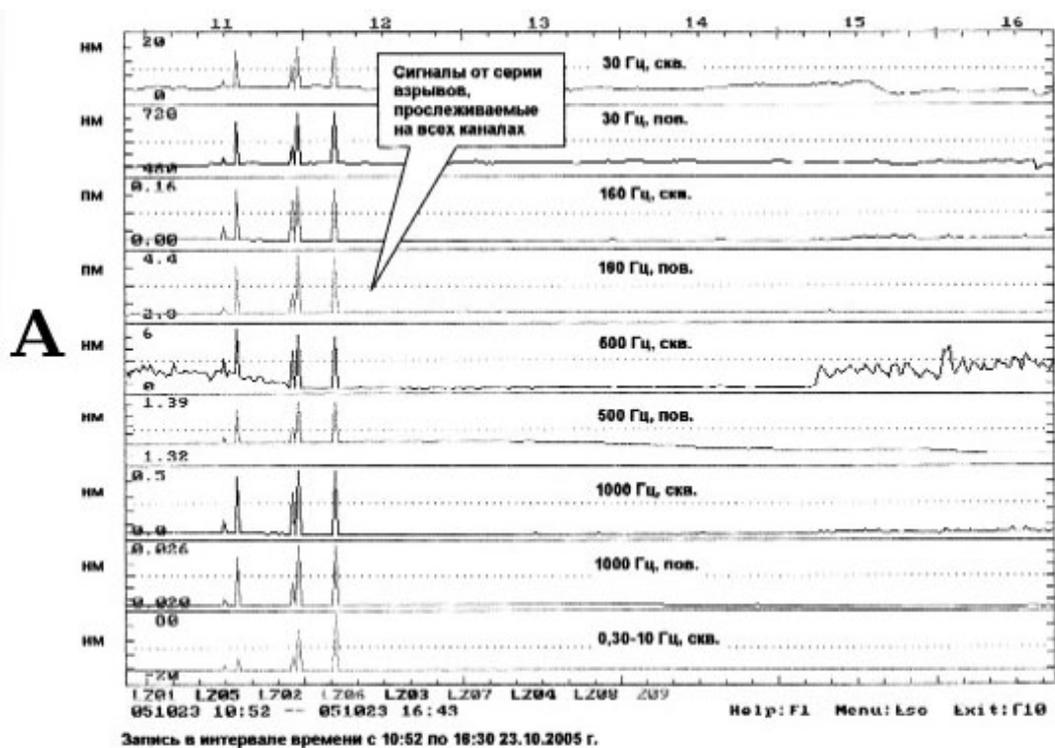


Рис. 1. Примеры регистрации сейсмоакустических колебаний в глубоких скважинах:

А – регистрограммы акустического сигнала, полученные в Кольской скважине СГ-3 в частотных диапазонах 30, 160, 500, 1000 и 0,30-10 Гц, на которых видны записи сигналов удаленных промышленных взрывов; Б – регистрограммы с записями волновых форм сейсмоакустического сигнала при подготовке и развитии микроземлетрясений в полночное время на глубине 553 м в полосе частот более 5 кГц

Так, было установлено, что антропогенный шум города в скважине обнаруживает себя на частотах 0,3-10 Гц регулярным и существенным снижением уровня в субботние и воскресные дни. Техногенный шум, как уже упоминалось выше, синхронизируется с технологическим регламентом горно-металлургического комбината, тяжелое оборудование которого работает в три смены по 8 часов без выходных дней. Трехсменный производственный ритм (по данным мониторинга) был нарушен только один раз перед началом нового 2006 года, когда в течение нескольких часов кряду наблюдался типичный эндогенный шум и сопутствующие ему акты сейсмоакустической эмиссии. Полученный неожиданный результат показал, что относительно слабые антропогенные и техногенные воздействия регулярно регистрируются на глубине 3050 м при значительном удалении (около 6 км) от их источника. Это свидетельствует об особой чувствительности разреза к колебаниям сейсмоакустического диапазона, с одной стороны, и, с другой стороны, о необходимости проведения детальных специальных исследований распределения акустического шума по глубине скважины в суточном ритме. Этот результат также показывает возможность использования сейсмоакустических измерений для регистрации сигналов других техногенных источников, в том числе находящихся на значительном удалении от скважины.

С целью изучения временных изменений сейсмоакустического отклика на земной прилив и их связь с эндогенными и экзогенными, в том числе техногенными, воздействиями на земную кору в 2007 году на основе Воротиловской глубокой скважины (ВГС) и скважины Спутника (СС) было начато создание постоянно действующей геоакустической обсерватории. В ВГС на глубине 2200 м в открытом стволе (без обсадной трубы) в кристаллических породах, составляющих фундамент центральной части Восточно-Европейской платформы, был установлен широкополосный магнитоупругий геофон новой конструкции, позволяющий измерять вертикальную составляющую вектора скорости ускорения в продольной акустической волне. Исследования, проведенные в Воротиловской глубокой скважине и скважине Спутник, показали, что обе скважины свободны от техногенных. Это позволило выполнить в этих скважинах геоакустические измерения с использованием высоко чувствительной регистрирующей аппаратуры (магнитоупругих геофонов) с максимальной эффективностью. Примерный уровень чувствительности

при регистрации высокочастотных акустических колебаний имеет пределы от 1,1 до 1,9 фм (10^{-15} м). Обращает на себя внимание то обстоятельство, что даже для таких, ничтожных по амплитуде сейсмических событий, четко прослеживается процесс их подготовки. Приведенный пример также показывает, что расположение скважин Воротиловской скважины и скважины Спутник в центральной части обширной Восточно-Европейской платформы является благоприятным по своим условиям для корректного изучения фоновых характеристик естественного сейсмоакустического шума. Обе скважины удалены от городов, железных дорог и линий электропередач. Ближайшим источником постоянного техногенного акустического шума является Волжская ГЭС и эпизодического – паводковый водосброс. Эти источники расположены на удалении более 30 км и легко контролируются. В результате проведенных измерений удалось получить в цифровом виде данные, передающие с мельчайшими подробностями картину волновых форм сейсмоакустического сигнала при подготовке и развитии небольших сейсмоакустических событий – микроземлетрясений на различных глубинах. Пример регистрируемой с записями такого рода событий приведен на рис. 1 (Б), где показан регистрировавшийся в течение часа в полночное время в скважине Спутник глубине 553 м сейсмоакустический процесс в полосе час-

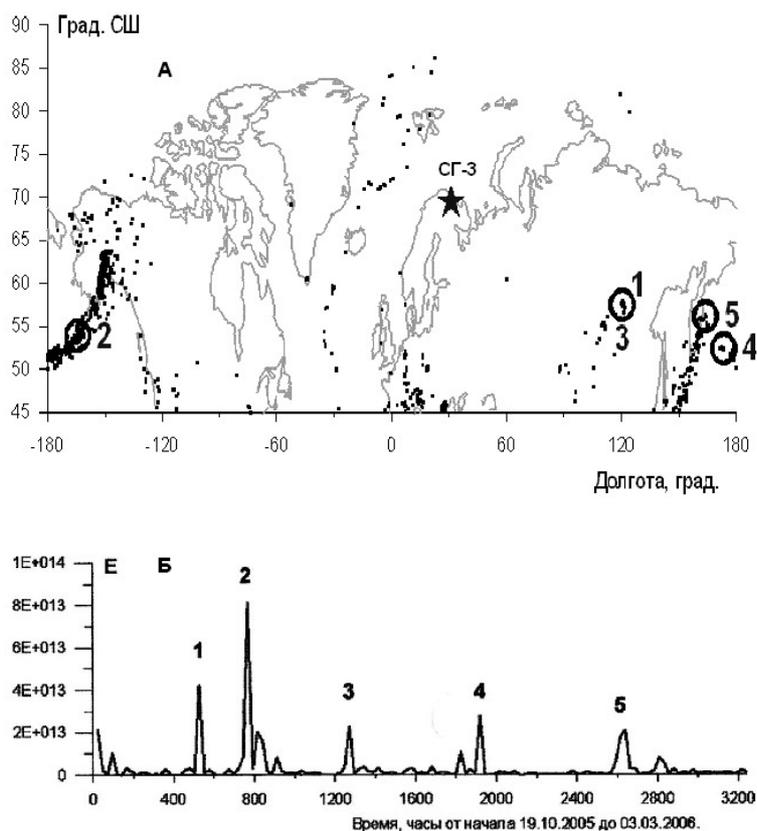


Рис. 2. Сейсмичность в Северном полушарии выше 45 градусов СШ с эпицентрами землетрясений за период времени 19.10.2005 г. – 03.03.2006 г.

(А). Выделены события, характеризующиеся наиболее сильным ежедневным выделением энергии (Б).

Звездочкой обозначено положение Кольской сверхглубокой скважины СГ-3

тот более 5 кГц. Полученные данные могут быть использованы в качестве рабочих моделей для изучения процессов развития и подготовки более крупных событий, а в итоге и для прогноза сильных разрушительных землетрясений на ограниченных по площади территориях.

Специальные алгоритмы обработки сейсмоакустических сигналов, зарегистрированных в Кольской СГ-3 в период проведения долговременного мониторинга в 2005-2006 гг., позволили выделить на общем фоне сейсмоакустических колебаний сигналы, соответствующие удалённым землетрясениям, произошедшим в северной части Северного полушария за период наблюдения (рис. 2). Выделение сигналов, соответствующих землетрясениям, проводилось на основе оценки выделенной в течение суток энергии. В частности, для пяти показанных на рис. 2 относительно сильных (энергетический класс 13.3-13.9) землетрясений выделенная энергия в течение 1 суток заметно превосходит фоновый уровень сброса энергии. Приведённый пример показывает возможности использования сейсмоакустического метода для регистрации удалённых землетрясений при размещении детекторов на большой глубине.

Анализ данных регистрации интенсивности сейсмоакустической эмиссии в различных частотных полосах, подкреплённых данными других геофизических методов, позволяет выделить предвестники удалённых сильных событий как всплески мер когерентного поведения. Для проверки устойчивости эффекта синхронизации перед сильными удалёнными землетрясениями необходим длительный непрерывный мониторинг сейсмоакустических сигналов. Геофизический мониторинг глубоких и сверхглубоких скважин даст возможность решать не только сейсмологические задачи, связанные с распознаванием признаков предстоящих землетрясений, но также и задачи, не связанные напрямую с сейсмической активностью, например, оборонного характера.

СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ КАРЕЛЬСКОГО КРАТОНА И ЕЕ СВЯЗЬ С МЕТАЛЛОГЕНИЕЙ

Житникова И.А.¹, Путинцева Е.В.¹, Жданова Л.А.²

¹ ГГУП «СФ Минерал», г. Санкт-Петербург, zhitnikova@scmin.spb.ru

² ЗАО «ВИРГ-Рудгеофизика», г. Санкт-Петербург, zhdanova@virg-npp.ru

В рамках проекта ГМК-500 на алмазы была составлена «Модель формирования территории». Здесь предлагается краткая характеристика основных этапов развития территории.

Реконструкция условий структурно-кинематической эволюции литосферы от раннего докембрия до палеозоя является важной задачей для понимания глубинного строения, процессов образования, размещения и перераспределения проявлений полезных компонентов региона. Появление новых геофизических, радиоизотопных, палеомагнитных и др. данных, а также новых методик их обработки позволяет по новому подойти к реконструкции геодинамических условий, обозначающих характер и направление перемещения «геомасс».

Большинством исследователей признается, что современная тектоническая структура региона в главных чертах была сформирована в конце раннего протерозоя. При этом архейский структурный план был практически нацело перестроен и подчинен протерозойским направлениям.

За последние годы предложено несколько вариантов становления и геодинамической эволюции зеленокаменных протерозойских структур. Рассматриваемый вариант заключается в следующем. На рубеже 2,5 млрд лет, а возможно и несколько ранее, во время формирования щелочных гранитов в условиях регионального растягивающего поля напряжения были заложены континентальные рифты, образование которых происходило по типу бассейнов pull-apart – структур присдвигового растяжения. На это указывает характерная форма структур в плане, а также глубинное строение, выявленное по сейсмическим данным. В большинстве своем они наследуют тектонические швы, заложенные еще при образовании архейских зеленокаменных поясов. Структуры пулл-апарт закладываются на участках плановых изгибов поверхности сдвига или кулисного перекрытия сдвигов в единой сдвиговой зоне [4]. Последующее возрастающее сдвиговое смещение придает впадинам S-образный – в случае левосторонних сдвигов или Z-образный – для правых сдвигов облик. Ромбоидальные пулл-апараты или ромбические грабены получают при увеличении сдвиговых смещений из удлинения S- и Z-образных впадин и, при этом в их основании может развиваться две или более круговых депрессии. В нашем случае для протерозойского пояса карельских структур характерно правостороннее направление сдвигов.

При длительном развитии зон присдвигового растяжения в областях активного магматизма возникают сложные *осадочно-вулкано-плутонические типы структур*, для которых характерно трех-стадийное развитие: на начальной развивается локальный осадочный бассейн, близкий к пулл-апарту; на средней стадии в пределах этого бассейна возникают вулканические постройки, а на заключительной – формируются линейные плутоны, часто многофазные. При краткосрочном развитии зон растяжения может развиваться чисто плутонический тип структур, когда происходит формирование либо только *камер интрузивов* с их магматиче-