

ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПАТОМСКОГО КРАТЕРА

А. А. Савичев

Санкт-Петербургский государственный горный университет, Санкт-Петербург

a_savichev@mail.ru

Патомский кратер является необычной современной (возраст около 500 лет) вулканоподобной постройкой из глыб неопротерозойских известняков на северо-востоке одноименного нагорья. С момента открытия кратера В. В. Колпаковым в 1949 г. генезис объекта остается дискуссионным, в литературе обсуждалась различные варианты его импактного [1–3], вулканического [4–6] и криогенного происхождения [7].

Патомский кратер (ПК) представляет собой кольцевую структуру центрального типа и состоит из внешнего склона конуса, кольцевого вала, кольцевого рва и центральной горки [4]. Расположен на крутом (~30°) склоне юго-западной экспозиции и уже частично подвергся гравитационно-осыпным процессам. Диаметр гребня кольцевого вала составляет 70–80 м, а превышение над поверхностью склона 18–20 (до 40) м.

Кратер расположен в южном складчатом обрамлении Сибирской платформы, где ареалы кайнозойского вулканизма не установлены, ближайшее Удоканское вулканическое поле удалено на юго-восток более чем на 150 км. Геологическое строение района (по результатам ГК 1:200 000, 1964–69 гг.) определяет положение кратера на восточном, погружающемся на юго-запад под углом 20–25°, крыле крупной (ширина ~15 км) синклиальной складки, сложенной терригенно-карбонатными отложениями балаганаской серии с возрастом 900–1000 млн. лет. Характерной чертой разреза является наличие ряда прослоев «черных сланцев». Вмещающими для ПК являются серые графитизированные известняки мариинской свиты, внутри кратера найдены глыбы метапесчаников и филлитовидных сланцев подстилающих толщ, часто со следами гидротермально-метасоматических изменений.

Для уточнения геологической структуры объекта и построения его геолого-геофизической модели в ходе экспедиции «Патомский кратер-2010», прове-

денной при поддержке и участии ИФК «Метрополь», «Фонда содействию сохранения озера Байкал» и С. М. Миронова, проведены гравиметрические и магнитотеллурические (МТЗ) исследования [8, 9], а также маршрутные геологические наблюдения и комплексное минералого-геохимическое опробование.

Анализ геоэлектрического разреза позволяет распознать складчато-блоковое строение района ПК (рис. 2). В разрезе выделяется четыре горизонта низкоомных графитизированных пород, смятых в складки более мелких порядков. Ядро синклинали в районе пикетов 1–4 осложнено двумя крутопадающими разломами, ограничивающими узкий (600–800 м) тектонический клин, к которому приурочен Патомский кратер. Особенностью данного блока является исчезновение в разрезе выдержанных по мощности и простирацию низкоомных горизонтов, соответствующих «черным сланцам», а также присутствие в близповерхностной части известняков мариинской свиты. При геологическом обследовании установлено, что контакты известняков с метапесчаниками подстилающей конкудерской свиты являются тектоническими. Таким образом, в районе исследований карбонатные отложения представляют собой эрозионный останец – узкий грабеновидный тектонический клин северо-западной ориентировки, разделенный более молодым субмеридиональным разломом на две части – приподнятую восточную и «просевшую» западную, к которой и приурочен ПК (рис. 3). Гравиметрические исследования, проведенные Д. Ю. Дежжко и И. А. Угрюмовым в 2010 г., показали наличие под Патомским кратером куполовидной отрицательной аномалии, соответствующей зоне разуплотнения пород [9]. По всей вероятности, ей соответствует мощная карстовая полость, в настоящее время заполненная льдом.

Комплекс проведенных геолого-геофизических исследований значительно сужает круг существующих генетических моделей кратера. Морфострукту-

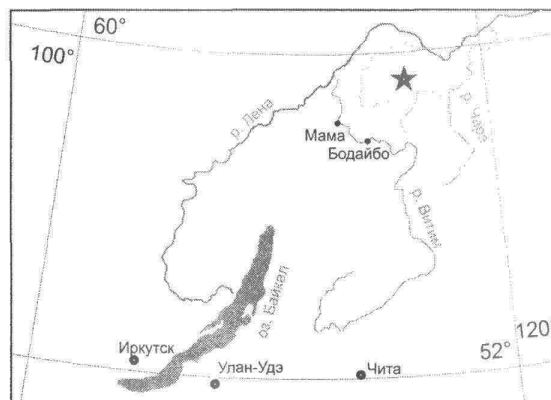
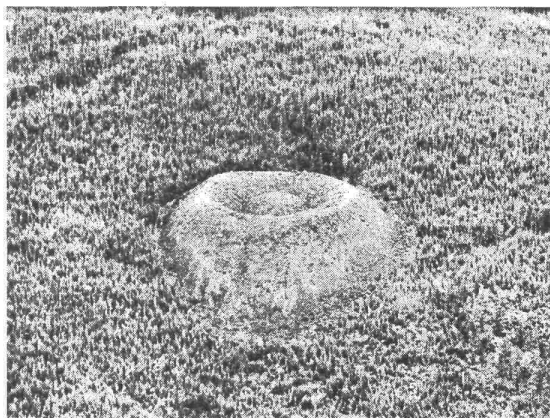


Рис. 1. Патомский кратер, вид с вертолета (фото А. А. Кара. На врезке – местоположение объекта).

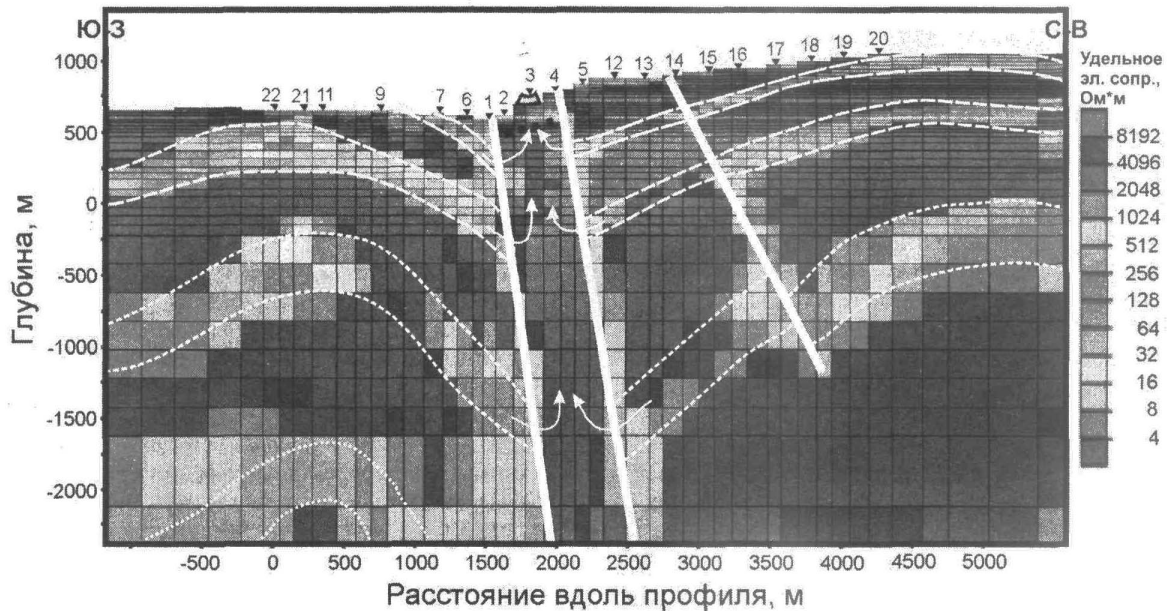


Рис. 2. Геологическая интерпретация геоэлектрического разреза МТЗ [8] через Патомский кратер. Белыми жирными линиями показаны разрывные нарушения, черной пунктирной — подошва известняков маринской свиты, белыми пунктирными — горизонты углеродистых пород, стрелками — возможные пути миграции метана

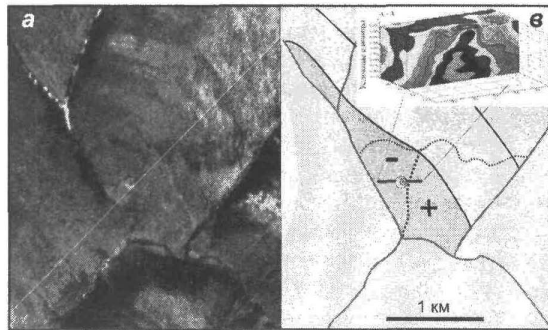


Рис. 3. Космоснимок (спутник Spot-2, разрешение 20 м на пиксель, белая линия — профиль МТЗ) района Патомского кратера (а), схема его дешифрирования (б) и гравитационная аномалия под кратером [9] — сечение куба в системе «VECTOR» (в)

ра насыпного конуса, отсутствие в нем пород зювитагамитового состава и специфичность гравитационного поля позволяет с большой вероятностью отвергнуть импактное происхождение Патомского кратера. Генетические модели, соотносящие ПК с традиционными [4, 5] и грязевыми [6] вулканами, находят серьезное ограничение ввиду отсутствия на геоэлектрическом разрезе вертикального флюидоподводящего канала глубинного заложения, являющегося неотъемлемой их частью.

Развитие изучаемой современной структуры в зоне многолетнемерзлых пород (ММП) придает криогенным процессам ведущую роль в процессе формирования Патомского кратера, который следует рассматривать как необычный гидролакколит. Такие образования широко распространены на севере Канады, Гренландии, в Якутской тундре, где имеют местные названия — пинго или булгуньяхи. Сегрегационные пинго располагаются на плоских равнинных участках и являют собой результат вы-

давливания на поверхность деятельного слоя линзой льда при промерзании термокарстовых озер. Инъекционно-сегрегационные пинго могут наблюдаться в нижних, выположенных частях склонов гор, где образуются в условиях открытой системы — при вымораживании на поверхность скопившихся в ловушке подмерзлотных вод.

Строение криолитозоны исследуемого региона хорошо изучено на сопредельных территориях Западной Якутии. Там на водораздельных площадях она представлена чередующимися ярусами мерзлых, морозных и охлажденных ниже 0°C горных пород и имеет общую мощность около 850 м. Важнейшей особенностью криолитозоны является наличие газовых «подушек», накапливающихся под подошвой многолетнемерзлой толщи. Вблизи Патомского кратера В. И. Исаевым в газах, извлеченных из воды, установлены концентрации метана, достигающие 4%, что даёт основание предполагать присутствие в районе исследований газовых гидратов [6]. Согласно данным В. С. Якушева в континентальных условиях при среднегодовой температуре поверхности –6°C гидраты метана стабильны на глубинах 230–550 м [10].

Возникновение крупного гидролакколита в пределах рассмотренного Патомского тектонического клина, по мнению автора, определяется уникальным совпадением геологических факторов: развитием ММП, изменяющих свою мощность под влиянием внешних и внутренних причин, наличием в зоне ММП «пробки» карстующихся известняков — коллекторов для метана или его газогидратной формы, и присутствием подстилающих горизонтов «черных сланцев» — потенциальных генераторов метана.

Ретроспективный анализ изменения среднегодовых температур за последнее тысячелетие показывает, что начало формирования кратера, определенное дендрохронологическим методом [4], точно совпадает

ет с самым значительным похолоданием на рубеже XV–XVI веков, известным как «малый ледниковый период». Похолодание могло спровоцировать переход метана, накопленного в карстовой ловушке под нарастившими свою мощность ММП, в газогидратную форму. Переход метан → гидрат метана проходил с выделением значительного количества энергии, вследствие чего из-за восходящего теплопотока, вероятно, происходило локальное протаивание ММП. Высвободившиеся напорные воды поступили в поровое пространство (фазовый переход метан → гидрат метана происходит со значительным уменьшением занимаемого пространства) и, поднимаясь вверх по ослабленной зоне, замерзли, что привело к увеличению объема и выворачиванию глыб известняков на поверхность с образованием насыпного конуса.

Современный облик кратера стал оформляться с XVIII века, когда наступила фаза потепления, и «ледяная пробка» под Патомским кратером начала медленно протаивать, вызывая медленное опускание вершины большого конуса с образованием центральной горки. Не исключено, что таяние ледяного стержня гидролакколита происходило не только в кровле, но и в подошве ММП, где могло быть вызвано поступлением глубинных флюидов. На эту мысль наводит необычная картина с отсутствием стратификации «черных сланцев» на геоэлектрическом разрезе в пределах Патомского клина. Возможным её объяснением могут служить тектоно-метасоматические процессы, происходившие со значительным перераспределением углеродистого и карбонатного вещества во время девонской активизации региона. Минералогическо-петрографические исследования метасадочных пород кратера показали, что они были подвержены полистадийным гидротермальным изменениям (карбонатизация филлитов, березитизация метапесчаников, образование галенит-кварцевых и флюорит-карбонатных жил с приальбандовой графитизацией в известняках), указывающим на историческую флюидо-активность в зонах тектонических нарушений. Такие наблюдения ставят вопрос о необходимости дальнейшего изучения роли современных эндогенных про-

цессов при формировании этой уникальной геологической структуры.

Литература

1. Колпаков В.В. Загадочный кратер в Патомском нагорье // Природа. 1951. № 1–2. С. 58–61.
2. Портнов А.М. Патомский кратер — след Тунгусского явления? // Земля и Вселенная. № 1. 1993. С. 77–81.
3. Симонов И.В., Бивин Ю.К. Математическое и экспериментальное моделирование образования уникального Патомского кратера. Препринт № 803. М.: Институт проблем механики РАН, 2006. 21 с.
4. Антипин В.С., Воронин В.И., Федоров А.М. Патомский кратер в Восточной Сибири // Природа, № 9. 2008. С. 69–75.
5. Антипин В.С., Федоров А.М. Происхождение Патомского кратера (Восточная Сибирь) по геолого-геохимическим данным // ДАН. Т. 423. №3. 2008. С. 361–366.
6. Исаев В.П., Исаев П.В. Патомский вулкан / Патомский кратер: научные исследования в XXI веке. М., 2011. С. 76–87.
7. Савичев А.А. Геология, вещество и криолитозона района Патомского кратера — ключ к разгадке феномена. / Патомский кратер: научные исследования в XXI веке. — М. 2011. С. 104–124.
8. Миронов С.М., Ингеров О., Егоров А.С. и др. Предварительные результаты электроразведочных работ АМТ-МВЗ экспедиции «Патомский кратер-2010» // Геофизика. 2011. № 2. С. 35–41.
9. Демежко Д.Ю., Бычков С.Г., Уерюмов И.А. Гравиметрические исследования Патомского кратера / Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Матер. 38-й сес. Междунар. науч. семинара им. Д. Г. Успенского (Пермь, 24–28 января 2011 г.). Пермь: ГИ УрО РАН. С. 97–100.
10. Якушев В.С., Перлова Е.В., Махонина Н.А. и др. Газовые гидраты в отложениях материков и островов // Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева, 2003. Т. XLVII, № 3. С. 80–90.