

Н. Л. ДОБРЕЦОВ

Катастрофические извержения вулкана – готово ли к ним человечество?

Мы привыкли к постоянству окружающего нас мира и нередко болезненно воспринимаем все изменения внешней среды, что неудивительно: современному человечеству повезло, так как становление и развитие нашей цивилизации происходило в благоприятный и относительно «спокойный» планетарный период. Однако продолжительность жизни человека не превышает ста лет, индустриальному обществу лишь несколько столетий, а письменной истории человечества – не больше нескольких тысячелетий. В геологическом масштабе такие временные периоды очень короткие, в долгой же истории биосферы есть «записи» о многих катастрофических событиях глобального масштаба, таких как изменения климата, вызванные мощными вулканическими извержениями. И ученые научились их «читать», но пока не могут уверенно прогнозировать предстоящие катастрофы

«Год без лета»

Одно из самых последних крупнейших извержений произошло 74 тыс. лет назад на вулкане Тоба, расположенном в Индонезии в зоне так называемой *субдукции*, где океаническая кора погружается под литосферную плиту. Есть предположение, что в результате этой катастрофы драматически сократилась популяция предков современных людей (De Vivo *et al.*, 2001).

Со взрывом в I в. н. э. другого индонезийского вулкана – Кракатау – сегодня связывают самое резкое похолодание за последние 2 тыс. лет. А всего лишь 200 лет назад произошло мощнейшее извержение индонезийского вулкана Тамбора, в результате которого средняя глобальная температура понизилась примерно на 1 градус. Этот «год без лета» с чередой летних заморозков вызвал на огромных территориях Северного полушария, включая США, Канаду и Северную Европу, массовые неурожаи, что привело к голоду и болезням. Подобное явление назвали «вулканической зимой» по аналогии с «ядерной»: ее причиной стали огромные количества изверженной вулканической пыли и газов, которые попали в стратосферу, где и циркулировали в течение нескольких лет, рассеивая и отражая солнечное излучение, что привело к длительному похолоданию.

Среди приведенных выше примеров катастрофических извержений лишь одно можно формально отнести к так называемым *суперизвержениям*, при которых взрывные выбросы достигают не менее 1 тыс. км³ в твердом эквиваленте. Всего на Земле известно около 20 таких супервулканов, причем за последний миллион лет, как твердо установлено, извергались три из них: индонезийский Тоба, Йелоустон на северо-западе США и Таупо в Новой Зеландии. Есть основания полагать, что такие крупные извержения могли быть в других малонаселенных областях, например на Камчатке, но их свидетельства не сохранились или еще не найдены.

Однако, как мы видим, глобальные эффекты имеют и извержения меньшего масштаба: к примеру, выбросы при извержении Тамбора в 1815 г. составили «всего» 180 км³ пепла и вулканического материала (*тефры*). Поэтому в практическом смысле нам крайне важны все вулканы, которые могут выбрасывать в верхние слои атмосферы такой большой объем изверженных продуктов, что они с учетом особенностей атмосферной циркуляции могут вызывать выраженные и длительные изменения климата.

До недавнего времени считалось, что подобные события происходят достаточно редко – в среднем один раз в тысячелетие, что внушало определенный оптимизм с учетом продолжительности человеческой жизни. Но результаты последних исследований во льдах Гренландии и Антарктиды дают нам другие, шокирующие цифры.

Из-за своих последствий извержения вулканов представляют для человечества не меньшую, а, возможно, большую угрозу, чем атомная война, падение крупного метеорита или любые другие глобальные катастрофы. И, по-видимому, эту опасность мы недооцениваем.

Атомная война – угроза вполне реальная, но в наших силах не допустить ее возникновения. Что касается метеоритов, то у нас есть только догадки, косвенные доказательства вызванных ими биосферных катастроф – достоверных свидетельств нет.

Катастрофических извержений с заметными экологическими последствиями в истории человечества было много, включая извержения вулканов Тоба и Кракатау в Индонезии. Но самое крупное извержение, фактически экологическая катастрофа, грозившая уничтожением всему живому на Земле, произошло на границе перми и триаса 250 млн лет назад. И оно было связано с извержениями сибирских *траптов* – обширной вулканической системы на северо-востоке евразийского континента, где в течение около миллиона лет одновременно извергалось множество вулканов; а также с аналогичными магматическими событиями, которые, вероятно, произошли в океанах. К сожалению, пермская океаническая кора не сохранилась.

Считается, что эта вулканическая активность привела к вымиранию почти 80 % всех биологических видов (по численности более 90 %) – практически все живое на Земле погибло, хотя потом довольно быстро, по геологическим меркам, восстановилось. И то, что случилось один раз, может повториться, но возможность сохранения (или восстановления) человеческой цивилизации после такой катастрофы представляется маловероятной.

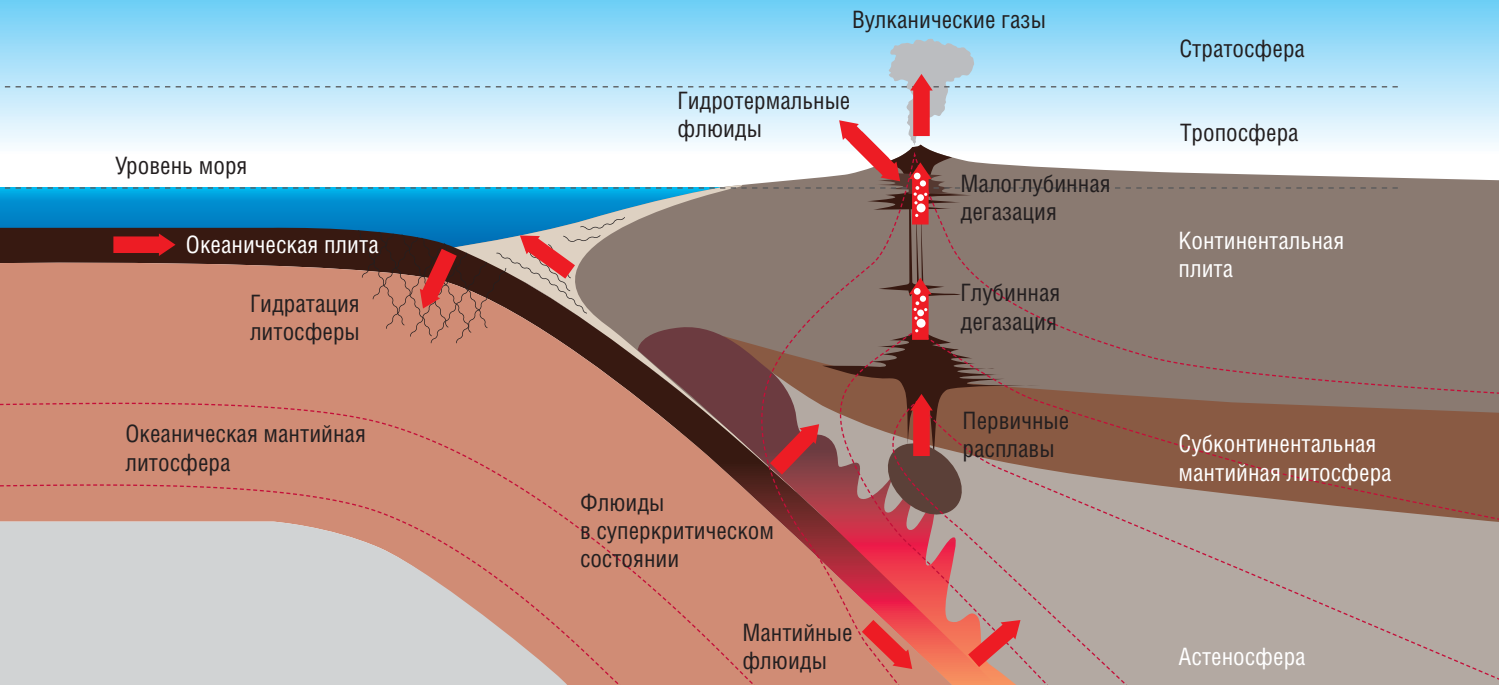
ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич – действительный член РАН, профессор, главный научный сотрудник лаборатории сейсмической томографии Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН (Новосибирск), заведующий кафедрой минералогии и петрографии геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета. Лауреат Ленинской (1976), Государственной (1997), Демидовской (1999 г.) премий, премии им. А. Н. Косыгина (2003). Автор и соавтор более 700 научных работ. Главный редактор журнала «НАУКА из первых рук»

Автор у кратера Штюбель, входящего в комплекс вулкана Коудач. Камчатка, 2018 г.
Фото И. Кулакова

Ключевые слова: вулканы, взрывные извержения, кальдеры, изменение климата.

Key words: volcanoes, explosive eruptions, calderas, climate change

© Н. Л. Добрецов, 2018



В механизме субдукции, в результате которой океаническая плита «уходит» под литосферную, участвуют различные механические, термические, гидродинамические, химические процессы. С зонами субдукции связаны наиболее сильные землетрясения и крупнейшие вулканические извержения, влияющие на глобальную климатическую систему Земли. В «рутинном» режиме некоторые активные вулканы способны выбрасывать в сутки десятки и сотни тысяч тонн различных газов, включая «парниковые». Среди них углекислый газ, окись углерода и метан (до 10–40% от общей атмосферной эмиссии), сернистый газ и сероводород (около 10%). По: (Zellmer et al., 2015)

Один раз в столетие?

Проследить историю катастрофических извержений, сопровождаемых стратосферными выбросами, стало возможным по находкам вулканического пепла, обнаруженного при бурении ледового покрова в Гренландии и Антарктиде. Сейчас по анализу состава найденных образцов ученые могут определить, откуда этот пепел пришел: с Камчатки, из Японии или других мест. Доклад на эту тему на международной вулканологической конференции в Петропавловске-Камчатском сделала в августе 2018 г. д. геогр. н. В. В. Пономарева (Ponomareva et al., 2013, 2015).

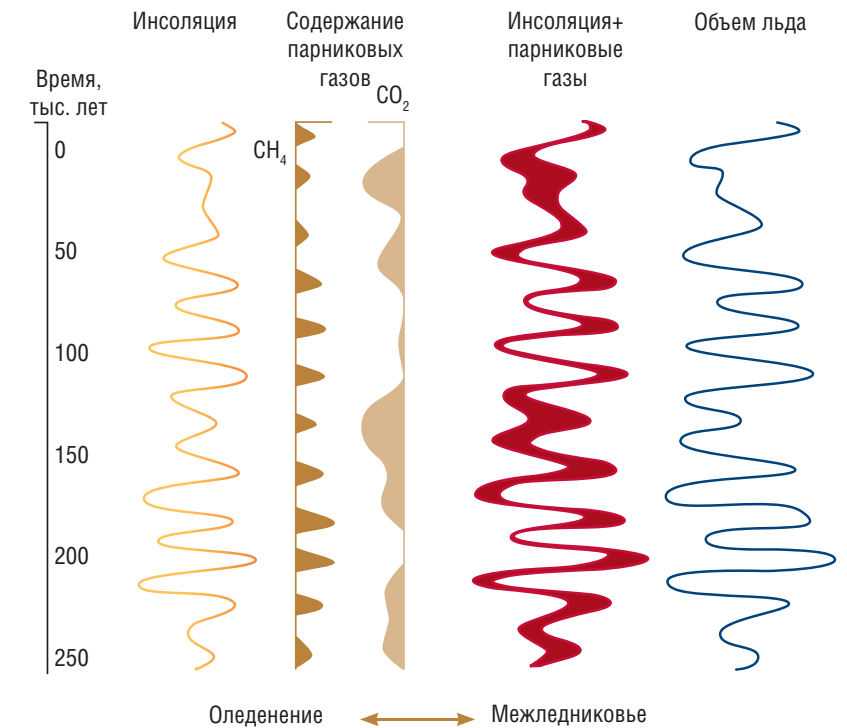
Число подобных работ возросло в десятки раз, правда, не в России, а в основном за рубежом. У нас подобными исследованиями занимаются специалисты из Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский) и Лимнологического института (ЛИН) СО РАН (Иркутск). Анализируя изменения изотопного состава серы в образцах льда со станций «Мирный» и «Восток», расположенных

в континентальной части Антарктиды, сотрудники ЛИН СО РАН обнаружили, как и их коллеги в Гренландии, следы вулканического пепла – свидетельство катастрофических извержений (Ходжер и др., 2011, 2015). Правда, при этом они не смогли установить, где эти извержения происходили.

Результаты изучения вулканического пепла в ледовых ядрах Гренландии и некоторых других ледников показали, что извержения примерно такого же масштаба, как Кракатау или Тамбор, происходили в среднем один раз в 100 лет, т. е. на порядок чаще! Другими словами, мы можем ожидать подобное событие уже в нашем столетии. Такая периодичность – это уже другой масштаб, другие ожидания, особенно с учетом нынешней численности человечества и степени освоения территории планеты.

Главная опасность ожидаемого катастрофического извержения состоит даже не в угрозе для местного населения, которая, бесспорно, велика, а в его глобальных последствиях: загрязнении и помутнении атмосферы из-за выброса пеплов и газа. Ведь даже при относительно

Глобальные астрономические факторы изменения климата связаны с циклами Миланковича длительностью 100, 41 и 23–19 тыс. лет. На их основе рассчитываются вариации инсоляции на поверхность Земли, на которые накладываются вариации выделения основных парниковых газов (метана и углекислого газа) с периодичностью 22 и 41 тыс. лет. Суперпозиция этих кривых дает суммарную кривую глобальных климатических изменений – от эпохи оледенения до межледниковья. Соответственно, объем льда на планете минимален в межледниковые эпохи, как в настоящее время, когда материковые льды сохранились только в Гренландии и Антарктиде. По: (Ruddiman, 2003)



небольшом извержении камчатского вулкана Безымянный в 1956 г., «проснувшегося» после 3 тыс. лет спокойствия, столб вулканического дыма в течение двух месяцев достигал 30, а временами и 80 км, а это означает, что выбросы очень долго циркулировали в атмосфере. К счастью, в то время не было самолетов, летающих так высоко, в противном случае воздушное сообщение могло быть парализовано лет на десять.

Сегодня с помощью спутников мы можем оценить детали и последствия извержений почти любого масштаба. К примеру, при последнем крупном трещинном извержении вулкана Толбачик на востоке Камчатки было выброшено много сероводорода, при окислении которого образуются и кристаллики самородной серы, потому что вулканическое облако можно было легко проследить: оказалось, что оно в течение нескольких лет «гуляло» по Азии и Арктике (Гордеев, Добрецов, 2017; Zelenski et al., 2014)

Кстати сказать, и сама сера из вулканических выбросов представляет собой немалую опасность.

Именно сероводород, окислившись до серной кислоты, мог стать одной из причин массовой гибели живых существ после извержения сибирских траппов. Серная кислота не только изливалась на головы всех живущих, но и заметно изменила состав кислотности водной оболочки планеты: рек, озер, не остался в стороне и мировой океан. А ведь в то время вся основная жизнь была сосредоточена именно в водной среде.

Не думаю, что сегодня возможен повтор катастрофы масштаба извержений сибирских траппов, но такой силы, как извержение вулкана Тамбора, – вполне возможен. И последствия подобного события для густонаселенной планеты будут катастрофичны, потому что оно повлияет не только на климат и сельское хозяйство, но и на промышленность, связь, транспорт... К примеру, в апреле 2010 г. в Исландии резко усилилась активность вулкана Эйяфьядлайокудль, что привело к выбросу в атмосферу не более 1 км³ тефры. В результате были отменены тысячи авиарейсов на севере Европы, и воздушное пространство над этой частью континента было практически закрыто на 10 дней. А если такой транспортный коллапс продлится месяцы или годы, да к тому же будет глобальным? Все последствия этого даже трудно сейчас представить...

В истории Земли периоды потепления всегда чередовались с периодами похолодания. Помимо астрономических факторов, на климат планеты оказывают влияние и глобальная океаническая «конвейерная лента» течений, которая зависит от расположения высоких гор и самих континентов. Один из самых важных факторов вариаций климата – изменение интенсивности и характера вулканизма с периодичностью до десятков тысяч лет, в результате чего в атмосферу может попадать огромное количество парниковых газов, намного превышающее современные антропогенные выбросы (Добрецов, 2010)



Участники международной вулканологической конференции рядом с системой вулкана Ксудач. Камчатка, 2018 г. Фото И. Кулакова

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА: ТАК ЛИ ВИНОВАТ CO₂?

Сегодня большинство обсуждений климатических изменений в СМИ сводятся к тому, что надо уменьшить антропогенные выбросы углекислого газа в атмосферу, чтобы уменьшить парниковый эффект, приводящий к потеплению климата. И, по мнению ряда зарубежных специалистов, современные суммарные антропогенные выбросы CO₂ примерно на порядок превышают вулканические.

Этот вопрос, безусловно, заслуживает детального изучения. Но вот что интересно: как свидетельствуют результаты исследований льдов Антарктиды и Гренландии, в которых сохранились древние воздушные «пузырьки», концентрация в атмосфере CO₂ менялась вслед за изменениями температуры, т. е. сначала менялся климат, а уже потом содержание углекислого газа в воздухе (Котляков, 2014; Добрецов, 2011). Так что есть вероятность, что сейчас мы путаем причину и следствие.

К этому же ряду следует отнести и пресловутую проблему разрушения озонового слоя вследствие выброса фреонов и других антропогенных соединений. Ученые из красноярского Института биофизики СО РАН разработали хорошо аргументированную и подкрепленную расчетами теорию о природном механизме, лежащем в основе динамики атмосферного озона (Кашкин, Хлебопрос, 2007; Хлебопрос, Кашкин, 2017)

Используя современные методы оценки объемов вулканических выбросов, мы можем распознать в прошлом Земли не только суперизвержения, но и другие крупные извержения, которые могли повлиять на климатическую систему Земли. Оценить это влияние можно как по прямым, так и косвенным признакам.

К первым относятся следы пеплов, которые обнаруживаются в Гренландии, в Антарктиде, на архипелагах Шпицберген и Новая Земля в Северном Ледовитом океане – сейчас мы можем точно установить, что эти осадки выпадали там не один год. К косвенным свидетельствам можно отнести изменения в глобальном содержании тех или иных элементов.

Например, это *аноксические события* в океанах, связанные с глобальным дефицитом кислорода, которые привели к отложению черных илов, обогащенных С и S. За период от 70 до 100 млн лет назад таких катастрофических ситуаций было несколько, и они до сих пор не нашли объяснения, порождая различные гипотезы. Если обнаружится, что эти черные илы коррелируют с вулканической активностью, мы сможем подобрать к причинам и механизмам, их породившим. Для этого надо продолжить исследование на ледниках, а также поиск других эффектов того же времени в океанских осадках. Масштаб этой работы огромный, и ее необходимо планировать.

Кстати сказать, специалисты ИВиС ДВО РАН и ЛИИ СО РАН, работающие с зарубежными коллегами, научились не только отслеживать во льдах вулканический пепел, но и оценивать по более тонким эффектам – изменению тех или иных изотопных отношений чувствительных элементов в выпавшем снеге – величину самого извержения (Ходжер и др., 2011; Ponomareva et al., 2015).

К примеру, сейчас мы знаем, что и наши камчатские вулканы способны забрасывать в верхние слои пыль и газ. Раньше в этом «подозревали» только вулкан Безымянный, который извергался последний раз в 1956 г. А теперь в тех же льдах Гренландии повсеместно обнаружены следы крупных извержений вулкана Ксудач, одного из самых интересных вулканических массивов Камчатки, который извергался дважды: в I и VIII вв. Высокая встречаемость этих пеплов свидетельствует о мощности извержения и больших объемах изверженного вещества, которое воздушными течениями на протяжении нескольких лет распространялось по всему миру.

Конечно, такие проекты – это, прежде всего, немалые деньги. В связи с этим не могу не привести показательный пример. Как известно, Гавайи представляют собой цепочку островов вулканического происхождения, которая обязана своим возникновением *мантийному плюму* – струе расплавленного вещества, поднимающейся с огромных глубин к поверхности планеты. Гавайскому

КОГДА СЕВЕРНЫЙ МАГНИТНЫЙ ПОЛЮС СТАНЕТ ЮЖНЫМ

Есть еще один катастрофический для человека природный феномен, который от нас не зависит, – это инверсия (смена полюсов) магнитного поля Земли. Периодичность его редкая: всего за последние 500 млн лет произошло около 500 таких событий, т. е. 1–2 инверсии за миллион лет. Внушает опасения тот факт, что последняя инверсия случилась около 800 тыс. лет назад. Срок приближается, но когда он наступит – через 30, 300 или 300 тыс. лет – никто не знает. Полюса, особенно Северный, и сегодня не стоят на месте, и временами их бег значительно ускоряется. К счастью, пока на короткий период. Но колебания будут происходить все чаще, и когда полюс перебежит 60-ю параллель, назад он уже не вернется. Процесс «раскачивания» и инверсии может занять до тысячи лет, и все это время человечеству придется туго. Правда, длительность переходного периода установлена очень приблизительно, потому что этой проблемой никто детально не занимался. Несмотря на то, что магнитное поле изучается уже более 300 лет, до сих пор не предложено ни одной правдоподобной

плюму уже 90 млн лет, и именно он «прожиг» в перемещающейся литосферной коре цепочку вулканов, как уснувших, так и активных. Гавайскую горячую точку более ста лет изучает специальный институт, большой и хорошо обеспеченный. Тем не менее до сих пор специалисты не знают, куда ведет след этого плюма – может быть, прямо к ядру?

Узнать это с помощью обычных геофизических методов затруднительно, так как остров маленький, а охват нужно делать большой. Американцы решили проблему, построив на дне океана целую сеть сейсмических станций. На это было потрачено около 4 млрд (!) долларов – чисто в познавательных целях. А еще говорят, что американцы намного практичнее, чем русские. Есть ли у нас хотя бы один подобный проект?

Сегодня уже хорошо известно, что угроза взрывных извержений с глобальными последствиями намного более реальна, чем представлялась ранее. И кажется логичным посвятить этой проблеме время и некоторые средства, хотя бы такие же 3–4 млрд долларов. Только нам, ученым в России, в отличие от американцев, их никто не предлагает.

К сожалению, активность вулканов от человека не зависит, мы не можем ни предотвратить, ни остановить извержения. В наших силах лишь уменьшить ущерб, если мы научимся предугадывать, прогнозировать такие катастрофические извержения и сможем каким-то образом подготовиться. Что конкретно можно сделать в этом направлении, пока непонятно, но если сформулировать это как глобальную проблему и привлечь внимание сообщества ученых, то появятся и конструктивные предложения.

гипотезы, почему, и, главное, как происходит инверсия. Хотя сами эти события «записаны» в вулканических лавах, где мы наблюдаем смену полярности и можем примерно оценить период, порядка 1 тыс. лет, за который она происходит.

В отличие от вулканов, задача здесь более понятна: нужно организовать усиленный мониторинг магнитного поля, прежде всего, колебаний положения самих магнитных полюсов. Известно, что при каждой инверсии Северный полюс, к примеру, «бегал» одним и тем же путем: через нашу Чукотку и Камчатку в Японию и дальше, через Австралию, к нынешнему Южному полюсу. Сейчас детальный мониторинг магнитного полюса ведет только соответствующая служба в Канаде, но этого явно недостаточно – здесь требуются объединенные усилия международных научных организаций, в том числе российских. Кроме того, провести исследование и расчеты, как повлияет ослабление магнитного поля и его хаотические вариации во время инверсии (около 1 тыс. лет) на работу электрогенераторов, электроприборов, связи, телевидения и т. д.

Литература
Добрецов Н.Л. Основы тектоники и геодинамики. Новосибирск: НГУ, 2011. 492 с.

Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг. (ТТИ-50) / Отв. ред. Е.И. Гордеев, Н.Л. Добрецов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 421 с.

Хлебопрос Р.Г., Кашкин В.Б. Антарктическая озоновая дыра – кто виноват? // НАУКА из первых рук. 2017. № 1. Т. 73. С. 20–27.

Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Осипов Э.Ю. и др. Свидетельство вулканических извержений Тамбора и Кракатау (XIX) по данным химического и электронно-микроскопического исследования снежно-фирновых кернов из района ст. Восток (Антарктида) // Лед и снег. 2011. № 1. С. 105–113.

Belousov A., Belousova M., Edwards B. et al. Overview of the precursors and dynamics of the 2012–13 basaltic fissure eruption of Tolbachik Volcano, Kamchatka, Russia // J. Volcanol. Geotherm. Res. 2015. V. 307. P. 22–37.

Ponomareva V., Portnyagin M., Derkachev, A. et al. Early Holocene M-6 explosive eruption from Ushkovsky volcano (Kamchatka) and its tephra as a link between terrestrial and marine paleoenvironmental records // Int. J. Earth Sci. 2013. V. 102. № 6. P. 1673–1699.

Ponomareva V., Portnyagin M., Pevzner M. et al. Tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific: chronology of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of volcanic glass // Intern. J. Earth Sci. 2015. V. 104. № 5. P. 1459–1482.