

Вулкан Толбачик: гавайские извержения на Камчатке

А.Б.Белоусов, М.Г.Белоусова,
кандидаты геолого-минералогических наук
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
Петропавловск-Камчатский



В мире нет двух одинаковых вулканов. У каждого свои неповторимые размеры, форма, рисунок поверхности склонов. Характер и частота извержений даже у соседствующих вулканов сильно различаются. На облик и поведение вулкана оказывают влияние объем и состав извергаемых магм, степень их газонасыщенности и многие другие факторы, например, местный климат. Вулканы имеют сложную и длительную (до нескольких сотен тысяч и даже миллионов лет) историю развития, которая запечатлевается в последовательностях отложенных слоев лав и пирокластике, отражается в строении их конусов.

Вести из экзотических

Необычный вулкан Камчатки

Постройка Толбачика состоит из двух сросшихся конусов, форма которых определила их названия (рис.1). Острый, высотой 3672 м, более древний, считается потухшим. На глубоко эродированных склонах траверсируются вертикальные стенки многочисленных даек — заполненных застывшей магмой подводящих трещин прошлых побочных извержений. С юго-восточной стороны конус Острого Толбачика обрывается крутым цирком гигантского обвала, а с востока к нему плотно прилегает сильно усеченный конус вулкана Плоский Толбачик высотой 3065 м. Среди активных вулканов Камчатки он выделяется извержениями базальтовой магмы, обладающей относительно малой вязкостью. Потому-то он и плоский. Несколько раз за последние 10 тыс. лет на его склонах раскрывались трещины, по которым жидкая магма оттекала из неглубокого очага, и макушка конуса проваливалась внутрь, образуя небольшую вершинную кальдеру. Она при последующем возобновлении

© Белоусов А.Б., Белоусова М.Г.,
2013



Рис.1. Вулкан Толбачик. Вид с севера. Новое извержение происходит на южном склоне Плоского Толбачика. На переднем плане — вулкан Безымянный с подковообразным кратером, знаменитый своим мощным обвалом и взрывом в 1956 г. В отличие от маловязких базальтов Толбачика, Безымянный извергает очень вязкие андезиты.

Здесь и далее (кроме рис.2) фото А.Б.Белюсова

вулканической активности постепенно заполнялась горизонтальными слоями лавы, пока не происходило новое проседание. В результате сформировался легко узнаваемый сильно усеченный конус. На его плоской вершине видны следы нескольких вложенных одна в другую небольших кальдер.

Низкая вязкость магмы определяет характер извержений Толбачика — они очень похожи на гавайские. В вершинной кальдере вулкана время от времени появляется озеро расплавленной лавы (последнее существовало в 1967—1970 гг.). Когда же на склонах происходят побочные прорывы, вдоль раскрывшихся протяженных трещин выбрасываются высокие огненно-красные лавовые фонтаны, и жидкая, как вода, лава растекается на многие километры. Цепочки шлаковых конусов, трассирующие трещины прорывов, расходятся от Плоского Толбачика в двух основных направлениях (рифтовых зонах) — северо-восточном и южном. В XX в. побочные извержения вулкана происходили только в более крупной южной зоне — в 1941 и 1975—1976 гг. Во время последнего — Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) — на поверхность поступило более 1 км³ базальтовой магмы (объемы лавы и пирокла-

стики пересчитаны на объемный вес магмы 2.7 г/см³), и образовалась самая молодая вершинная кальдера размером 1.3×1.6 км и глубиной 500 м. Это извержение входит в шестерку крупнейших трещинных извержений мира [1—3].

Продукты извержений Толбачика схожи с отложениями вулканов Гавайских о-вов, и для их классификации используется та же терминология, происходящая от языка аборигенов (которые когда-то съели капитана Кука). Тонкие, протяженные лавовые потоки с относительно гладкими поверхностями (часто причудливо изогнутые — кишечные, канатные и др.) носят название «пахойхой» (в переводе — «можно ходить голыми пятками»). Более толстые потоки с шлаковой занозистой мелкоглыбовой поверхностью красноречиво именуются «аа» — по ним даже в ботинках ходить невозможно. Длинные нити стекла, образующиеся при выбросах-выплесках жидкой лавы из озер, носят название «волосы Пеле» — в честь языческой богини вулканов. Пирокластика Толбачика представлена также легкими вулканическими шлаками (черным пузыристым базальтовым стеклом) и разнообразными по форме витыми бомбами (выброшенными взрывами и застывшими в полете кусками жидкой лавы).

Трещинные извержения маловязких базальтовых магм нетипичны для Камчатки. В исторический период еще только вулкан Горелый в середине XVIII в. произвел подобное извержение. Большинство же здешних вулканов извергают значительно более вязкие андезито-базальтовые и андезитовые магмы, характер извержений которых совершенно иной. Они более взрывные, выбрасывают много пирокластики и сопровождаются излиянием коротких толстых лавовых потоков с крупноглыбовой поверхностью или выжиманием крутосклонных лавовых куполов, которые, как пробки, запечатывают жерло вулкана.

Возможность увидеть на Камчатке извержение гавайского типа предоставляется нечасто, и долгосрочный прогноз активности Толбачика, казалось, оставлял на это мало шансов. Прогноз основывался на оценках продуктивности вулкана (среднего объема магмы, поступающей на по-

верхность в единицу времени). Считалось, что после крупного события 1975—1976 гг. Толбачику потребуется более 200 лет, чтобы в его питающей системе накопилось количество магмы, достаточное для нового значительного извержения [1, 3].

Извержение 2012—2013 гг.

Совершенно неожиданно рано утром 27 ноября 2012 г. сейсмостанции стали регистрировать под Толбачиком рой слабых землетрясений на глубинах менее 5 км. Развитие событий было столь стремительным, что вулканологи не успели дать предупреждение о приближающемся извержении. Эпицентры толчков быстро переместились на южный склон Плоского Толбачика, где вечером того же дня открылась трещина, и началось новое извержение (рис. 2).

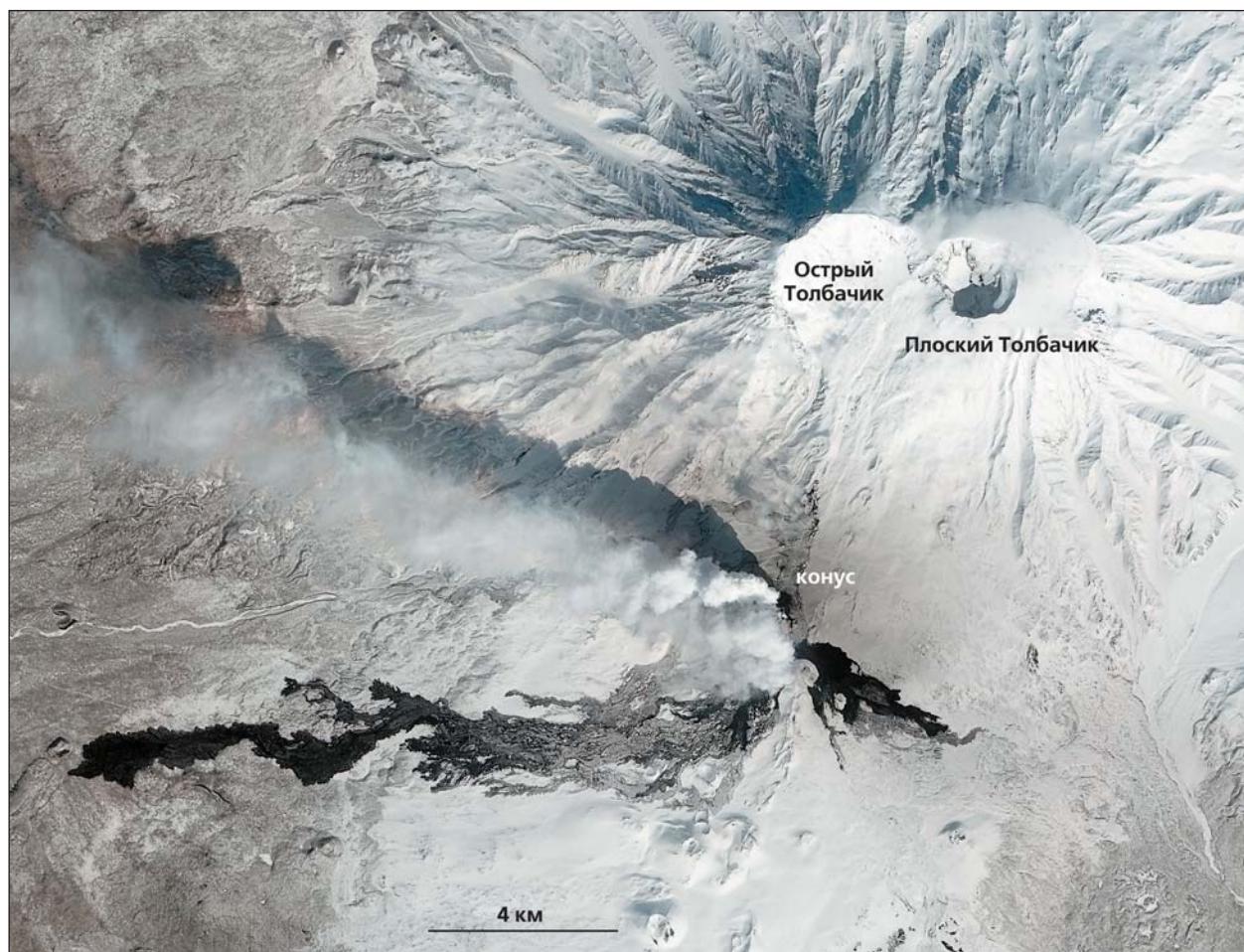


Рис.2. Толбачик 5 апреля 2013 г. В верхнем правом углу — сросшиеся конусы Острого и Плоского Толбачика. На вершине Плоского Толбачика хорошо видна кальдера 1975—1976 гг. Над активным шлаковым конусом Набоко поднимается облако вулканических газов, которое сносится ветром к северо-западу. К северу от конуса тонкая серая линия — верхний участок трещины, активной в первые дни нового извержения. К югу от конуса видны свежие лавовые потоки последнего извержения (более старые, припорошенные снегом выделяются серым, а самые последние — черным цветом).

Космический снимок со спутника «EO-1 ALI» (NASA), <http://earthobservatory.nasa.gov>

В первые дни извержения плохая погода не позволяла увидеть детали происходящего, и только 29 ноября облет места прорыва на вертолете показал, что радиальная трещина побочного прорыва состоит из двух участков (северного и южного) общей длиной 3,5 км, расположенных на высотах 1500—2000 м. Вдоль трещины образовались многочисленные небольшие шлаковые конусы, из которых фонтанировала и изливалась жидкая лава. Высота выбросов бомб достигала 200 м. Облако извержения поднималось на высоту нескольких километров, и выпавший пепел покрыл поверхность снега на расстоянии в 60 км. Лавовые потоки типа «аа» быстро двигались вниз по склону в южном и юго-западном направлениях. В 9 км от трещины они достигли верхней границы березово-лиственничного леса и, как гусеницы гигантского танка, начали проламывать просеки. Крутая фронтальная часть наступающей лавы имела вид широкой огненной стены высотой до 12 м. Вскоре лава перерезала единственную дорогу, ведущую к Плоскому Толбачику.

Вблизи подножия вулкана нет населенных пунктов, и извержение не представляло прямой угрозы. Ближайший поселок лесопромышленников Козыревск с населением около 2000 расположен в 40 км к северо-западу от места извержения. Здесь находится приемный пункт региональной сети телеметрических сейсмостанций с веб-камерой, направленной на вулкан Безымянный, которую с началом нового извержения переориентировали на Толбачик. Возможность наблюдать происходящее через Интернет получили все желающие. Это способствовало небывалому наплыву туристов, которые, несмотря на тридцатиградусные морозы (кто на вертолете, кто на снегоходе, а кто и на лыжах, в зависимости от толщины кошелька и личного мужества), стремились добраться до извергающейся лавы.

К 30 ноября на каждом участке образовавшейся трещины осталось по одному действующему шлаковому конусу, получивших имена известных советских вулканологов — А.А.Меняйлова и С.И.Набоко. 1 декабря вулканическая активность сосредоточилась на самом южном конце эруптивной трещины. Быстрое сокращение числа действующих жерл часто наблюдается при подобных извержениях: магма в узкой трещине быстро застывает, и извержение продолжается только на гипсометрически самом низком участке прорыва, где гидростатическое давление магмы максимально. В кратере продолжающего действовать подковообразного шлакового конуса Набоко непрерывно фонтанировало и плескалось небольшое лавовое озеро, выбрасывая ошметки жидкой лавы, легкий вулканический шлак и волосы Пеле. Быстрая огненная река лавы с расходом 30—50 м³/с вытекала из озера на склон вулкана (рис.3). Скорость течения лавы достигала 2—3 м/с, а температура, измеренная термопарой, составляла 1060—1080°C.

Первые порции изверженной лавы содержали 54% SiO₂, позднее его количество снизилось до 52%. К середине декабря длина потоков достигла 17 км. После этого увеличение протяженности потоков прекратилось, и формирующееся лавовое поле стало наращивать площадь и толщину. Это связано с тем, что предельная протяженность лавового потока определяется в основном величиной расхода лавы, который, как правило, максимален в начале извержения.

Казалось, что извержение должно скоро прекратиться, однако этого не случилось. В январе 2013 г. активность стала более ровной, сходной по характеру с Южным прорывом извержения 1976 г. [2]. Средняя высота выбросов вулканических бомб уменьшилась до 100 м. Лава перестала изливаться непосредственно из шлакового конуса, а начала вытекать через систему лавоводов — тоннелей в лавовом поле диаметром несколько метров и длиной 1—2 км. В их кровле образовалось несколько провалов — отдушин, из которых выходили раскаленные газы, а на глубине нескольких метров была видна быстротекущая лава (рис.4). Она выходила из тоннелей в виде протяженных лавовых рек глубиной 3—5 м (рис.5, 6)



Рис.3. Река расплавленного базальта с температурой более 1000°C. 25 января 2013 г.



Рис.4. Провал в кровле лавовода с текущей лавой. 19 марта 2013 г.



Рис.5. Выход лавового потока из основной лавовой трубы. 19 марта 2013 г.



Рис. 6. Лавовая река, выходящая из лавовода в 1 км от активного шлакового конуса. Вулканолог в теплоизолирующем костюме отбирает пробу базальтового расплава. 19 марта 2013 г.



Рис.7. Фронт активно движущегося лавового потока типа «аа». 18 марта 2013 г.



Рис.8. Канатная поверхность лавового потока типа «пахойхой». 8 апреля 2013 г.

и далее распространялась по склонам вулкана в виде потоков типа «аа» (рис.7). Лавовые реки часто тащили куски затвердевшего материала (обрушившейся кровли лавоводов, оторванные борта лавовых рек), которые иногда запруживали русло, что вызывало широкие разливы лавы, застывающей в форме «пахойхой» с канатной или кишечной поверхностями (рис.8).

На отдельных участках через поверхность и борта потоков «аа» медленно выдавливалась их внутренняя пластичная часть, принимая форму почти сферических подушек — так называемых тюбиковых лав. Рост подушек и продвижение потоков тюбиковой лавы происходит настолько медленно, что почти незаметно для человеческого глаза.

К концу мая, когда расход лавы уменьшился примерно до $15 \text{ м}^3/\text{с}$, тюбиковые выжимки стали преобладать над всеми остальными типами лавовых излияний и сформировали обширный покров в южном секторе лавового поля (рис.9).

В течение лета уровень лавы в лавоводах постепенно понижался, и к концу лета они полностью опустели. Лавовое озеро в кратере конуса Набоко исчезло. В эксплозивной активности кратера наблюдалось несколько пауз продолжительностью до трех дней. Многим казалось, что



Рис.9. Фронт тюбиковой и кишечной лавы в 3.5 км от активного конуса. 28 мая 2013 г.

извержение закончилось. Однако в момент написания статьи (начало сентября) слабые выбросы из двух жерл на дне кратера свидетельствовали, что побочный прорыв еще не прекратил свою деятельность.

Чем для науки интересно новое извержение?

Толбачик извергается уже более девяти месяцев. Объем излившейся лавы пока точно не определен, но, по предварительным оценкам, он составляет около 1 км³ лавы. На Земле извержения такого масштаба происходят нечасто, а для Камчатки это, безусловно, одно из самых значительных извержений за исторический период [4]. Крупно-объемные трещинные базальтовые излияния еще более редки. Они характерны для океанического вулканизма горячих точек — Исландии, Канарских и Гавайских о-вов, о.Реюньон. Но Камчатка — зона субдукции. Здесь абсолютно другая геотектоническая обстановка, и такие извержения для нее не типичны. Новое извержение Толбачика предоставляет исследователям редкую возможность детально проследить эволюцию

разнообразных геологических и геофизических параметров эруптивного процесса крупного трещинного базальтового извержения, происходящего в обстановке зоны субдукции. Для фундаментальной науки важно понять закономерности генерации, накопления, подъема и извержения больших объемов базальтовой магмы. С практической точки зрения, надо научиться предсказывать начало подобных извержений, прогнозировать их силу, объем и продолжительность, понять закономерности формирования обширных лавовых полей.

Длительность и относительно спокойный характер трещинных извержений позволяют организовать их систематическое комплексное изучение, дают возможность проводить прямые наблюдения разнообразных явлений, сопровождающих эруптивный процесс. Например, особенностью первого этапа нового извержения Толбачика было активное продвижение лавовых потоков по обширной местности, покрытой глубоким (до 2 м) снегом (рис.10). Считалось, что лава с температурой более 1000°C должна мгновенно растопить снег и вызвать образование протяженных лахаров (грязевых потоков вулканического происхождения). Ожидалось, что чем толще снеговой

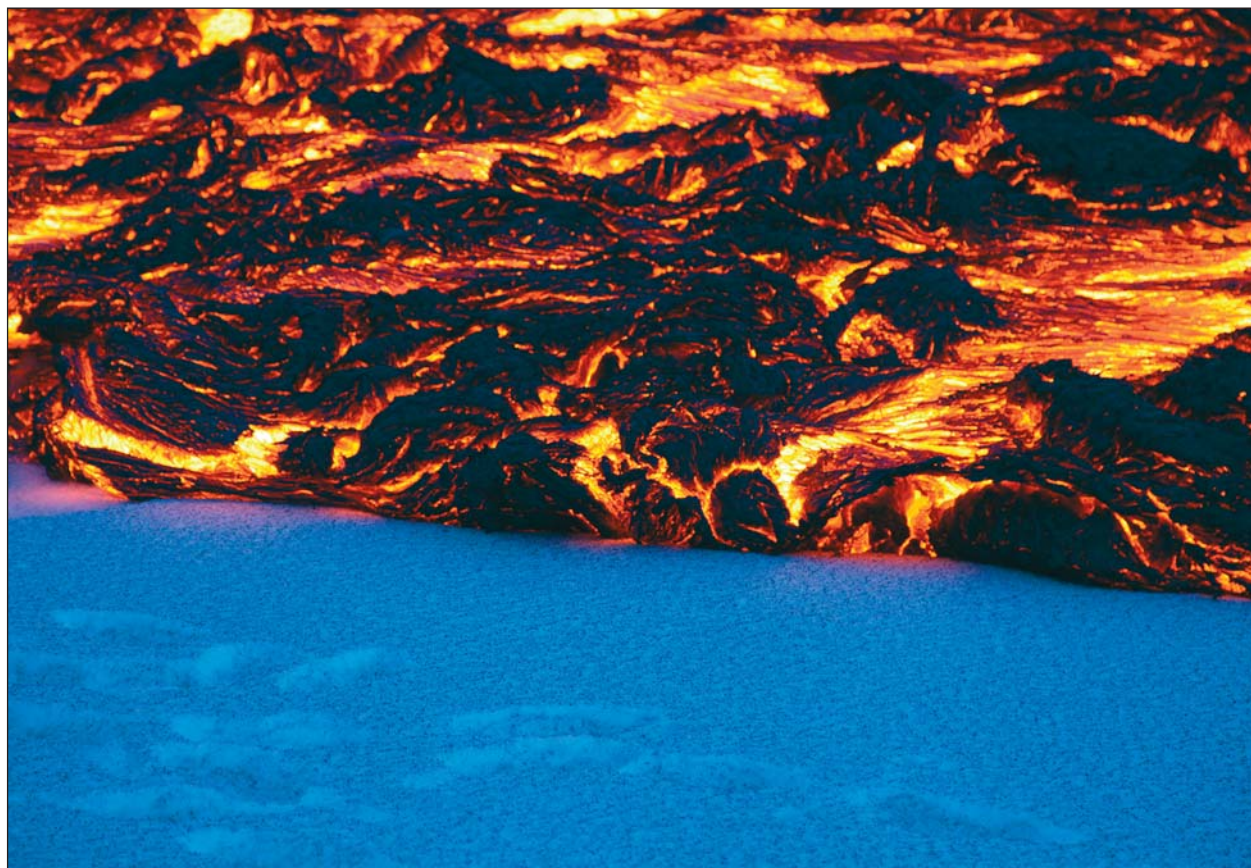


Рис.10. Поток жидкой лавы, быстро заливающий снег без какого-либо видимого взаимодействия. Светлые пятна на снегу — следы человека. 4 апреля 2013 г.

покров, тем мощнее будет лахар. Действительность же оказалась совершенно иной: грязевые потоки не образовались вовсе или были очень маленькими, протяженностью не более нескольких сотен метров. С удивлением мы наблюдали, как фронт лавового потока типа «аа», слегка похрустывая, медленно насыпается-наезжает на более чем метровый слой плотного снега, который ведет себя как обыкновенный песок. Конечно, через несколько часов или даже дней снег под лавовым потоком медленно таял, но внешне это почти никак не проявлялось. Оказалось, что передача тепловой энергии от лавы к снегу происходит очень медленно. И ее скорость недостаточна, чтобы быстро растопить снежный покров. Во-первых, снег белый и отражает большую часть теплового излучения. Во-вторых, шлаковатая поверхность глыб потоков типа «аа» имеет такую низкую теплопроводность, что снег даже при прямом контакте с «аа»-лавой тает очень медленно, и весь небольшой объем образующейся талой воды просто впитывается в грунт. Тюбиковые лавы ведут себя совершенно иначе. Они движутся чрезвычайно медленно (около метра в час) и не имеют теплоизолирующей шлаковатой поверхности. Снег перед фронтом их потока успевает частично растаять, частично испариться, и лава ползет под толстым снеговым покровом, приподнимая его в виде купола. Большие куски снега оказываются на поверхности потока, где постепенно тают. Талая во-

да просачивается вниз в толщу раскаленной массы, вскипает и испаряется. Это вызывает быструю закалку лавы с образованием гиалокластитов (раздробленных термическим шоком вулканических стекол).

«Гавайское» извержение Плоского Толбачика продолжают изучать сотрудники Института вулканологии и сейсмологии вместе с коллегами из других учреждений РАН и из Камчатского филиала Геофизической службы России [5]. Организовано почти непрерывное наблюдение динамики извержения, проводится регулярный отбор образцов изливающейся лавы для петрологических и геохимических исследований, несколько раз удалось отобрать пробы высокотемпературных (более 1000°C) вулканических газов. Проводятся сейсмологические и геодезические наблюдения. Два раза выполнялась площадная аэрофото- и инфракрасная съемка формирующегося лавового поля. Однако помимо объективных трудностей (сурового высокогорного климата, отсутствия источников питьевой воды) особенно серьезную проблему представляет недостаток финансирования. Сейчас, например, один час работы вертолета «МИ-8» на Камчатке стоит 160 тыс. руб., и до объекта исследования иногда просто невозможно добраться. Научные результаты, полученные в ходе предыдущего извержения Толбачика (1975—1976), стали классикой мировой вулканологии. Что даст науке нынешнее извержение? ■

Литература

1. Большое трещинное Толбачинское извержение (1975—1976 гг., Камчатка) / Ред. С.А.Федотов, Г.Б.Флеров, А.М.Чирков. М., 1984.
2. Чирков А.М. Толбачинское извержение // Природа. 1976. №7. С.78—94.
3. Двигало В.Н., Федотов С.А., Чирков А.М. Вулкан Плоский Толбачик // Действующие вулканы Камчатки. Т.1 / Ред. С.А.Федотов, Ю.П.Масуренков. М., 1991. С.200—214.
4. Edwards B., Belousov A., Belousova M. et al. Another “Great Tolbachik” Eruption? // Eos. 2013. V.94. №21. P.189—191.
5. Самойленко С.Б., Мельников Д.В., Магуськин М.А., Овсянников А.А. Начало нового трещинного Толбачинского извержения в 2012 году // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2012. №2. С.20—22.