

ЭРЛИХ Э. Н.

ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДЕПРЕССИИ

Рассматривая определения разного типа вулcano-тектонических депрессий мы сталкиваемся с необходимостью разграничить кратера, кальдеры и вулcano-тектонические депрессии. Изначально встает вопрос о сходстве и различии трех видов депрессий – кратеров, кальдер и вулcano-тектонических депрессий, образование которых в той или иной мере связано с вулканическими процессами. Кроме того, в англоязычной литературе широко используется термин cauldron (от испанского котел), имеющий то же значение, что и кальдера. Можно считать удачным определение этого термина как определяющего корневые формирования под собственно кальдерами, в комбинации показывающие что же собственно делается в «котле» (Anderson, 1936, 1937). Термин кальдрон предлагается использовать для структур, где эрозией удалены все поверхностные вулканические формации, связанные с обрушением рельефа в ходе кальдерообразующего извержения и сегодня на поверхности наблюдаются вулканические и осадочные формации сформированные в докальдерный период. однако используемый для обозначения корневой структуры кальдерного комплекса, обнажающейся после эрозии наиболее поверхностной ее части то есть при отсутствии депрессии рельефа как таковой. Определение вулcano-тектонических депрессий, данное в [Krasny, Erlich, 1973] неверно, так- как в основу его положено то, что эти структуры, в отличие от кальдер, связаны не с каким-то единым центром вулканической активности, а наложены на разнородный фундамент. Однако исследования последних лет показали, что наложение на разнородный фундамент обычно для значительного числа кальдер.

Для того, чтобы определить, что такое вулcano-тектонические депрессии и чем они отличаются от (или сходны) с кальдерами представляется необходимым рассмотреть имеющиеся примеры этих структур.

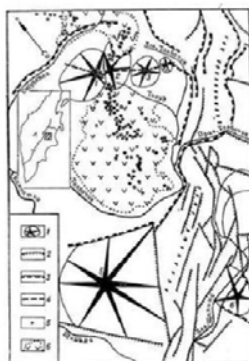


Рис.1. Структурная схема Толбачинской вулcano-тектонической депрессии [Эрлих, 1973]. 1 — вулканы; г — разломы; 2 — сбросы, ограничивающие вулканотектонические депрессии; 4 — предполагаемые разломы фундамента, контролирующие вулканические группы; 5 — шлаковые конусы; 6 — поле широкого развития молодых лавовых потоков. Цифры в поле рисунка — вулканы: 1 — Острый Толбачик; 2 — Плоский Толбачик; 3 — Большая Удина; 4 — Малая Удина; 5 — Кинчокла; 6 — Кизимен.

На Камчатке серия структур этого типа была впервые выделена мной [Erlich, 1973]. Сделано это было мной на основе морфоструктурного анализа и дешифрирования аэрофотоснимков в комбинации с обобщением геологических материалов по соответствующим районам. Хотя существование их в отдельных районах предполагалось в ходе региональных исследований и некоторых обобщающих работах [Sviatlovsky, 1963].

В такой молодой, тектонически-активной стране как Камчатка наблюдается прямая связь между рельефом и характером тектонических движений. Поэтому основой анализа является рассмотрение морфоструктуры рельефа. Тут обращают на себя внимание крупные (20-60 и более км в диаметре) округлые депрессии современного рельефа. Величина опускания колеблется от 100 до 700-800 метров. Характерной их чертой является концентрация в их пределах разнообразных проявлений вулканической активности, устойчиво проявляющейся в течение геологически-длительного времени.

Монографическое описание обоих центров вулканической активности Восточной Камчатки Паужетского и Карымско-Семьячинского было выполнено под редакцией Ю. П. Масуренкова [Masurenkov, ed., 1979, 1980]. Но ни о каких вулкано-тектонических депрессиях в обоих районах в них речь не идет. И не то, что существование их оспаривалось, просто сам термин в этих работах не употребляется вообще. Да что там депрессии, в работах вообще не говорится о структурах. Такое впечатление, что авторы отрицают тектонические структуры как таковые. Анализ морфоструктур не используется вообще. Для определения структур обоих районов используется неопределенный термин **«долгоживущий центр вулканической активности»**. Чем доказываются их «долгоживучесть» остается неясным, поскольку к моменту публикации обеих работ по обоим районам не существовало ни одного определения радиометрического возраста не существовало вообще.

Последний по времени этап исследований характеризовался проведением Камчатским территориальным управлением (КТГУ) государственной геологической съемки масштаба 1:200,000. Плотность сети маршрутов (через каждые 2 км) сделала возможной относительно надежную корреляцию горизонтов вулканических пород в отдельных районах. И сопоставление пачек вулканических пород на смежных площадях. Кондиции Требования, предъявляемые к отчетам по геологической съемке, требовали создания стратиграфических схем и характеристики структуры картируемых территорий.

Геологи КТГУ были до предела загружены отчетностью по съемочным работам что у них не было времени на обобщение своих материалов, так-что приводимые здесь ссылки на печатные работы представляют лишь вершину огромного массива фондовых работ ссылка на которые была вообще невозможна в силу их закрытости. Насколько это было требованием времени можно судить по тому, что в то же время Институт вулканологии направил несколько сотрудников на стажировку в американские университеты, что дало возможность получить первые радиометрические датировки молодых вулканических пород Камчатки аргон-аргоновым методом [Леонов, и др., 2008].



Рис. 2. Структурная схема Ичинской вулcano-тектонической депрессии [Э. Н. Эрлих, Ф. Ш. Кутыев, из Эрлих, 1973].

I — Хангар. II — Ичинский вулкан. А: 1 — дочетвертичные складчатые комплексы фундамента; 2 — миоценовые интрузии гранитоидов. Б. Первый цикл четвертичного вулканизма ($N_2—Q_1$), 3 — щитовые базальтовые вулканы; 4 — экструзивные купола (от андезитов до дацитовых обсидианов по составу). В. Главная стадия кислого вулканизма (Q_2) — стратовулканы (дацитового состава на Хангаре и андезито-дацитового на Ичинском вулкане). Экструзивные купола, сложенные: 6 — амфиболсодержащими андезитами на Ичинском вулкане и ортопироксенсодержащими андезитами на Хангаре; 7 — стекловатые дациты с орто- и клинопироксенами и плагиоклазом №60—80; 8 — амфиболсодержащие андезиты и андезитдациты; 9 — Обсидианы. Г. Новейшая стадия посткальдерного вулканизма ($Q_3—Q_4$): 10 — взрывные кратеры; 11 — купола ботитовых липаритов; 12 — дацитовые стратовулканы; 13 — новейшие дацитовые экструзивные купола; 14 — потоки вязких кислых лав; 15 — потоки и покровы пемзы. Д. Стадия новейшего базальтового вулканизма: 16 — мелкие вулканы и шлаковые конусы. 17 — лавовые потоки; 18 — щитовые вулканы; 19 — недиагенезированные четвертичные осадки.

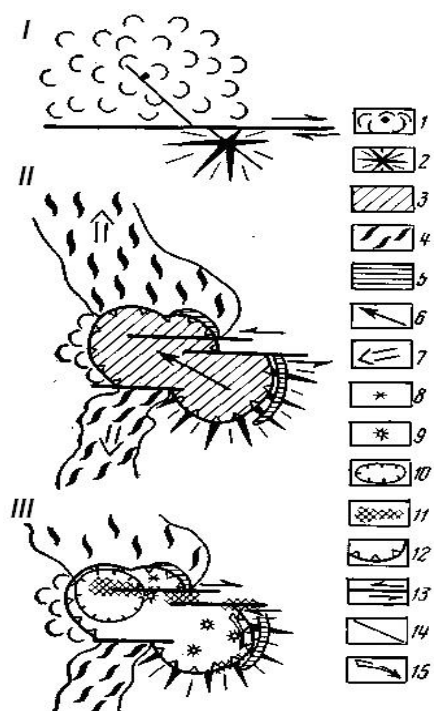


Рис.3. Схема развития вулканизма Узон-Гейзерной депрессии в связи с движениями по трансформному разлому типа глубинного сбросо-сдвига (по Эрлих, ред., 2009). I – докальдерный этап вулканической активности; II – этап кальдерообразования; III – этап посткальдерного вулканизма. 1 – базальтовый щитовой вулкан Q1; 2 – центр кислого вулканизма докальдерного этапа; 3 – поле локализации центров эрупции кальдерообразующих выбросов кислой пироклаستيки, приведших к формированию игнимбритов; 4 – поля развития игнимбритов; 5 – дуговые системы трещин, заполненные кислой магмой; 6 – направление смещения очага кислой магмы; 7 – направление течения игнимбритов; 8 – маар озера Дальнего; 9 – кислые экструзивные купола; 10 – воронка взрыва; 11 – поле развития гидротермальной активности; 12 – разлом, ограничивающий вулкано-тектоническую депрессию; 13 – зоны глубинных сдвигов с указанием направления относительного перемещения крыльев; 14 – трещины оперения сдвигов; 15 – направление оттока термальных вод от основного глубинного сдвига по дренирующей системе трещин.

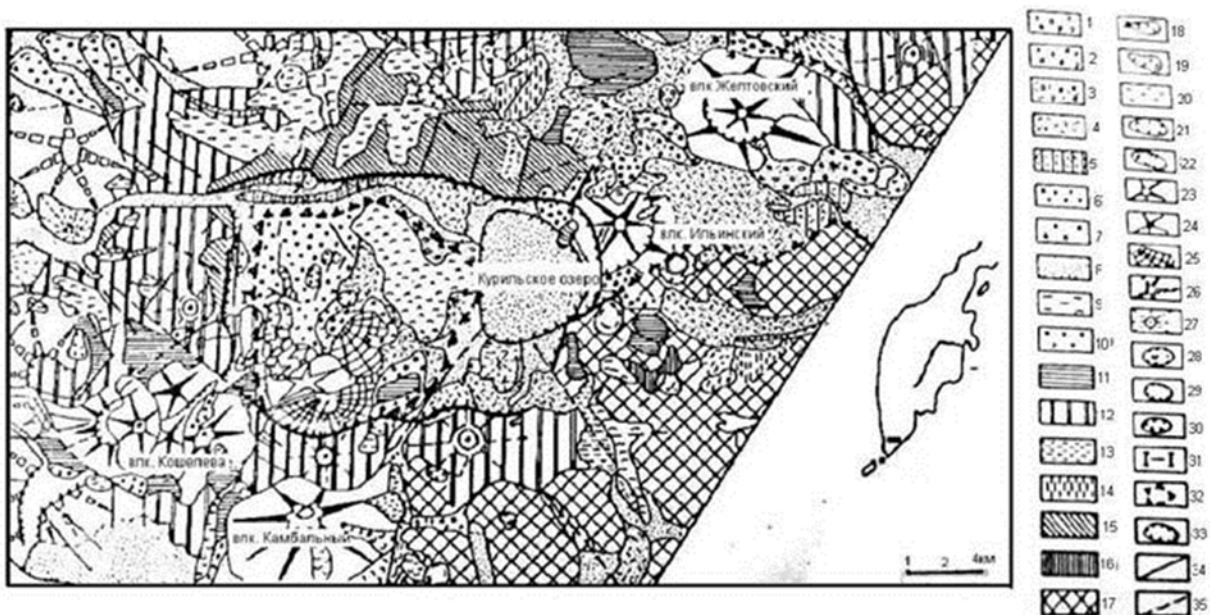


Рис.4. Схема структуры Паужетской вулcano-тектонической депрессии. По Масуренков, ред., 1979. По данным интерпретации аэрофотоснимков и геологическим материалам Камчатского Геол.Управления и Института вулканологии.

- I. Четвертичные отложения. 1 – взрывные отложения (Q_3); 2 – шлаки (Q_4); 3 – Взрывные пемзовые отложения и шлаковые брекчии (Q_3^1); 4 – мощные пемзово-пирокластические потоки (Q_3^1); 5 – Переотложенные пемзы (Q_3^1); 6 - 7 - Ледниковые отложения второй фазы верхнечетвертичного оледенения (Q_3) Ледниковые отложения первой фазы верхнечетвертичного оледенения; 8 – Нерасчлененные рыхлые четвертичные отложения (Q_3^1); 9 – Риодациты и игнимбриты (Q_2); 10 – Осадочные туфы паужетской свиты ($N_2-Q_3^1$).
- II. Миоценовые, плиоценовые и нижнечетвертичные отложения: 11. Платообразные реликты щитовидных вулканов; 12 – Эффузивно-пирокластические комплексы крупных плиоценовых центров вулканизма; (N_{2-3}); 13- вулканогенно-осадочные толщи среднемиоценового – среднеплиоценового возраста); 14 Крупные интрузивные тела (N_2); 15 - вулканогенные существенно-лавовые комплексы нижнего и среднего миоцена (N_2^{1-2}); 16. Туфогенные песчаники и гравелиты позднепалеогенового-среднемиоценового возраста ($Pg_3-N_1^{1-2}$);
- III. Нерасчлененные отложения позднего палеогена-нижнего-среднего миоцена ($Pg_2-N_1^{1-2}$); III. Генетические типы вулканов и их морфология: 18 – Базальтовые шлаковые конуса (Q_4); 19 – Базальтовые лавовые вулканы (Q_4); 20 – Крупный многофазовый экструзивный комплекс Дикий Гребень (Q_4); 21 – Небольшие экструзивные купола дацитового состава (Q_3-Q_4); 22 – Субинтрузивные образования; 23 – существенно лавово-пирокластические стратовулканы; 24 – Существенно пирокластические стратовулканы; 25 – Щитовидные существенно-лавовые вулканы (Q_1-Q_2); 27 – Крупные плиоценовые центры вулканизма; 28 – Сильно эродированные реликты плиоценовых вулканов; 29 – Кратера стратовулканов; 30 – сбросы обрамления Паужетской вулcano-тектонической депрессии; 31 – грабен долины р. Паужетки; 32 – Горст Камбального хребта; 33 – кальдеры с которыми связаны пемзовые потоки; IV. Дизъюнктивные нарушения. 34 – Наблюдаемые разломы; 35 – Предполагаемые разломы; 36 – Трещины с которыми связаны пемзовые потоки.

Наиболее ясно выражен широтный разлом, проходящий у главного прогиба Гольгинских гор. Разлом подтвержден геологическими данными, по которым амплитуда погружения. Наиболее ясно выражен широтный разлом, проходящий у главного прогиба Гольгинских гор. Разлом подтвержден геологическими данными, по которым амплитуда погружения вдоль него составляет 700-800 метров, а по гравиметрическим данным доходит до 1200-1300 метров. По нему отмечается общее погружение толщ на север. Разлом контролирует размещение вулканических аппаратов Кошелевской группы вулканов. Время образования разлома относится к нижнечетвертичному времени (судя по приведенным выше данным абсолютных датировок игнимбритов, к среднему плейстоцену). Другая система разломов – меридианальная. Одна система разломов этого простирания трассируется долиной реки Паужетка. В пяти км к западу от которой проходит так называемый Ключевской разлом, и затем, примерно на расстоянии 5 км друг от друга, следуют разломы Явинский и Прибрежный. Все они характеризуются опусканием восточного крыла. Крупное меридианальное нарушение отмечается также и в восточной части района. К востоку от Гольгинских гор вдоль этого разлома отмечается ступенчатое погружение с амплитудой не менее 500-600 метров. Также, как и разломы широтного простирания, эти нарушения, по видимому, сформировались в период образования Паужетской вулкано-тектонической депрессии. Разломы северо-восточного простирания группируются в три полосы. Большинство из них имеет почти вертикальный сместитель с наклоном плоскости на юго-восток. Время образования оценивается как средне-верхнечетвертичное. Разломы с простиранием северо-северо-запад образуются в верхнечетвертичное-голоценовое время. Они развиты в виде полосы шириной около 15 км. Сместитель наклонен к юго-востоку (рис.5).

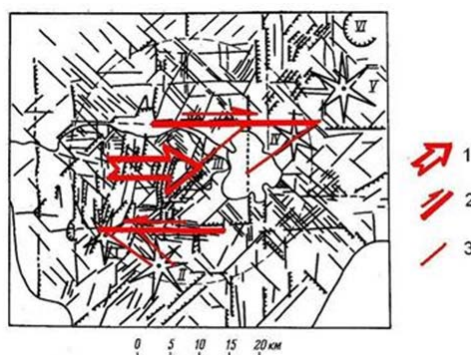


Рис.5. Интерпретация динамики движений по разломам Паужетской вулкано-тектонической депрессии [Леонов, 1981]. 1. Направление общего смещения блока; 2 Направление движений по глубинным сбросо-сдвигам; 3 Оперяющие трещины отрыва, контролирующие пространственное положение молодых эруптивных центров.

Все эти предполагаемые зоны разломов соответствуют определению разломов трансформного типа. На начальной стадии своего развития они контролируют локализацию центров кислого вулканизма, что хорошо видно на локализации вулкано-тектонической депрессии вулкана Хангар и предполагается что разломы того же типа контролируют положение Ичинского вулкана (рис.2). Сдвиговая природа их генерирует «добавочное» (в добавок к литостатическому) давление в зоне магмообразования.

В Карымско-Семячинской вулcano-тектонической депрессии зона такого трансформного разлома была прямо откартирована Н. А. Гусевым по данным дешифрирования аэрофотоснимков и канонизирована в обобщающей работе А. Е. Святловского [Святловский, 1975] (рис.6). Наличие этого разлома, по всей видимости, определяет локализацию в этой вулcano-тектонической депрессии целой серии кальдер образование которых сопровождается выбросами кислой пирокластики (кальдера Карымского озера, Карымского вулкана, вулкана Двор, кальдера в которой расположен вулкан Малый Семячик). Все они расположены вне связи с этим разломом, но он генерирует дополнительное давление в зоне магнообразования.

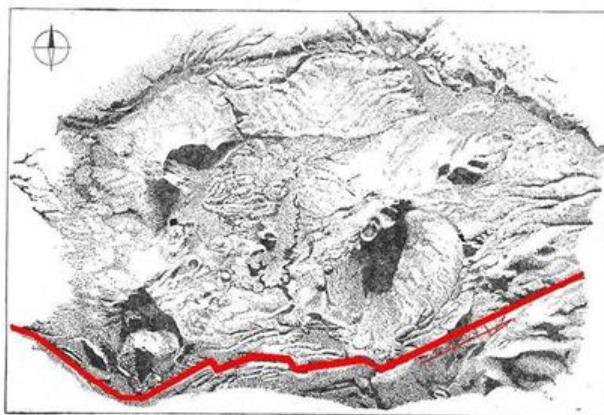


Рис.6. Трансформный разлом, пересекающий центральную часть Жупановско-Карымской вулcano-тектонической депрессии (модифицировано по Н. А. Гусеву, из [Святловский, 1975]). Красным цветом показан предполагаемый глубинный трансформный разлом.

Вулcano-тектоническая депрессия Большого Семячика изображена на рис.7. Игнимбрит по ее периферии описаны В. И. Влодавцем [Влодавец, 1958].



Рис.7. Радарное изображение вулcano-тектонической депрессии Большого Семячика. Источник [Эрлих, 2008].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Судя по тому, что разломы обрамления рассматриваемых вулcano-тектонических депрессий представляют собой нормальные сбросы а внутренняя их структура не принадлежит к типу «битой тарелки, опускание дна депрессий происходит не в форме обрушения, а постепенно, в ходе медленного погружения

Состав вулканических пород развитых в пределах дна депрессий охватывает всю серию от базальтов до риолитов. Принято коррелировать их обычный состав с покровами кислых пирокластических пород образующихся в ходе кальдерообразующих извержений связанных с кальдерами ассоциирующихся с ними кальдерами. Однако, рассмотрение имеющегося материала показывает, что не меньшим распространением среди них пользуются базальтовые вулканы.

Космический снимок базальтового вулкана Фудзи показывает, что он расположен в центре вулcano-тектонической депрессии и лавы его подтекают к эрозионно-тектоническому уступу обрывающему базальтовые лавы комплекса ко-Фудзи (по [Minato et al., 1965] вдоль обрамления более крупной вулcano-тектонической депрессии, вмещающей вулканы Хаконе и Фудзи (рис.8).[по Erlich, 1989].



Рис.8. Спутниковый снимок вулкана Фудзи, выступающего в роли нефтяной скважины, продолжительная эксплуатация которой приводит к просадке окружающего рельефа .

На рис.9 помещен космический снимок вулкана Этна в северной части которого видны дуговые сбросы по которым происходит просадка вулкана. Начальная стадия такого же типа дугового разлома на периферии огромного щитового базальтового вулкана Вениминофф на Аляске [Эрлих, 2008].

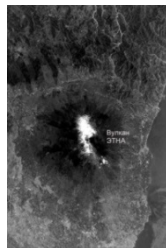


Рис.9. Космический снимок вулкана Этна. По [Erlich, 1989].

Внутри Ичинской вулcano-тектонической депрессии расположены крупные шитовые базальтовые вулканы Большой и Малый Паялпан. Близка к этому типу древняя сомма Ичинского вулкана (рис.2).

Базальты трещинных излияний заполняют Толбачинскую вулcano-тектоническую депрессию. Близки к этому типу и базальтовые и базальт-андезитовые покровы, образующие основание Карымско-Семячинской депрессии.

Реконструкция физических процессов с которыми связано образование вулcano-тектонических депрессий становится возможной с учетом современных экспериментальных данных по базальтообразованию. В соответствии с новейшими экспериментальными данными об образовании базальтовых магм [Schmandt et al., 20014, Jackobsen et al., 2011] формирование их происходит в ходе гидратации на уровне средней мантии. В то же время извержения кислой пирокластики отражают процесс формирования гранитного слоя коры (Маракушев, Тарарин, 1964, Erlich, 2009).

Экспериментально подтвержденная большая глубина базальтообразования (Schmandt et al., 2015, Jackobsen, et al., 20011) создает предпосылки для двух важнейших особенностей:

1. Определяет способность к аккумуляции тепла на глубине (в виде расплавленного базальтового материала). Когда количество аккумулированного на глубине тепла достигает критического уровня и становится возможным преодолеть литостатическую нагрузку происходит катастрофическое извержение плато-базальтов (траппов);

2. Вынос на поверхность с поднимающимся базальтовым расплавом огромного количества тепла происходит геологически-мгновенно (Kamo et al., 2002).

Но, как я сейчас думаю, не это является главным. Главное, возможно, состоит в формировании специфического слоя – астеносферы. Но оценкам геофизиков этот слой содержит 10-15% расплавленного магматического материала. Его присутствие приводит к метаморфизму вмещающих осадочно-вулканогенных толщ. Так возникают метаморфические комплексы, содержащие прослои и линзы расплава. Вещественным воплощением таких комплексов возможно являются мигматиты. Присутствие в верхних горизонтах рассматриваемого слоя даже небольших количеств расплавленного материала приводит к значительным последствиям – область, содержащая эти прослои, реагирует на тектонические напряжения пластическими деформациями. Так возникают предпосылки для создания вулcano-тектонических депрессий.

Специфика теплового режима кислого вулканизма существенно определяется местом его генерации, подразумевающим низкое литостатическое давление. Это само по себе не допускает какой-либо аккумуляции расплавленного материала и, соответственно, тепла. Неглубокое залегание расплава создает возможность для быстрого выброса магматического материала на поверхность. В итоге таких выбросов и образуются обширные покровы игнимбритов и потоки пемз.

Проявления кислого вулканизма концентрируются в вулcano-тектонических депрессиях образованных в ходе слияния кальдер, образование которых ассоциируется с выбросами кислой пирокластики. Таковы Паужетская и Узон-Гейзерная вулcano-тектоническая депрессия. На примере последней в результате детального картирования было показано, что происходит закономерная миграция центров кислого вулканизма вдоль широтной зоны предполагаемого глубинного сбросо-сдвига [Эрлих в Набоко, ред., 1974 и Эрлих, 2009].

Обзор приведенного материала ясно показывает, что различие между кальдерами с образованием которых ассоциируются выбросы кислой пирокластики и вулcano-тектоническими депрессиями состоит в том, что образование кальдер всегда ассоциируется с мощными кальдерообразующими извержениями, начисто отсутствующими при образовании вулcano-тектонических депрессий. И надо подчеркнуть, что отсутствие вулканического материала предположительно связанного с такими извержениями никак не может объяснено тем, что удален эрозией. На Западном побережье к западу от Ичинской депрессии и в Центральной Камчатской депрессии условия для аккумуляции и сохранения даже самых неконсолидированных осадков идеальны.

Было показано на ряде примеров, что образование кальдер этого типа отражает не момент опустошения питающего очага, а напротив момент внедрения интрузивных масс в верхние горизонты коры и образования промежуточной магматической камеры из которой и происходит питание посткальдерного вулканизма. Специфика петрологии серий вулканических пород, связанных с кальдерами разобрана в [Erlich, rgo-sib.ru].

Разломы обрамляющие Узон-Гейзерную депрессию имеют различную природу. Сброс западного обрамления образует разлом обрамления кальдеры Узон, срезающий одноименный базальтовый щитовой вулкан (рис.10). Образование кальдеры совпадает с мощным кальдерообразующим извержением в результате которого вокруг кальдеры образуются мощные покровы кислой пирокластики. Разлом восточного обрамления проходит по долине р. Гейзерной и имеет дуговую форму. Свидетельствующую о том, что образование его связано с «центральной» тектоникой, по всей видимости генерированной движением магматических масс. Однако, в отличие от кальдеры Узон, какие-либо следы кальдерообразующего извержения, связанные с этим центром, отсутствуют. Это по-видимому свидетельствует о том, что здесь имеет место внедрение интрузии не вышедшей на поверхность. Разлом дренирует гидротермальную систему. Предполагается, что воды, связанные с ней, связаны с вулканом Кихпиныч [Белоусов, 2020], стекая вдоль водотока реки они образуют в ее низовьях систему гейзеров.



Рис.10. Кальдера Узон, срезающая одноименный базальтовый щитовой вулкан. Разлом ее обрамления образует западную границу Узон-Гейзерной депрессии. Фото Филип Кайл. из [Эрлих, 2008].

Все эти предполагаемые зоны разломов соответствуют определению разломов трансформного типа. На начальной стадии своего развития они контролируют локализацию центров кислого вулканизма, что хорошо видно на локализации вулканогейзерной депрессии вулкана Хангар и предполагается что разломы того же типа контролируют положение Ичинского вулкана (рис.2). Сдвиговая природа их генерирует «добавочное» (вдобавок к литостатическому) давление в зоне магмообразования.

В Карымско-Семячинской вулканогейзерной депрессии зона такого трансформного разлома была прямо откартирована Н. А. Гусевым по данным дешифрирования аэрофотоснимков и канонизирована в обобщающей работе А. Е. Святловского [Святловский, 1975] (рис.13). Наличие этого разлома, по всей видимости, определяет локализацию в этой вулканогейзерной депрессии целой серии кальдер образование которых сопровождается выбросами кислой пирокластики (кальдера Карымского озера, Карымского вулкана, вулкана Двор, кальдера в которой расположен вулкан Малый Семячик). Все они расположены вне связи с этим разломом, но он генерирует дополнительное давление в зоне магмообразования.

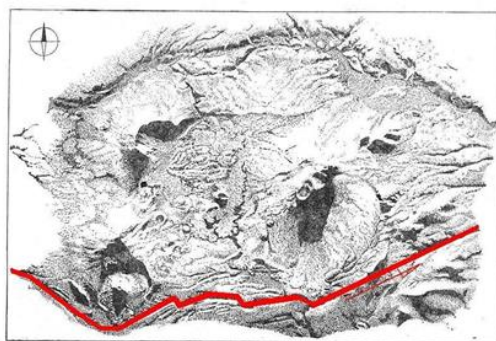


Рис.11. Трансформный разлом, пересекающий центральную часть Жупановско-Карымской вулканогейзерной депрессии [модифицировано по Н. А. Гусеву, из Святловский, 1975]. Красным цветом показан предполагаемый глубинный трансформный разлом.

Обзор приведенного материала ясно показывает, что различие между кальдерами с образованием которых ассоциируются выбросы кислой пироклаستيку и вулканотектоническими депрессиями состоит в том, что образование кальдер всегда ассоциируется с мощными кальдерообразующими извержениями, начисто отсутствующими при образовании вулканотектонических депрессий. И надо подчеркнуть, что отсутствие вулканического материала предположительно связанного с такими извержениями никак не может объяснено тем, что он удален эрозией. На Западном побережье к западу от Ичинской депрессии и в Центральной Камчатской депрессии условия для аккумуляции и сохранения даже самых неконсолидированных осадков идеальны.

На ряде примеров было показано, что образование кальдер этого типа отражает не момент опустошения питающего очага, а напротив момент внедрения интрузивных масс в верхние горизонты коры и образования промежуточной магматической камеры из которой и происходит питание посткальдерного вулканизма. Специфика петрологии серий вулканических пород, связанных с кальдерами разобрана в [Erlich, rgo-sib.ru].

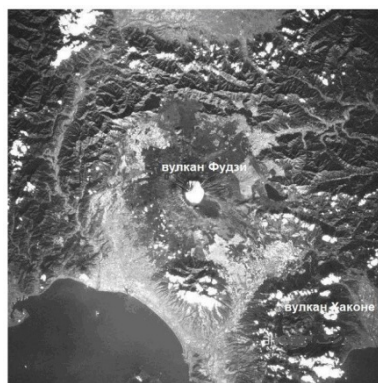
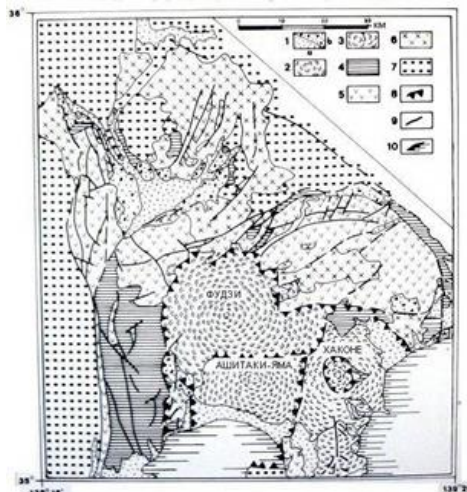


Рис.12.Спутниковый снимок района вулканов Фудзи и Хаконе. Видно, что оба вулкана расположены в депрессии. Из [Эрлих, 2008]. расположены в депрессии. центральная часть острова Хонсю, Япония, по данным интерпретации спутниковых снимков и материалов по геологии района из [Minato et al., eds., 1963]. 1а – рыхлые осадочные отложения голоценовых террас; 1в – плейстоценовые гравии верхних террас; 2– вулканические породы, в основном базальты плейстоцен-голоценового возраста; 3– вулканические породы, преимущественно андезиты; 4 – осадочные толщи миоцен-плиоценового возраста; 5–вулканические породы верхнетретичного возраста, нерасчлененные; 6 – плато плиоценовых базальтов; 7 – интрузии миоценовых гранитоидов; 8 – сбросы обрамления вулканотектонических структур; 9 – сбросы региональные; 10 – береговая линия.



Фиг.13. Схема структуры вулcano-тектонической депрессии вокруг вулканов Хаконе и Фудзи, центральная часть острова Хонсю, Япония [Erllich, 1989, по данным интерпретации спутниковых снимков и материалов по геологии района из Minato et al., eds., 1963].

;1a – рыхлые осадочные отложения голоценовых террас; 1в – плейстоценовые гравии верхних террас; 2– вулканические породы, в основном базальты плейстоцен-голоценового возраста; 3– вулканические породы, преимущественно андезиты; 4 – осадочные толщи миоцен-плиоценового возраста; 5–вулканические породы верхнетретичного возраста, нерасчлененные; 6 – плато плиоценовых базальтов; 7 – интрузии миоценовых гранитоидов; 8 – сбросы обрамления вулканотектонических структур; 9 – сбросы региональные; 10 – береговая линия;

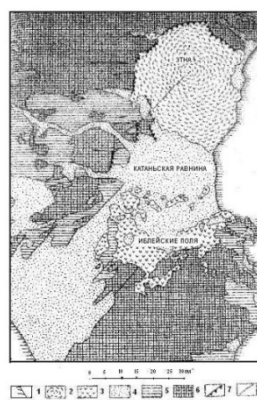


Рис.14. Геолого-структурная схема района вулкана Этна, Сицилия, Италия.

1 – современная береговая линия; 2 – Комплекс вулканических отложений вулкана Этна; 3 – Плиоценовые базальтовые покровы Иблейских полей; 4 – Рыхлые плиоценовые и четвертичные осадки, выполняющие вулcano-тектоническую депрессию; 5 – Плиоценовый осадочный комплекс, поднятый в четвертичное время; 6 – Складчатые доплиоценовые породы; 7 – Сбросы обрамления вулcano-тектонической депрессии; 8 –Региональные сбросы и сдвиги;

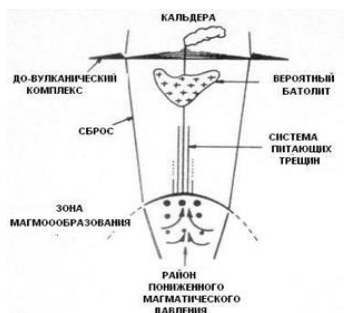


Рис. 15. Модель образования вулcano-тектонических депрессий типа Толбачик-Этна [по Erlich, 1989].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Судя по тому, что разломы обрамления рассматриваемых вулcano-тектонических депрессий представляют собой нормальные сбросы а внутренняя их структура не принадлежит к типу «битой тарелки, опускание дна депрессий происходит не в форме обрушения, а постепенно, в ходе медленного погружения

Состав вулканических пород развитых в пределах дна депрессий охватывает всю серию от базальтов до риолитов. Принято коррелировать их обычный состав с покровами кислых пирокластических пород образующихся в ходе кальдерообразующих извержений связанных с кальдерами ассоциирующихся с ними кальдерами. Однако, рассмотрение имеющегося материала показывает, что не меньшим распространением среди них пользуются базальтовые вулканы.

Космический снимок базальтового вулкана Фудзи показывает, что он расположен в центре вулcano-тектонической депрессии и лавы его подтекают к эрозионно-тектоническому уступу обрывающему базальтовые лавы комплекса ко-Фудзи (по [Minato et al., 1965] вдоль обрамления более крупной вулcano-тектонической депрессии, вмещающей вулканы Хаконе и Фудзи (рис.13).[по Erlich, 1989]

На рис. помещен космический снимок вулкана Этна в северной части которого видны дуговые сбросы по которым происходит просадка вулкана. Начальная стадия такого же типа дугового разлома на периферии огромного щитового базальтового вулкана Вениминофф на Аляске [Эрлих, 2008].

Внутри Ичинской вулcano-тектонической депрессии расположены крупные щитовые базальтовые вулканы Большой и Малый Паялпан. Близка к этому типу древняя сомма Ичинского вулкана (рис.2).

Базальты трещинных излияний заполняют Толбачинскую вулcano-тектоническую депрессию. Близки к этому типу и базальтовые и базальт-андезитовые покровы, образующие основание Карымско-Семячинской депрессии.

Реконструкция физических процессов с которыми связано образование вулcano-тектонических депрессий становится возможной с учетом современных экспериментальных данных по базальтообразованию. В соответствии с новейшими экспериментальными данными об

образовании базальтовых магм [Schmandt et al., 20014, Jackobsen et al., 2011] формирование их происходит в ходе гидратации на уровне средней мантии. В то же время извержения кислой пирокластики отражают процесс формирования гранитного слоя коры (Marakushev, Tararin, 1964, Erlich, 2009).

Экспериментально подтвержденная большая глубина базальтообразования [Schmandt et al., 2015, Jackobsen et al., 20011] создает предпосылки для двух важнейших особенностей:

1. Определяет способность к аккумуляции тепла на глубине (в виде расплавленного базальтового материала). Когда количество аккумулированного на глубине тепла достигает критического уровня и становится возможным преодолеть литостатическую нагрузку происходит катастрофическое извержение плато-базальтов (траппов);

2. Вынос на поверхность с поднимающимся базальтовым расплавом огромного количества тепла происходит геологически-мгновенно (Kamo et al., 2002).

Но, как я сейчас думаю, не это является главным. Главное, возможно, состоит в формировании специфического слоя – астеносферы. Но оценкам геофизиков этот слой содержит 10-15% расплавленного магматического материала. Его присутствие приводит к метаморфизму вмещающих осадочно-вулканогенных толщ. Так возникают метаморфические комплексы, содержащие прослои и линзы расплава. Вещественным воплощением таких комплексов возможно являются мигматиты. Присутствие в верхних горизонтах рассматриваемого слоя даже небольших количеств расплавленного материала приводит к значительным последствиям – область, содержащая эти прослои, реагирует на тектонические напряжения пластическими деформациями. Так возникают предпосылки для создания вулcano-тектонических депрессий.

Специфика теплового режима кислого вулканизма существенно определяется местом его генерации, подразумевающим низкое литостатическое давление. Это само по себе не допускает какой-либо аккумуляции расплавленного материала и, соответственно, тепла. Неглубокое залегание расплава создает возможность для быстрого выброса магматического материала на поверхность. В итоге таких выбросов и образуются обширные покровы игнимбритов и потоки пемз.

Проявления кислого вулканизма концентрируются в вулcano-тектонических депрессиях образованных в ходе слияния кальдер, образование которых ассоциируется с выбросами кислой пирокластики. Таковы Паужетская и Узон-Гейзерная вулcano-тектоническая депрессии. На примере последней в результате детального картирования было показано, что происходит закономерная миграция центров кислого вулканизма вдоль широтной зоны предполагаемого глубинного сбросо-сдвига [Эрлих в Набоко, ред., 1974, и Эрлих, ред., 2009].

Обзор приведенного материала ясно показывает, что различие между кальдерами с образованием которых ассоциируются выбросы кислой пирокластики и вулcano-тектоническими депрессиями состоит в том, что образование кальдер всегда ассоциируется с мощными кальдерообразующими извержениями, начисто отсутствующими при образовании вулcano-тектонических депрессий. И надо подчеркнуть, что отсутствие вулканического материала предположительно связанного с такими извержениями никак не может объяснено тем, что удален

эрозией. На Западном побережье к западу от Ичинской депрессии и в Центральной Камчатской депрессии условия для аккумуляции и сохранения даже самых неконсолидированных осадков идеальны.

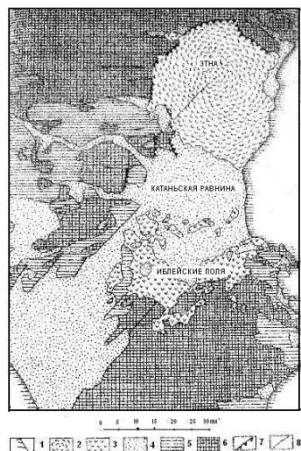
Было показано на ряде примеров, что образование кальдер этого типа отражает не момент опустошения питающего очага, а напротив момент внедрения интрузивных масс в верхние горизонты коры и образования промежуточной магматической камеры из которой и происходит питание посткальдерного вулканизма. Специфика петрологии серий вулканических пород, связанных с кальдерами разобрана в [Erlich, rgo-sib.ru].

Разломы обрамляющие Узон-Гейзерную депрессию имеют различную природу. Сброс западного обрамления образует разлом обрамления кальдеры Узон, срезающий одноименный базальтовый щитовой вулкан (рис.3). Образование кальдеры совпадает с мощным кальдерообразующим извержением в результате которого вокруг кальдеры образуются мощные покровы кислой пироклаستيкулы. Разлом восточного обрамления проходит по долине р. Гейзерной и имеет дуговую форму. Свидетельствующую о том, что образование его связано с «центральной» тектоникой, по всей видимости, генерированной движением магматических масс. Однако, в отличие от кальдеры Узон, какие-либо следы кальдерообразующего извержения, связанные с этим центром, отсутствуют. Это по-видимому свидетельствует о том, что здесь имеет место внедрение интрузии не вышедшей на поверхность. Разлом дренирует гидротермальную систему. Предполагается, что воды, связанные с ней, связаны с вулканом Кихпиньч [Белоусов, Белоусова, 2020], стекая вдоль водотока реки они образуют в ее низовьях систему гейзеров.

Все эти предполагаемые зоны разломов соответствуют определению разломов трансформного типа. На начальной стадии своего развития они контролируют локализацию центров кислого вулканизма, что хорошо видно на локализации вулканотектонической депрессии вулкана Хангар и предполагается что разломы того же типа контролируют положение Ичинского вулкана (рис.2). Сдвиговая природа их генерирует «добавочное» (вдобавок к литостатическому) давление в зоне магмообразования.

Обзор приведенного материала ясно показывает, что различие между кальдерами с образованием которых ассоциируются выбросы кислой пироклаستيкулы и вулканотектоническими депрессиями состоит в том, что образование кальдер всегда ассоциируется с мощными кальдерообразующими извержениями, начисто отсутствующими при образовании вулканотектонических депрессий. И надо подчеркнуть, что отсутствие вулканического материала предположительно связанного с такими извержениями никак не может объяснено тем, что удален эрозией. На Западном побережье к западу от Ичинской депрессии и в Центральной Камчатской депрессии условия для аккумуляции и сохранения даже самых неконсолидированных осадков идеальны.

На ряде примеров было показано, что образование кальдер этого типа отражает не момент опустошения питающего очага, а напротив момент внедрения интрузивных масс в верхние горизонты коры и образования промежуточной магматической камеры из которой и происходит питание посткальдерного вулканизма. Специфика петрологии серий вулканических пород,



Фиг.8. Геолого-структурная схема района вулкана Этна, Сицилия, Италия.

1 – современная береговая линия; 2 – Комплекс вулканических отложений вулкана Этна; 3 – Плиоценовые базальтовые покровы Иблейских полей; 4 – Рыхлые плиоценовые и четвертичные осадки, выполняющие вулcano-тектоническую депрессию; 5 – Плиоценовый осадочный комплекс, поднятый в четвертичное время; 6 – Складчатые доплиоценовые породы; 7 – Сбросы обрамления вулcano-тектонической депрессии; 8 – Региональные сбросы и сдвиги. Модель образования вулcano-тектонических депрессий в пределах которых располагаются центры кислого вулканизма показана на рис. 18. Предполагается, что они образованы в процессе внедрения в верхние горизонты коры интрузий кислого состава продолжающие существовать в виде промежуточных магматических очагов. Эти депрессии названы структурами типа Хангар.

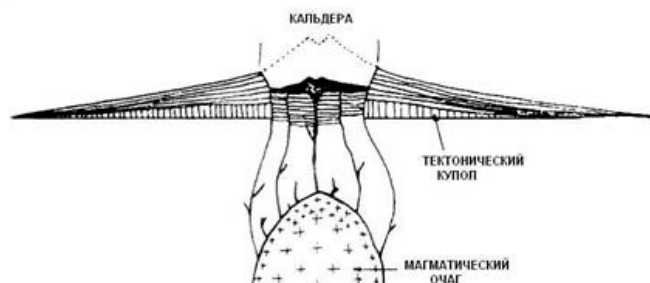


Рис9. Модель образования вулcano-тектонических депрессий типа Хангар [Erlich, 1989].

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Белоусов В. И., И. В. Белоусова, Ю. А. Филиппов, 2012, Образование гидротермально-магматических систем скарнового типа. Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 - February 1, 2012

Белоусов В. И., Э. Н. Эрлих, 2010, Тепло Земли. <https://sites.google.com/site/geobelousov/geoterma>.

Белоусов В. И., И. В. Белоусова, 1992, Теплопередача в гидротермально-магматических системах. 41е техническое совещание по созданию геотермальных резервуаров. Stanford University, Stanford, California, February 22-24, SGP-TR-209;

Воронов П. С., Э. Н. Эрлих, 1962, Сдвиговые деформации в северо-западной части Сибирской платформы. Информационный сборник научно-исследовательского Института геологии Арктики (НИИГА), 28, стр. 17-28.

Коржинский Д. С., 1945, Образование контактных месторождений. Известия АН СССР, сер. геол., №3, стр. 18-33;

Леонов В. Л., Гриб Е. Н., 2004, Структурные позиции вулканизма четвертичных кальдер Камчатки.//Владивосток, Дальнаука, 170 стр.

Леонов В. Л., И. Н. Биндеман, А. Н. Рогозин, 2008, Новые данные по Ar-Ar датированию игнимбритов Камчатки.//Материалы VI региональной молодежной научной конференции, посвященной Дню Вулканолога. Петропавловск-Камчатский, ИвиС, ДВО РАН;

Малич Н. С., 1975, Тектоническое развитие осадочно чехла Сибирской платформы.//Москва, Недра, 215 стр.

Маракушев А. А., И. А. Тарарин, 1964, О глубинности формирования гранитоидов. В кн. «Петрографические формации и проблемы петрогенезиса». XXII сессия МГК. Докл. сов. геол. М., «Наука» (in Russian);

Медведев А. Я., 2004 Пермо-триассовый вулканизм Северо-Азиатского кратона (Западно-Сибирская и Тунгусская синеклизы. Геология, петрология и геодинамика. Диссертация на соискание ученой степени доктора наук, СИБГЕОХИ, Иркутск, 306 стр.

Межвилк, А. А., 1984, Роль горизонтальных движений в образовании тектонических структур и минеральных месторождений Норильского района, Геотектоника, №1, стр1. 99-10.

Рогозин А. Н., 2008, Карымчинская гидротермальная система (Южная Камчатка): новые данные о геологическом строении района.//Материалы VI региональной молодежной научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, ИвиС ДВО РАН, стр. 93-98;

Стовас М.В., 1963, К проблеме образования планетарных глубинных разломов // Докл. АН СССР, т. 135, № 2.

Суворов А. И., 1978, Новейшая глобальная кинематика литосферы (на основе региональных тектонопар). Геотектоника, №2, стр. 3-18Эрлих Э., ред., 2009, Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. kcsnet.ru

Шеймович В. С., 1979, Игнимбриты Камчатки, Ленинград, Недра, 179 стр.;

Шейнманн Ю.М. Очерки глубинной геологии. М.: Недра, 1966.

Эрлих Э. Н., 2017, Геодинамика и магматизм платформ. Санкт Петербург, Издательство «Написано пером», 240 стр.

Эрлих Э., ред., 2009, Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. kcsnet.ru

Эрлих Э.Н., 1973, Современная структура и четвертичный вулканизм западной части Тихоокеанского кольца. Новосибирск., Наука, 244 с.

Эрлих Э.Н., 1966,

Bauer K., R. B. Trumbell R. B., and Vietor T., 2003, Geophysical Images and crustal model of intrusive structure beneath Messum ring complex, Namibia. *Earth and Planetary Sci. Letters*, 216, 65-80;

Bemmelen R.W. van , 1949, *Geology of Indonesia.*, vol. 1-3 (in Russian).

Christiansen R. L., 2001, The Quaternary and Pliocene Yellowstone Plateau Volcanic Field of Wyoming, Idaho, and Montana. // *U. S. Geol. Survey Prof. Paper 729-G*, 146 p.

Clifford T.N. 1966, Tectono-magmatic units and metallogenic provinces in Africa // *Earth and Planetary Science Lett.*, 1:321-436.

Jackobsen J.K., Veksler I.V., Turner C., Brooks C.K., 2011, Crystallization of the Skaergaard intrusion from the emulsion of immiscible iron- and silica-rich liquids: evidence from melt inclusions in plagioclase // *Journal of Petrology*. v. 52. P.345-373.

Erlich E.N., 1985, The geodynamics of the north-eastern Siberian platform and the regularities of kimberlite distribution in space and time // *Transactions of the Geological society of S. Africa*, vol.88. P. 2, pp.395-402.

Erlich E. I., 1989, Specific type of volcano-tectonic depressions surrounding groups of volcanoes. New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Bull. 131, Continental Magmatism.

Fisher, R., 1954, Immiscibility of melts containing heavy metal's oxides, silicates and phosphates and significance of immiscibility for geochemistry and science of ore deposits// *Experimental studies in petrography and ore formation*. Moscow, Inostrannaya literature (in Russian);

Kamo S. L., G.K. Czamanske, A. Amelin, D. W. Davies, R. Trofimov, 2002, Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence of coincidence with the Permian-Triassic boundary, *Earth Planet. Sci. Letters*, v.214, p. 75-91;

Lipman P. W., 2000a, The Central San Juan caldera cluster: regional volcanic framework.// *Spec. Paper Geol.Soc, America*, 346, 9-71;

Lipman P. W., 2000b, Calderas. In: Sigurdsson H., (Editor) *Encyclopedia of volcanoes*,//Academic Press, San Fransisco, pp. 643-556;

Minato M., M. Gorai M., and Hunahashi M., eds., 1965, *The Geological development of the Japanese Islands*. Tsukiji/Shokan, Tokyo, Japan, Ohta, Tokyo, 442 p.;

Milankovich M. . 1941. Kanon der Erdbestrhlung und seine Auwendung auf des Enzein problem // *Acad. Roy. Serbe, Ed. Sp. t. CXXXI, sec. De Sci. Math. et Nat.* 634 p. (in German).

Miyashiro A., 1967, Aspects of metamorphism in the Circum-Pacific region // *Tectonophysics*, 4. P. 4-6.

Schmandt B., Jacobsen S.D, Becker T.W., Liu Z., Dueker K.G., 2014, Earth's interior, 2014, Dehydration melting at the top of the lower mantle. //Science, Jun 13. 344(6189):1265-8.

Sonder R., 1956, Mechanik der Erde. Stuttgart., 482 p. (in German);

Waite G. P., and R. B. Smith, 2002, Seismic evidence for fluid migration accompanying subsidence of the Yellowstone caldera. //Journal of Geoph. Res., v. 107, # B9,ESE 1-14;

Наиболее ясно выражен широтный разлом, проходящий у главного прогиба Голыгинских гор. Разлом подтвержден геологическими данными, по которым амплитуда погружения вдоль него составляет 700-800 метров, а по гравиметрическим данным достигает 1200-1300 метров. По нему отмечается общее погружение толщ на север. Разлом контролирует размещение вулканических аппаратов Кошелевской группы вулканов. Время образования разлома относится к нижнечетвертичному времени (судя по приведенным выше данным абсолютных датировок игнимбригов, к среднему плейстоцену. Другая система разломов – меридианальная. Одна система разломов этого простирания трассируется долиной реки Паужетка. В пяти км к западу от которой проходит так называемый Ключевской разлом, и затем, примерно на расстоянии 5 км друг от друга, следуют разломы Явинский и Прибрежный. Все они характеризуются опусканием восточного крыла. Крупное меридианальное нарушение отмечается также и в восточной части района. К востоку от Голыгинских гор вдоль этого разлома отмечается ступенчатое погружение с амплитудой не менее 500-600 метров. Также, как и разломы широтного простирания, эти нарушения, повидимому, сформировались в период образования Паужетской вулканотектонической депрессии. Разломы северо-восточного простирания группируются в триполосы. Большинство из них имеет почти вертикальный сместитель с наклоном плоскости на юго-восток. Время образования оценивается как средне-верхнечетвертичное. Разломы с простиранием северо-северо-запад образуются в верхнечетвертичное-голоценовое время. Они развиты в виде полосы шириной около 15 км. Сместитель наклонен к юго-востоку (рис.).

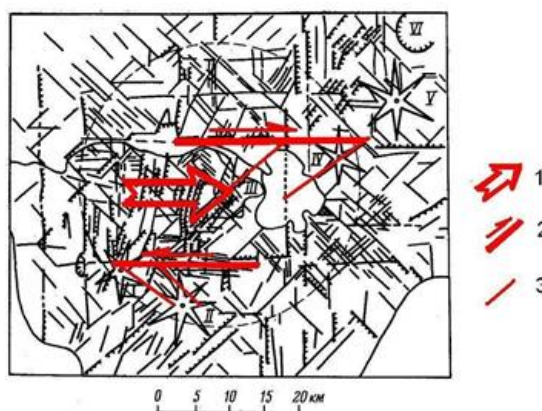


Рис. . Интерпретация динамики движений по разломам Паужетской вулканотектонической депрессии [Леонов, 1981]. 1. Направление общего смещения блока; 2 Направление движений по глубинным сбросо-сдвигам; 3 Оперяющие трещины отрыва, контролирующие пространственное положение молодых эруптивных центров.

Все эти предполагаемые зоны разломов соответствуют определению разломов трансформного типа. На начальной стадии своего развития они контролируют локализацию центров кислого вулканизма, что хорошо видно на локализации вулкано-тектонической жепрессии вулкана Хангар и предполагается что разломы того же типа контролируют положение Ичинского вулкана (рис.2). Сдвиговая природа их генерирует «добавочное» (вдобавок к литостатическому) давление в зоне магмообразования.

В Карымско-Семячинской вулкано-тектонической депрессии зона такого трансформного разлома была прямо откартирована Н. А. Гусевым по данным дешифрирования аэрофотоснимков и канонизирована в обобщающей работе А. Е. Святловского [Святловский, 1975] (рис.6). Наличие этого разлома, по всей видимости, определяет локализацию в этой вулкано-тектонической депрессии целой серии кальдер образование оторых сопровождается выбросами кислой пирокластики (кальдера Карымского озера, Карымского вулкана, вулкана Двор, кальдера в которой раположен вулкан Малый Семячик). Все они раположены вне связи с этим разломом, но он генерирует дополнительное давление в зоне магмообразования.

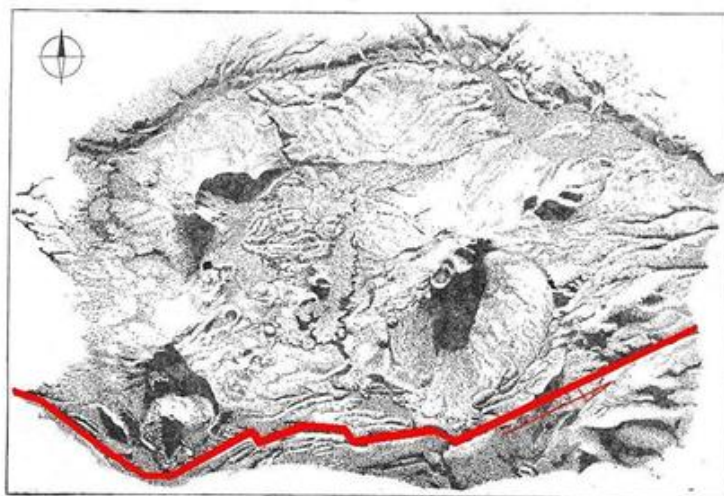


Рис.6. Трансформный разлом, пересекающий центральную часть Жупановско-Карымской вулкано-тектонической депрессии [модифицировано по Н. А. Гусеву, из Святловский, 1975]. Красным цветом показан предполагаемый глубинный трансформный разлом.

Обзор приведенного материала ясно показывает, что различие между кальдерами с образованием которых ассоциируются выбросы кислой пирокластики и вулкано-тектоническими депрессиями состоит в том, что образование кальдер всегда асоциируется с мощными кальдерообразующими извержениями, начисто отсутствующими при образовании вулкано-тектонических депрессий. И надо подчеркнуть, что отсутствие вулканического материала предположительно связанного с такими извержениями никак не может объяснено тем, что удален эрозией. На Западном побережье к западу от Ичинской депрессии и в Центральной Камчатской депрессии условия для аккумуляции и сохранения даже самых неконсолидированных осадков идеальны.



Рис. 7. Радарный снимок вулcano-тектонической депрессии Большой Семячик. [Erlich, 1989].

На ряде примеров было показано, что образование кальдер этого типа отражает не момент опустошения питающего очага, а напротив момент внедрения интрузивных масс в верхние горизонты коры и образования промежуточной магматической камеры из которой и происходит питание посткальдерного вулканизма. Специфика петрологии серий вулканических пород, связанных с кальдерами разобрана в [Erlich, rgo-sib.ru].

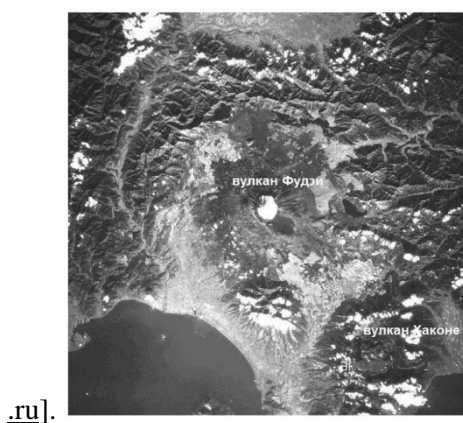
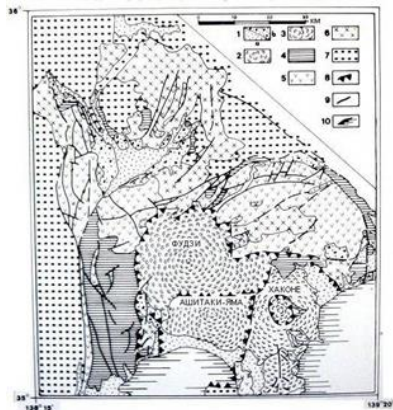
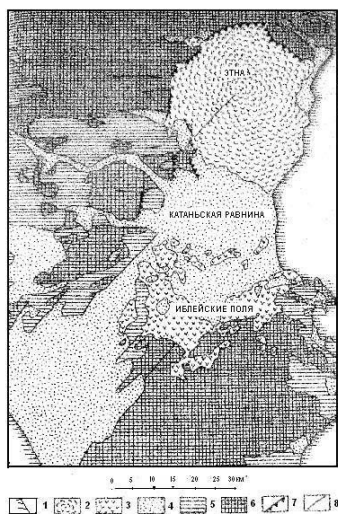


Рис. 8. Спутниковый снимок района вулканов Фудзи и Хаконе. Видно, что оба вулкана расположены в депрессии. Из [Эрлих, 2008].



Фиг.8. Схема структуры вулcano-тектонической депрессии вокруг вулканов Хаконе и Фудзи, центральная часть острова Хонсю, Япония [по данным интерпретации спутниковых снимков и материалов по геологии района из [Minato et al., eds., 1963].



Фиг.9. Геолого-структурная схема района вулкана Этна, Сицилия, Италия.

1 – современная береговая линия; 2 – Комплекс вулканических отложений вулкана Этна; 3 – Плиоценовые базальтовые покровы Иблейских полей; 4 – Рыхлые плиоценовые и четвертичные осадки, выполняющие вулcano-тектоническую депрессию; 5 – Плиоценовый осадочный комплекс, поднятый в четвертичное время; 6 – Складчатые доплиоценовые породы; 7 – Сбросы обрамления вулcano-тектонической депрессии; 8 – Региональные сбросы и сдвиги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Судя по тому, что разломы обрамления рассматриваемых вулcano-тектонических депрессий представляют собой нормальные сбросы а внутренняя их структура не принадлежит к типу «битой тарелки, опускание дна депрессий происходит не в форме обрушения, а постепенно, в хое медленного погружения

Состав вулканических пород развитых в пределах дна депрессий охватывает всю серию от базальтов до риолитов. Принято коррелировать их обычный состав с покровами кислых пирокластических пород образующихся в ходе кальдерообразующих извержений связанных с кальдерами ассоциирующихся с ними кальдерами. Однако, рассмотрение имеющегося материала показывает, что не меньшим распространением среди них пользуются базальтовые вулканы.

Космический снимок базальтового вулкана Фудзи показывает, что он расположен в центре вулкано-тектонической депрессии и лавы его подтекают к эрозионно-тектоническому уступу обрывающему базальтовые лавы комплекса ко-Фудзи (по [Minato et al., 1965] вдоль обрамления более крупной вулкано-тектонической депрессии, вмещающей вулканы Хаконе и Фудзи (рис.).[по Erlich, 1989]



Рис.10. Спутниковый снимок вулкана Фудзи, выступающего в роли нефтяной скважины, продолжительная эксплуатация которой приводит к просадке окружающего рельефа .

На рис. помещен космический снимок вулкана Этна в северной части которого видны дуговые сбросы по которым происходит просадка вулкана. Начальная стадия такого же типа дугового разлома на периферии огромного щитового базальтового вулкана Вениминофф на Аляске [Эрлих, 2008].

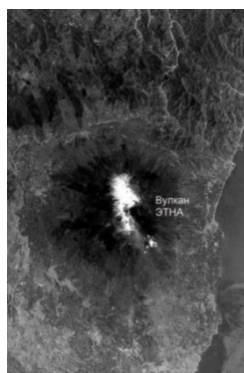


Рис. 11. Космический снимок вулкана Этна [Эрлих, 2008].

Внутри Ичинской вулкано-тектонической депрессии расположены крупные щитовые базальтовые вулканы Большой и Малый Паялпан. Близка к этому типу древняя сомма Ичинского вулкана (рис.2).

Реконструкция физических процессов с которыми связано образование вулканотектонических депрессий становится возможной с учетом современных экспериментальных данных по базальтообразованию. В соответствии с новейшими экспериментальными данными об образовании базальтовых магм [Schmandt et al., 20014, Jacobsen et al., 2011] формирование их происходит в ходе гидратации на уровне средней мантии. В то же время извержения кислой пирокластики отражают процесс формирования гранитного слоя коры (Marakushev, Tararin, 1964, Erlich, 2009).

Экспериментально подтвержденная большая глубина базальтообразования (Schmandt et al., 2015, Jacobsen et al., 2011) создает предпосылки для двух важнейших особенностей:

1. Определяет способность к аккумуляции тепла на глубине (в виде расплавленного базальтового материала). Когда количество аккумулированного на глубине тепла достигает критического уровня и становится возможным преодолеть литостатическую нагрузку происходит катастрофическое извержение плато-базальтов (траппов);

2. Вынос на поверхность с поднимающимся базальтовым расплавом огромного количества тепла происходит геологически-мгновенно (Kamo et al., 2002).

Но, как я сейчас думаю, не это является главным. Главное, возможно, состоит в формировании специфического слоя – астеносферы. Но оценкам геофизиков этот слой содержит 10-15% расплавленного магматического материала. Его присутствие приводит к метаморфизму вмещающих осадочно-вулканогенных толщ. Так возникают метаморфические комплексы, содержащие прослойки и линзы расплава. Вещественным воплощением таких комплексов возможно являются мигматиты. Присутствие в верхних горизонтах рассматриваемого слоя даже небольших количеств расплавленного материала приводит к значительным последствиям – область, содержащая эти прослойки, реагирует на тектонические напряжения пластическими деформациями. Так возникают предпосылки для создания вулканотектонических депрессий.

Специфика теплового режима кислого вулканизма существенно определяется местом его генерации, подразумевающим низкое литостатическое давление. Это само по себе не допускает какой-либо аккумуляции расплавленного материала и, соответственно, тепла. Неглубокое залегание расплава создает возможность для быстрого выброса магматического материала на поверхность. В итоге таких выбросов и образуются обширные покровы игнимбритов и потоки пемз.

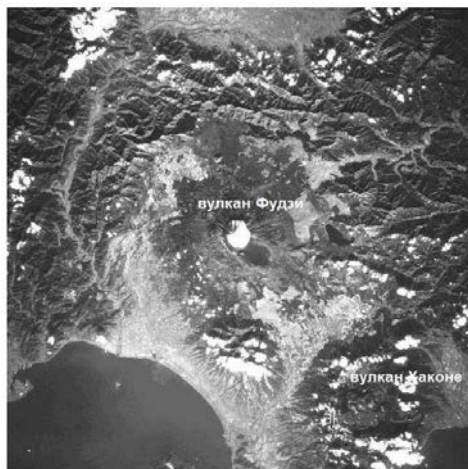


Рис. 7. Спутниковый снимок района вулканов Фудзи и Хаконе. Видно, что оба вулкана расположены в депрессии. Из [Эрлих, 2008].

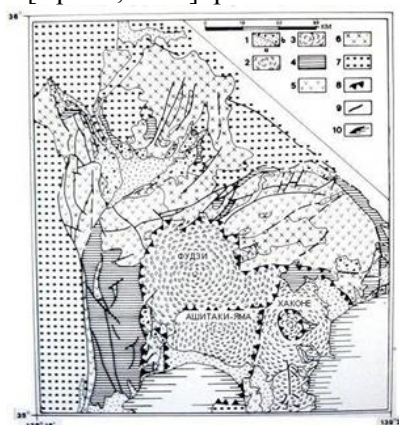


Рис.9. Геолого-структурная схема района вулканов Фудзи и Хаконе, остров Хонсю, Япония.

Проявления кислого вулканизма концентрируются в вулcano-тектонических депрессиях образованных в ходе слияния кальдер, образование которых ассоциируется с выбросами кислой пирокластики. Таковы Паужетская и Узон-Гейзерная вулcano-тектоническая депрессия. На примере последней в результате детального картирования было показано, что происходит закономерная миграция центров кислого вулканизма вдоль широтной зоны предполагаемого глубинного сбросо-сдвига [Эрлих в Набоко, ред., 1974, и Эрлих, ред., 2009].

Обзор приведенного материала ясно показывает, что различие между кальдерами с образованием которых ассоциируются выбросы кислой пирокластики и вулcano-тектоническими депрессиями состоит в том, что образование кальдер всегда ассоциируется с мощными кальдерообразующими извержениями, начисто отсутствующими при образовании вулcano-тектонических депрессий. И, надо подчеркнуть, что отсутствие вулканического материала предположительно связанного с такими извержениями никак не может объяснено тем, что удален эрозией. На Западном побережье к западу от Ичинской депрессии и в Центральной Камчатской

депрессии условия для аккумуляции и сохранения даже самых неконсолидированных осадков идеальны.

На ряде примеров было показано, что образование кальдер этого типа отражает не момент опустошения питающего очага, а напротив момент внедрения интрузивных масс в верхние горизонты коры и образования промежуточной магматической камеры из которой и происходит питание посткальдерного вулканизма. Специфика петрологии серий вулканических пород, связанных с кальдерами разобрана в [Erlich, rgo-sib.ru].

Разломы обрамляющие Узон-Гейзерную депрессию имеют различную природу. Сброс западного обрамления образует разлом обрамления кальдеры Узон, срезающий одноименный базальтовый щитовой вулкан (рис.4). Образование кальдеры совпадает с мощным кальдерообразующим извержением в результате которого вокруг кальдеры образуются мощные покровы кислой пирокластики. Разлом восточного обрамления проходит по долине р. Гейзерной и имеет дуговую форму. Свидетельствующую о том, что образование его связано с «центральной» тектоникой, по всей видимости генерированной движением магматических масс. Однако, в отличие от кальдеры Узон, какие-либо следы кальдерообразующего извержения, связанные с этим центром, отсутствуют. Это по-видимому свидетельствует о том, что здесь имеет место внедрение интрузии не вышедшей на поверхность. Разлом дренирует гидротермальную систему. Предполагается, что воды, связанные с ней, связаны с вулканом Кихпинич [Белоусов, Белоусова, 2020], стекая вдоль водотока реки они образуют в ее низовьях систему гейзеров.



Рис.4. Кальдера Узон, срезающая одноименный базальтовый щитовой вулкан. Разлом ее обрамления образует западную границу Узон-Гейзерной депрессии. Фото Филип Кайл. из [Эрlich, 2008].

Все эти предполагаемые зоны разломов соответствуют определению разломов трансформного типа. На начальной стадии своего развития они контролируют локализацию центров кислого вулканизма, что хорошо видно на локализации вулкано-тектонической депрессии вулкана Хангар и предполагается что разломы того же типа контролируют положение Ичинского вулкана (рис.2). Сдвиговая природа их генерирует «добавочное» (вдобавок к литостатическому) давление в зоне магнообразования.

В Карымско-Семячинской вулкано-тектонической депрессии зона такого трансформного разлома была прямо откартирована Н. А. Гусевым по данным дешифрирования аэрофотоснимков

и канонизирована в обобщающей работе А. Е. Святловского [Святловский, 1975] (рис.6). Наличие этого разлома, по всей видимости, определяет локализацию в этой вулcano-тектонической депрессии целой серии кальдер образование которых сопровождается выбросами кислой пирокластики (кальдера Карымского озера, Карымского вулкана, вулкана Двор, кальдера в которой расположен вулкан Малый Семячик). Все они расположены вне связи с этим разломом, но он генерирует дополнительное давление в зоне магмообразования.

Обзор приведенного материала ясно показывает, что различие между кальдерами с образованием которых ассоциируются выбросы кислой пирокластики и вулcano-тектоническими депрессиями состоит в том, что образование кальдер всегда ассоциируется с мощными кальдерообразующими извержениями, начисто отсутствующими при образовании вулcano-тектонических депрессий. И, надо подчеркнуть, что отсутствие вулканического материала предположительно связанного с такими извержениями никак не может объяснено тем, что удален эрозией. На западном побережье к западу от Ичинской депрессии и в Центральной Камчатской депрессии условия для аккумуляции и сохранения даже самых неконсолидированных осадков идеальны.

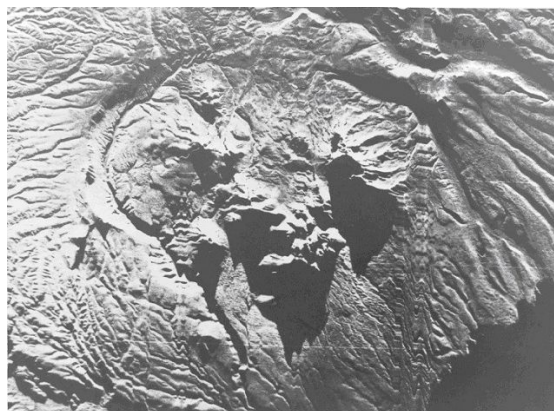


Рис. Радарный снимок вулcano-тектонической депрессии Большой Семячик. [Erlich, 1989].

На ряде примеров было показано, что образование кальдер этого типа отражает не момент опустошения питающего очага, а напротив момент внедрения интрузивных масс в верхние горизонты коры и образования промежуточной магматической камеры из которой и происходит питание посткальдерного вулканизма. Специфика петрологии серий вулканических пород, связанных с кальдерами разобрана в [Erlich, rgo-sib.ru].

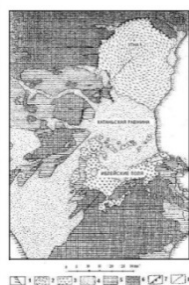


Рис.9. Геолого-структурная схема района вулкана Этна, Сицилия, Италия.

1 – современная береговая линия; 2 – Комплекс вулканических отложений вулкана Этна; 3 – Плиоценовые базальтовые покровы Иблейских полей; 4 – Рыхлые плиоценовые и четвертичные осадки, выполняющие вулкано-тектоническую депрессию; 5 – Плиоценовый осадочный комплекс, поднятый в четвертичное время; 6 – Складчатые доплиоценовые породы; 7 – Сбросы обрамления вулкано-тектонической депрессии; 8 – Региональные сбросы и сдвиги.

Учиывая все эти данные и была предложена модель образования этих структур названная моделью образования вулкано-тектонических депрессий типа Толбачик-Этна [Эрлих, 1989].

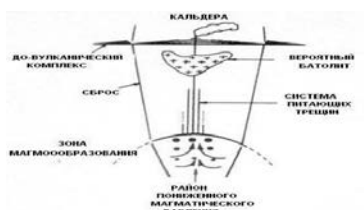


Рис. 10. Модель образования вулкано-тектонических депрессий типа Толбачик-Этна [по Эрлих, 1989].

Образованию кальдер, с которыми ассоциируются выбросы кислой пирокластики, посвящены работы П. Липмана [Lipman, 2000a, 2000b], А. Н Рогозин [Рогозин, 2008] Леонова и Гриб [Леонов и Гриб 2004]. Мной предложена модель их образования под названием вулкано-тектонических депрессий типа Хангар [Erlich, 1989].

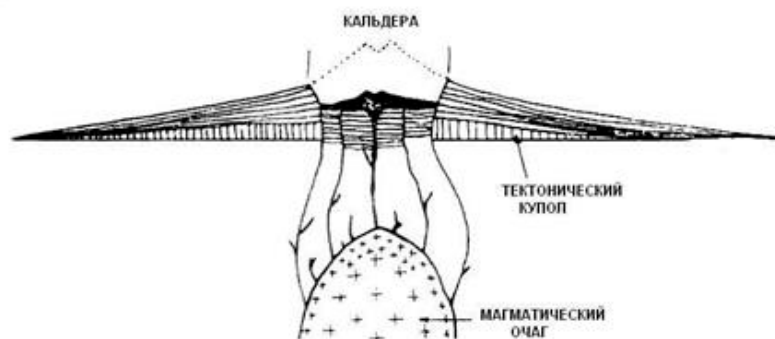


Рис.10. Модель образования вулкано-тектонических депрессий типа Хангар [Erlich, 1989].

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Аверьев В. В., А. Е. Святловский, 1961, Вулкано-тектонические структуры Южной Камчатки. //Известия АН СССР, сер. геол., № 6, стр. 98-100;

Апрелков, С. Е., 1971, Тектоника и история вулканизма Южной Камчатки.// Геотектоника, № 2, стр.105-111.

Белоусов В. И., И. В. Белоусова, 2020, Эволюция магматического очага гидротермально-магматической системы вулкана Кихпиньч, Камчатка// Proceedings, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California

Белоусов В. И., И. В. Белоусова, Ю. А. Филиппов, 2012, Образование гидротермально-магматических систем скарнового типа. proceedings, Thirty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 30 - February 1, 2012;

Белоусов В. И., И. В. Белоусова, 1992, Теплопередача в гидротермально-магматических системах. Proceedings, 41st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 22-24, SGP-TR-209.

Белоусов В. И., Э. Эрлих, 2010, Тепло Земли <https://sites.google.com/site/geobelousov/geotermia>.

Влодавец В.И., 1958, Вулканы и вулканические образования Семьячинского района Труды Лаборатории вулканологии. / Отв. ред. Пийп Б.И. Москва: Изд-во АН СССР. вып. 15. 195 с.;

Воронов П. С., Э. Н. Эрлих, 1962, Сдвиговые деформации в северо-западной части Сибирской платформы. Информационный сборник научно-исследовательского Института геологии Арктики (НИИГА), 28, стр. 17-28.

Красный Л. И., Эрлих Э. Н., 1973, Депрессии вулcano-тектонические. Геологический словарь, т. 1, стр. 217-218;

Коржинский Д. С., 1945, Формирование контактовых месторождений. Известия АН СССР, сер. геол. №3, стр. 18-33;

Леонов В. Л., Гриб Е. Н., 2004, Структурные позиции вулканизма четвертичных кальдер Камчатки.//Владивосток, Дальнаука, 170 стр.

Леонов В. Л., И. Н. Биндеман, А. Н. Рогозин, 2008, Новые данные по Ar-Ar датированию игнимбритов Камчатки.//Материалы VI региональной молодежной научной конференции, посвященной Дню Вулканолога. Петропавловск-Камчатский, ИвиС, ДВО РАН;

Маракушев А. А., И. А. Тарарин, 1964, О глубинности формирования гранитоидов. В кн. «Петрографические формации и проблемы петрогенезиса». XXII сессия МГК. Докл. сов. геол. М., «Наука» (in Russian);

Медведев А. Я., 2004 Пермо-триассовый вулканизм Северо-Азиатского кратона (Западно-Сибирская и Тунгусская синеклизы. Геология, петрология и геодинамика. Диссертация на соискание ученой степени доктора наук, СИБГЕОХИ, Иркутск, 306 стр.

Межвилк, А. А., 1984, Роль горизонтальных движений в образовании тектонических структур и минеральных месторождений Норильского района, Геотектоника, №1, стр. 99-110.

Рогозин А. Н., 2008, Карымчинская гидротермальная система (Южная Камчатка): новые данные о геологическом строении района.//Материалы VI региональной молодежной научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, ИвиС ДВО РАН, стр. 93-98;

Святловский А. Е., 1975, Региональная вулканология.//Москва, Недра, 225 стр.;

- Святловский А. Е., 1971, Структурная вулканология. // Москва, Недра 232 стр.
- Стовас М.В., 1963, К проблеме образования планетарных глубинных разломов // Докл. АН СССР, т. 135, № 2.
- Суворов А. И., 1978, Новейшая глобальная кинематика литосферы (на основе региональных тектонопар). Геотектоника, №2, стр. 3-18;
- Фишер Р., 1954, Несмесимость расплавов содержащих окислы тяжелых металлов, силикаты и фосфаты и значение несмесимости для геохимии и науки о рудных месторождениях // Экспериментальные исследования в петрографии и рудообразовании. Москва, Иностранная литература
- Шейнманн Ю.М. Очерки глубинной геологии. М.: Недра, 1966.
- Шеймович В. С., 19 Игнимбриты Камчатки.
- Эрлих Э., ред., 2009, Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. kcsnet.ru
- Эрлих Э. 2008, Кальдеры, кратеры, вулcano-тектонические депрессии. Rgo-sib.ru
- Эрлих Э.Н., 1966, Новые данные о вулcano- тектонических структурах Камчатки и вопросы развития четвертичного вулканизма // Геотектоника. № 6. С. 48-63.
- Эрлих Э. 2008, Кальдеры, кратеры, вулcano-тектонические депрессии. Rgo-sib.ru
- Эрлих Э.Н., 1973, Современная структура и четвертичный вулканизм западной части Тихоокеанского кольца. Новосибирск., Наука, 244 с.
- Эрлих Э., ред., 2009, Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. kcsnet.ru
- Эрлих Э.Н., 1973, Современная структура и четвертичный вулканизм западной части Тихоокеанского кольца. Новосибирск., Наука, 244 с.
- Эрлих Э.Н., 1966, Новые данные о вулcano- тектонических структурах Камчатки и вопросы развития четвертичного вулканизма // Геотектоника. № 6. С. 48-63;
- Bauer K., R. B. Trumbell R. B., and Vietor T., 2003, Geophysical Images and crustal model of intrusive structure beneath Messum ring complex, Namibia. Earth and Planetary Sci. Letters, 216, 65-80;
- Bemmelen R.W. van , 1949, Geology of Indonesia., vol. 1-3.
- Christiansen R. L., 2001, The Quaternary and Pliocene Yellowstone Plateau Volcanic Field of Wyoming, Idaho, and Montana. // U. S. Geol. Survey Prof. Paper 729-G, 146 p.
- Jackobsen J.K., Veksler I.V., Turner C., Brooks C.K., 2011, Crystallization of the Skaergaard intrusion from the emulsion of immiscible iron- and silica-rich liquids: evidence from melt inclusions in plagioclase // Journal of Petrology. v. 52. P.345-373.

Clifford T.N. 1966, Tectono-magmatic units and metallogenic provinces in Africa // *Earth and Planetary Science Lett.*, 1:321-436.

Erlich E.N., 1985, The geodynamics of the north-eastern Siberian platform and the regularities of kimberlite distribution in space and time // *Transactions of the Geological society of S. Africa*, vol.88. P. 2, pp.395-401.

Erlich E. I., 1989, Specific type of volcano-tectonic depressions surrounding groups of volcanoes. New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Bull. 131, Continental Magmatism, Abstracts of IAVCEI General Assembly, Santa Fe, p. 83;

Erlich E. N., 1985, The geodynamics of the north-eastern Siberian Platform and the regularities of kimberlite distribution in space and time. *Transactions of the geological Society of South Africa* 88:2, May-August 1985, pp. 395-402;

Kamo S. L., G.K. Czamanske, A. Amelin, D. W. Davies, R. Trofimov, 2002, Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence of coincidence with the Permian-Triassic boundary, *Earth Planet. Sci. Letters*, v.214, p. 75-91;

Lipman P. W., 2000a, The Central San Juan caldera cluster: regional volcanic framework.// *Spec. Paper Geol.Soc, America*, 346, 9-71;

Lipman P. W., 2000b, Calderas. In: Sigurdsson H., (Editor) *Encyclopedia of volcanoes*,//Academic Press, San Fransisco, pp. 643-556;

Minato M., M. Gorai M., and Hunahashi M., eds., 1965, *The Geological development of the Japanese Islands*. Tsukiji/Shokan, Tokyo, Japan, Ohta, Tokyo, 442 p.;

Milankovich M. . 1941. *Kanon der Erdbestrhlung und seine Auwendung auf des Enzein problem* // *Acad. Roy. Serbe, Ed. Sp. t. CXXXI, sec. De Sci. Math. et Nat.* 634 p. (in German).

Miyashiro A., 1967, Aspects of metamorphism in the Circum-Pacific region // *Tectonophysics*, 4. P. 4-6.

Schmandt B., Jacobsen S.D, Becker T.W., Liu Z., Dueker K.G., 2014, Earth's interior, 2014, Dehydration melting at the top of the lower mantle.//*Science*, Jun 13. 344(6189):1265-8.

Sonder R., 1956, *Mechanik der Erde*. Stuttgart., 482 p. (in German);

Erlich E. I., 1989, Specific type of volcano-tectonic depressions surrounding groups of volcanoes.//New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, Bull. 131, Continental Magmatism, Abstracts of IAVCEI General Assembly, Santa Fe, p. 83;

Erlich E. I., 1984, Geology of the calderas in Kamchatka and Kurile Islands in comparison with same structures of Japan and the Aleutians, Alaska.//*USGS Open-File Report* 86-291:300 p.

Jackobsen J.K., Veksler I.V., Turner C., Brooks C.K., 2011, Crystallization of the Skaergaard intrusion from the emulsion of immiscible iron- and silica-rich liquids: evidence from melt inclusions in plagioclase // *Journal of Petrology*. v. 52. P.345-373.

Waite G. P., and R. B. Smith, 2002, Seismic evidence for fluid migration accompanying subsidence of the Yellowstone caldera. // *Journal of Geoph. Res.*, v. 107, # B9, ESE 1-14;

Williams, H., 1941. *Calderas and their origin*. // California University Publ. Geol. Sci., 5, 239 p.

